

PENSAMIENTO CRÍTICO

EN LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y ACADÉMICA

Colección Científica Educación, Empresa y Sociedad

2023

Vol. 21

Eidec
EDITORIAL

PENSAMIENTO CRÍTICO EN LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y ACADÉMICA

COLECCIÓN CIENTÍFICA EDUCACIÓN, EMPRESA Y SOCIEDAD

Primera Edición 2023 Vol. 21

Editorial EIDEC

Sello Editorial EIDEC (978-958-53018)

NIT 900583173-1

ISBN: 978-628-95884-1-5

Formato: Digital PDF (Portable Document Format)

DOI: <https://doi.org/10.34893/e1150-3660-8721-s>

Publicación: Colombia

Fecha Publicación: 13/09/2023

Coordinación Editorial

Escuela Internacional de Negocios y Desarrollo Empresarial de Colombia – EIDEC

Centro de Investigación Científica, Empresarial y Tecnológica de Colombia – CEINCET

Red de Investigación en Educación, Empresa y Sociedad – REDIEES

Revisión y pares evaluadores

Centro de Investigación Científica, Empresarial y Tecnológica de Colombia – CEINCET

Red de Investigación en Educación, Empresa y Sociedad – REDIEES



CONTENIDO

1. ANÁLISIS DE ESCENARIOS DE LA INTEGRACIÓN DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN REDES MÓVILES.....6

José Antonio Ogosi Auqui, Victor Hugo Guadalupe Mori, Luis Antonio Usquiano Cárdenas, Jorge Lira Camargo, Zoila Lira Camargo, Francisca Sonia Vera Tito

2. APLICACIONES DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL APLICADA A LA AGRICULTURA PERUANA.....21

Hugo Ticona Salluca, Jordan Piero Borda Colque, Bernabé Canqui Flores, César Enrique Yupanqui Bendita, Juan Kenyhy Hanco Quispe, Fred Torres-Cruz

3. AUTODIAGNÓSTICO ORGANIZACIONAL, UN ESTUDIO DE CASO EN LA COMERCIALIZADORA DE CAFÉ GOURMET CAFÉ SUTILEZA.....51

Camilo Mauricio Grillo Torres, William Moreno López, Daniel Alfredo Ramírez Zarama, Claudia Patricia Gomez Espinosa, Maria Fernanda Abello Macías

4. BLOCKCHAIN PARA EL ASEGURAMIENTO DE TRANSACCIONES EN EL TRANSPORTE AÉREO INTERNACIONAL.....74

Hugo Ticona Salluca, Jordan Piero Borda Colque, Fred Torres-Cruz, Juan Carlos Juárez Vargas, Leonel Coyla Idme

5. EFECTOS DEL PROGRAMA SBC EN LAS ACTIVIDADES LABORALES DE LA MINERÍA SUBTERRÁNEA.....104

Anibal Sucari León, Owal Alfredo Velasquez Viza, Amilcar Giovanni Teran Dianderas, Hitler Juan Poma Cruz, Heinz Miguel Chura Cahuana.

6. ESTIMACIÓN DE CAUDALES MÁXIMOS MEDIANTE MÉTODOS PROBABILÍSTICOS DE LA CUENCA ILAVE, PUNO PERÚ 2022.....125

Juan Reynaldo Paredes-Quispe, Elqui Yeye Pari Condori, Fred Torres-Cruz, Laura-Murillo Ramiro Pedro, Alain Paul Herrera-Urtiaga

7. ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS TICS EN EL SECTOR SALUD.....149

José Antonio Ogoši Auqui, Jorge Lira Camargo, Washington Melvin Lira Camargo, David Hugo Obando Pacheco, Víctor Hugo Guadalupe Mori

8. IMPACTO DE LA EDUCACIÓN EN LA DISMINUCIÓN DE EVENTOS NO DESEADOS EN UNA EMPRESA MINERA.....165

Wilber Pastor Contreras, Heinz Miguel Chura Cahuana, Anibal Sucari León, Nancy Chambi Condori, Reynaldo Sucari León

9. INGENIERÍA FUNCIONAL Y APRENDIZAJE PROFUNDO EN BIOINFORMÁTICA PARA LA PREDICCIÓN DE ESTRUCTURAS DE PROTEÍNAS.....182

Jordan Piero Borda Colque, Fred Torres-Cruz, Leonel Coyla Idme, Juan Kenyhy Hancoo Quispe, Hugo Ticona Salluca

10. LA REFORMA UNIVERSITARIA EN EL PERÚ Y LA CALIDAD ACADÉMICA EN LAS ESCUELAS DE POSGRADO.....207

José Luis Pineda Tapia, Marisol Rojas Barreto, Deyna Lozano Ccopa, Edwin Huayhua Huamaní

11. MARCO DE COHERENCIA Y GESTIÓN ESCOLAR EN INSTITUCIONES EDUCATIVAS POLIDOCENTES DEL NIVEL PRIMARIA, UGEL ANDAHUAYLAS.....229

Jubenal Mendoza Valenzuela, Esther Reyna Merino Ascue, Juan Solano Gutierrez, José Pardo Gómez, Kenyo Solano Perales

12. MODELO TPACK Y LAS ACTITUDES DE LOS ESTUDIANTES HACIA LAS MATEMÁTICAS.....246

Carlos Alfonso Toquica Muñoz

13. PREDICCIÓN DE INTERACCIONES DE PROTEÍNAS CON MACHINE LEARNING: UNA HERRAMIENTA AVANZADA PARA LA INVESTIGACIÓN BIOMOLECULAR.....257

Jordan Piero Borda Colque, Bernabé Canqui Flores, Alfredo Tumi Figueroa, Fred Torres-Cruz, Juan Kenyhy Hancco Quispe

14. SEXUALIDAD EN ADOLESCENTES TEMPRANOS: CONOCIMIENTOS, ACTITUDES Y HABILIDADES PARA LA VIDA.....286

Mónica Jacuinde Vega, Marisol Morales Rodríguez

15. TECNOLOGÍA BLOCKCHAIN EN LA INDUSTRIA 4.0 Y SU APLICACIÓN EN EL CUIDADO DE LA SALUD: UN ANÁLISIS DE PATENTES Y ESTÁNDARES.....313

Jordan Piero Borda Colque, Juan Carlos Juarez-Vargas, Bernabé Canqui Flores, Fred Torres-Cruz, Hugo Ticona Salluca

16. TECNOLOGÍA EDUCATIVA IMPLEMENTANDO REALIDAD AUMENTADA.....344

Janitzín Cárdenas Castellanos, Nadia Teresa Adaile Benítez, Jazmín Pérez Méndez, Martha Ruth Camacho Vázquez

1. ANÁLISIS DE ESCENARIOS DE LA INTEGRACIÓN DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN REDES MÓVILES

Analysis of Scenarios for the Integration of Artificial Intelligence into Mobile Networks

José Antonio Ogosi Auqui¹

Víctor Hugo Guadalupe Mori²

Luis Antonio Usquiano Cárdenas³

Jorge Lira Camargo⁴

Zoila Lira Camargo⁵

Francisca Sonia Vera Tito⁶

Pares evaluadores: Red de Investigación en Educación, Empresa y Sociedad – REDIEES⁷

¹ Docente, Universidad Tecnológica del Perú: c18793@utp.edu.pe

² Docente, Universidad Privada San Juan Bautista: victor.guadalupe@upsjb.edu.pe

³ Docente, Universidad Privada San Juan Bautista: luis.usquiano@upsjb.edu.pe

⁴ Docente, Universidad Nacional Federico Villareal: jlira@unfv.edu.pe

⁵ Docente, Universidad Nacional de Barranca: zlira@unab.edu.pe

⁶ Docente, Universidad Nacional Federico Villareal: fvera@unfv.edu.pe

⁷ Red de Investigación en Educación, Empresa y Sociedad – REDIEES. www.rediees.org

ANÁLISIS DE ESCENARIOS DE LA INTEGRACIÓN DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN REDES MÓVILES

José Antonio Ogoši Auqui, Víctor Hugo Guadalupe Mori, Luis Antonio Usquiano Cárdenas, Jorge Lira Camargo, Zoila Lira Camargo, Sonia Francisca Vera Tito

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se procede a analizar el uso de la inteligencia artificial para la optimización de las redes móviles, esto se logra a través del análisis entre diferentes escenarios en los que en cada uno de ellos se aplica de una forma distinta la inteligencia artificial, este análisis se ha desarrollado con el objetivo de visualizar los cambios que conlleva la aplicación de esta tecnología en las redes móviles. A su vez se ha hecho una comparativa para poder entender a profundidad acerca de los diferentes escenarios donde el uso de la inteligencia artificial desarrolla sus procesos internos para poder completar sus funciones en los diferentes campos donde estas están implementadas en las redes móviles y aplicativos de smartphones.

Palabras Clave: inteligencia artificial; redes móviles; optimización.

ABSTRACT

In this research work we proceed to analyze the use of artificial intelligence for the optimization of mobile networks, this is achieved through the analysis between different scenarios in which in each of them artificial intelligence is applied in a different way, this analysis has been developed with the aim of visualizing the changes involved in the application of this technology in mobile networks. At the same time, a comparison has been made in order to understand in depth the different scenarios where the use of artificial intelligence develops its internal processes to complete its functions in the different fields where they are implemented in mobile networks and smartphone applications.

Keywords: artificial intelligence; mobile networks; optimization.

INTRODUCCIÓN

El uso de la inteligencia artificial es en esencia para optimizar los recursos, así como aprender los hábitos del usuario para en última instancia poder adivinar las necesidades del mismo. A su vez, la Inteligencia Artificial (IA) también estudia las situaciones externas para optimizar o perfeccionar los procesos. Esto es lo que se conoce como una inteligencia artificial que está dirigida a las operaciones.

La inteligencia artificial estaría orientada a los servicios del usuario, por ejemplo, en la atención al cliente y asistentes virtuales. Esto se ve reflejado en el dispositivo del cliente, donde su principal objetivo es brindar servicios al usuario (Mosqueira, 2021).

Teniendo en cuenta todos los beneficios que presenta la aplicación de la Inteligencia artificial y los diferentes usos que se les puede dar, vimos necesario investigar la forma en la que se está usando en el concepto de las redes móviles. Según Vidal (2017) señala que una red móvil consiste en una red de estaciones base, que cubren un área definida (celda) y enrutan las comunicaciones con los terminales de los usuarios en forma de ondas de radio.

En esencia, las aplicaciones con inteligencia artificial en los equipos móviles se basan en cálculos de modelos estadísticos de aprendizaje profundo o cálculos de árboles de decisión programados con el apoyo de API como Tensor Flow de Google. Estos modelos se prepararon previamente en el centro de datos, utilizando un gran conjunto de entradas conocidas para hallar los parámetros de un modelo DL o árbol de decisión, lo que permite una forma “inteligente” de clasificar aquellos elementos que los usuarios utilizan en las aplicaciones de IA. Debido al rápido desarrollo de la ciencia y la tecnología en el mundo en los últimos años, la industria de los teléfonos inteligentes ha poseído un crecimiento exponencial en el mercado de aplicaciones para teléfonos móviles (Peng, Zeng, Sun, Huang, Wang y Tian, 2018). Estos dispositivos también son comúnmente conocidos como uno de los dispositivos de Internet de las cosas (IoT) más importantes, de acuerdo con sus diversas capacidades, incluido el almacenamiento y procesamiento de datos (El Khaddar y Boulmalf, 2017). El teléfono inteligente de hoy también es considerado como “un teléfono celular multifuncional de próxima generación que facilita el procesamiento de datos, así como una conectividad inalámbrica mejorada”, es decir, una combinación de “un teléfono celular poderoso” y una “computadora de bolsillo con capacidad inalámbrica”. El interés de los

usuarios en los "teléfonos móviles" es cada vez mayor que en otras plataformas como "computadora de escritorio", "computadora portátil" o "computadora de tableta" entre los últimos años, desde 2014 hasta la actualidad (Sarker, 2019)

En el mundo actual, se suele usar teléfonos inteligentes no solo para la comunicación de voz entre personas, sino también para diversas actividades con diferentes aplicaciones móviles como correo electrónico, mensajería instantánea, compras en línea, navegación por Internet, entretenimiento, redes sociales como Facebook, LinkedIn, Twitter o varios servicios de IoT como ciudades inteligentes, servicios de salud o transporte, etc. (El Khaddar y Boulmalf, 2017). Las aplicaciones para teléfonos inteligentes se diferencian de las aplicaciones de escritorio debido a su entorno de ejecución ya que una aplicación de computadora de escritorio generalmente está diseñada para un entorno de ejecución estático, ya sea en la oficina o en el hogar, u otras ubicaciones estáticas. Sin embargo, esta condición previa estática generalmente no es aplicable a los servicios o sistemas móviles. La razón es que el mundo que rodea a una aplicación cambia con frecuencia y la informática avanza hacia entornos más complejos en los que el ser humano tiene la necesidad de estar conectado. Por lo tanto, las aplicaciones móviles deben adaptarse al entorno cambiante de acuerdo con los contextos y comportarse en consecuencia, lo que se conoce como conciencia del contexto (Ribeiro de Almeida, Souza Baptista, Rodrigues da Silva, Campelo, Feitosa de Figueirêdo y Almeida Lacerda, 2006).

Las técnicas de inteligencia artificial (IA) han aumentado progresivamente en las últimas décadas en el contexto de la informática con teléfonos móviles inteligentes que normalmente permite que los dispositivos funcionen de manera inteligente. La IA se utiliza en muchos modelos de datos móviles, como estructurados, semiestructurados y no estructurados (Han, Pei y Kamber, 2011). Los instrumentos conocidos de IA añaden procedimientos de machine learning (ML) y deep learning (DL), procesamiento de lenguaje natural (NLP), así como representación del conocimiento y sistemas expertos (ES), que se pueden usar de acuerdo con sus características de datos, para hacer aplicaciones móviles de destino inteligente. Los modelos basados en IA y su uso en la práctica se pueden ver en muchas aplicaciones móviles inteligentes, como recomendaciones personalizadas, asistente virtual, negocios móviles, servicios de atención médica e incluso la administración de la

pandemia del COVID-19 en estos tiempos. Esto hizo un cambio de paradigma hacia la computación inteligente consciente del contexto, impulsada por la creciente disponibilidad de datos contextuales de teléfonos inteligentes y el rápido crecimiento de los instrumentos de estudios de datos. Las aplicaciones de teléfonos inteligentes y los servicios correspondientes se consideran “conscientes del contexto” porque los teléfonos inteligentes pueden conocer los contextos y situaciones actuales de sus usuarios, “adaptables” debido a su capacidad de cambio dinámico según las necesidades de los usuarios e “inteligentes” porque de construir el modelo basado en inteligencia artificial basada en datos, lo que les permite asistir a los usuarios finales de manera inteligente de acuerdo a sus necesidades en sus diferentes actividades diarias. Por lo tanto, el modelado basado en IA para la toma de decisiones inteligente es la clave para lograr nuestro objetivo en documento. Debido a la importancia de la IA en las aplicaciones móviles, mencionada anteriormente, estudiamos la ciencia de datos móviles y las aplicaciones inteligentes que cubren cómo se pueden usar los métodos de inteligencia artificial para diseñar y desarrollar aplicaciones móviles inteligentes basadas en datos para la mejora de vida humana en diferentes escenarios de aplicación.

MATERIAL Y MÉTODOS

La naturaleza de este estudio es descriptiva y exploratoria, y su propósito es analizar el impacto académico y social de la producción científica en IA. Se utilizaron técnicas bibliométricas en combinación, y las áreas de análisis incluyeron artículos científicos de acceso abierto recuperados de diferentes bases de datos. Esto se realiza bajo condiciones estrictamente controladas para representar cómo o por qué ocurrió una situación o evento en particular. Estos métodos son adecuados para probar suposiciones de causalidad. Su función principal es reducir el número de opciones en función de las estadísticas explicadas por cada participante, ya que este método nos permite manipular una variable en función de la respuesta de otra variable. Se analizarán los resultados obtenidos en los artículos usados como referencia en los que se hace uso de una aplicación de la inteligencia artificial para la optimización o resolución de algún problema que afecte las redes móviles. El presente

estudio describe y define los criterios de las características de la integración de la inteligencia artificial en las redes móviles.

Tabla 1

Fuentes recopiladas para la investigación

Tipo de documento	Palabras clave	Cantidad
Artículo científico	Inteligencia Artificial; Integración; redes móviles; Integration; Artificial Intelligence; mobile network	10
Tesis	Integración de inteligencia artificial – redes móviles; Artificial intelligence integration; mobile network	14

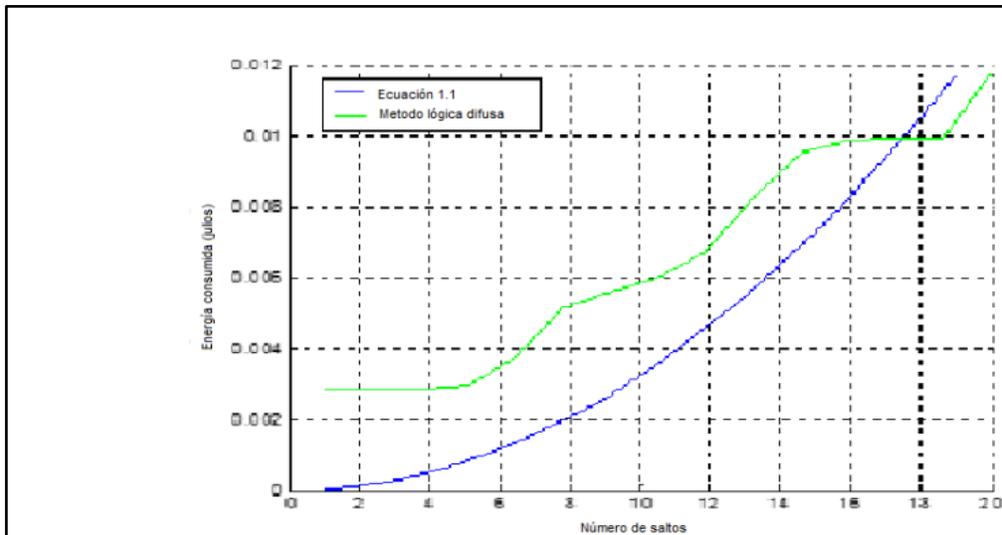
Nota: elaboración propia.

RESULTADOS

De acuerdo con Maldonado (2013), en su investigación titulada “Sistema inteligente de monitoreo para el consumo de energía de redes inalámbricas ad hoc”, se tiene como objetivo el uso de inteligencia computacional para monitorear el consumo de energía de redes inalámbricas ad hoc a través de algoritmos para analizar recursos energéticos. En la siguiente figura podemos ver una comparación de consumo de energía entre la simulación de un escenario planteado en la investigación y el método de lógica difusa.

Gráfico 1

Comparación de datos Ecuación 1.1 y lógica difusa



Nota: tomado de Maldonado (2013).

Como se puede ver, comparando los dos métodos obtenemos resultados muy aproximados con pequeños errores, lo que convierte a la lógica difusa en una herramienta muy útil para determinar el consumo energético. Además, en la siguiente tabla se puede visualizar los promedios de consumo de energía entre otro escenario planteado en la investigación y la lógica difusa:

Tabla 2

Variables estadísticas de la comparación de consumos en una MANET

Variable estadística	Consumo Ecuación 1.13 Valor real	Consumo Lógica difusa Valor medido	Error Absoluto	Error Relativo
Media	0,006821286	0,006252702	0,0009	17,72 %
Varianza	1,50E-05	1,37E-05	4,22E-07	1,33 %
Desviación estándar	0,0038762	0,003701746	0,000649596	11,54 %

Nota: tomado de Maldonado (2013).

Se puede determinar entonces que estadísticamente el consumo de ambos modelos está muy cerca del promedio en términos de consumo total de energía MANET. El resultado obtenido en la presente investigación indica que las simulaciones han mostrado una adecuada

aproximación en la monitorización del consumo energético entre las técnicas de computación inteligente (lógica difusa) y los modelos existentes, además del modelo de lógica difusa. No solo definir indicadores energéticos sino también permitir diagnósticos de eficiencia energética, también cabe mencionar la escalabilidad del sistema, ya que ofrece la posibilidad de agregar nuevos módulos en el futuro. De acuerdo con Jaraíz (2014), en su investigación titulada “Resolución de problemas de optimización en comunicaciones móviles inalámbricas mediante computación evolutiva”, se tiene como objetivo realizar la prueba de la eficacia de los algoritmos evolutivos para resolver problemas de optimización en las comunicaciones móviles inalámbricas.

Gráfico 3

Resolución de problemas de mejora en enlaces móviles inalámbricas a través de la computación evolutiva

Peso:	w0	w1	w2	w3	w4	w5	w6	w7	w8
Parámetro QoS:	S	D	A	L	R	E	P	V	C
FMADM perfil=4	0,0475	0,4587	0,0475	0,0475	0,0475	0,0475	0,0475	0,0475	0,209
FMADM perfil=5	0,0402	0,4528	0,0402	0,0981	0,0402	0,0402	0,0402	0,0402	0,2081
GAVH perfil=4.A	0,06	0,64	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,18
GAVH perfil=4.B	0,02	0,5	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,36
GAVH perfil=5	0,14	0,46	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,28
SEFI perfil=4.A	0,02	0,66	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,2
SEFI perfil=4.B	0,02	0,56	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,3
SEFI perfil=5	0,02	0,48	0,02	0,1	0,02	0,02	0,02	0,02	0,3

Nota: tomado de Jaraíz (2014).

Soluciones (combinaciones de pesos que satisfacen restricciones) generadas por algoritmos FMADM, GAVH y SEFI, usando la misma instancia experimental y perfil de usuario. Del análisis de esta tabla se deduce que los algoritmos SEFI y GAVH mejoran siempre (tanto en el perfil 4 y 5) los resultados de FMADM. Mientras que el algoritmo GAVH mejora (en el caso del perfil 5) o igual (en el caso del perfil 4) los resultados de SEFI.

Gráfico 4

Resolución de factores de mejora en enlaces móviles inalámbricas a través de la computación evolutiva

	Función WNSF			Función F		Combinaciones	Soluciones	Varianza	Desviación estándar
	UMTS_1	WLAN_P_1	WLAN_P_2	F óptimo	Red opt.				
FMADM perfil=4	0,4373	0,6973	0,7843						
FMADM perfil=5	0,4300	0,7098	0,7992						
GAVH perfil=4.A	0,3200	0,7252	0,8512	-0,8512	2	24.255	12.825	7,07E-07	8,41E-04
GAVH perfil=4.B	0,3780	0,7532	0,8512	-0,8512	2	24.310	12.870	7,04E-07	8,39E-04
GAVH perfil=5	0,4340	0,7612	0,8512	-0,8512	2	48.180	23.980	3,62E-06	1,90E-03
SEFI perfil=4.A	0,2980	0,7212	0,8512	-0,8512	2	24.255	12.825		
SEFI perfil=4.B	0,3480	0,7412	0,8512	-0,8512	2	24.310	12.870		
SEFI perfil=5	0,3880	0,7492	0,8472	-0,8472	2	48.180	23.980		

GAVH y SEFI mejoran el resultado de FMADM en todos los casos

GAVH mejora el resultado de SEFI para el perfil #5

GAVH y SEFI dan resultados similares en el caso del perfil #4

Nota: tomado de Jaraíz (2014).

Los valores de la función de aptitud según las fórmulas WNSF y F, correspondientes a las soluciones generadas por los algoritmos FMADM, GAVH y SEFI, se muestran en el Gráfico 3.

La comparación entre los algoritmos GAVH-SEFI-FMADM que se muestra en el Gráfico 4, confirma los resultados obtenidos previamente en otras comparaciones con diferentes algoritmos, ubicando al algoritmo GAVH como la mejor opción para la etapa de decisión VH (transferencia vertical), siendo el algoritmo que mejor hace la solución otorgando instancias experimentales y perfiles de usuario considerados.

DISCUSIÓN

Con la información recopilada se puede interpretar que la inteligencia artificial a través de diferentes formas de aplicación como la computación evolutiva, la lógica difusa, etc.; está siendo cada vez más útil para la resolución de problemas presentes en las redes móviles.

Mediante simulaciones se pudo llegar a la conclusión que con el uso de la I.A. se puede obtener mejores resultados que con los métodos usados tradicionalmente para tratar con los mismos problemas que afectan las redes móviles.

Todo esto a través de una comparativa del rendimiento de la solución propuesta en la investigación contra las propuestas de otros autores, como en el caso del algoritmo FMADM que según Nkansah (2007) es “un algoritmo inteligente que aplica una lógica borrosa y así realizar una elección mejorada de los pesos de parámetros QoS en parte de perfil de un usuario solicitado”. Se realizaron varios experimentos con los algoritmos SEFI y GAVH (algoritmos propuestos en la investigación) para poder confrontar sus efectos con los obtenidos por una heurística FMADM y de esta forma poder validar y comprobar el rendimiento que proporcionan los métodos desarrollados en la investigación. Así, se demostró que las propuestas algorítmicas presentadas en la investigación de Jaraíz titulada “Resolución de problemas de optimización en comunicaciones móviles inalámbricas mediante computación evolutiva”, mejoran de forma eficaz los efectos mejorados por algoritmos realizados por otros ponentes.

En otra investigación como la de Maldonado (2013) titulada “Sistema inteligente de monitoreo para el consumo de energía de redes inalámbricas ad hoc”, lo que se buscó fue determinar los puntos de mejora del gasto energético en base al tipo de red (MANET) a través de la simulación con métricas los cuales acceden a medir el gasto energético. Las técnicas usadas en este trabajo fueron las de algoritmos genéticos, lógica difusa y redes neuronales, se simularon diferentes escenarios para medir el consumo de energía aplicando distintos factores de mejora, además de hacerse un estudio estadístico y el cálculo de porcentaje de error para calcular la aproximación a un valor mejorado del gasto de energía en una MANET. A través de las distintas simulaciones realizadas en el trabajo se logró determinar una correcta aproximación por parte del sistema propuesto en comparación con los modelos existentes; pero también es importante resaltar los demás beneficios del sistema como la automaticidad, su fácil entendimiento (personas con pocos conocimientos de programación podrían hacer uso del sistema), tiempo de procesamiento, interacción con distintos tipos de software, incluso diferentes lenguajes, y la escalabilidad que nos da la probabilidad de agregar a lo largo innovadores módulos que puedan relacionar muchas métricas enlazadas con el gasto

de energía y de esa manera poder desarrollar cada vez más el sistema propuesto.

Teniendo en consideración lo mencionado anteriormente, podemos afirmar que el uso de la I.A además de superar a los métodos ya existentes cuando se trata de la resolución de distintos problemas, nos permite una mejora continua, volver cada vez más eficientes las soluciones para los distintos problemas que afectan a las redes móviles.

CONCLUSIONES

Con esto se demuestra que el crecimiento tecnológico de la IA se ha transformado en la tecnología principal que respalda el desarrollo de las redes móviles. Mientras avanza el desarrollo de las redes de internet, también se amplía el alcance de la misma. El desarrollo en la tecnología, donde se ha integrado la inteligencia artificial en las redes móviles ha logrado que se cree un nuevo modelo de desarrollo junto a un boom en la revolución industrial enfocada al uso de la inteligencia artificial dentro de varios campos como en las redes móviles que se desarrolló en este trabajo.

Los criterios de empleo de la IA son muy diversos y actualmente son utilizados principalmente por tramos como la robótica y la informática; pero esta no es toda la historia, dado que sus probabilidades se esparcen en diversos campos como en la ciencia, informática y su potencial como soporte de la ciencia comercial. En estos casos la estimación de valor en tiempo real y la gran proporción de datos a procesar requieren la aplicación de sistemas enfocados en la IA.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Chengnian, Z. y Haifeng, T. (2020). Research the Application of Artificial Intelligence Technology in Mobile Phone Terminal. *Journal of Physics*, (1648), 1-6.
- Ribeiro de Almeida, D., Souza Baptista, C., Rodrigues da Silva, E., Campelo, C., Feitosa de Figueirêdo, H. y Almeida Lacerda, Y. (2006). A context-aware system based on service-oriented architecture. En *Advanced Information Networking and Applications*. 20th International Conference.
- Diéguez, A. (2017). *Transhumanismo: la búsqueda tecnológica del mejoramiento humano*. Herder Editorial.
- El Khaddar, M. A y Boulmalf, M. (2017). Smartphone: the ultimate iot and ioe device. *Smartphones from an applied research perspective*. InTech.
- Giral, D. A., Hernández, C. A. y Martínez, F. H. (2019). Algoritmos para Toma de Decisiones en Redes Inalámbricas Cognitivas: una Revisión. *Información Tecnológica*, 30(6), 387-402. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000600387>
- Guo, J. (2015) *Try to analyze the application of artificial intelligence technology in the mobile terminal wall[J]*. Digital Communication World.
- Han, J., Pei, J. y Kamber, M. (2011). *Data mining: concepts and techniques*. Elsevier.
- Houlin, Z. (2020). La inteligencia artificial y el aprendizaje automático en el marco de la 5G– Concurso de la UIT. En *Inteligencia artificial y aprendizaje automático en el marco de la 5G*.
- Iqbal H. S., Moshiul Hoque, M., Kafil Uddin, Md. y Alsanoosy, T. (2021). Mobile Data Science and Intelligent Apps: Concepts, AI-Based Modeling and Research Directions. *Mobile Networks and Applications*, 26, 285-303. <https://doi.org/10.1007/s11036-020-01650-z>
- Jaraíz Simón, M. D. (2014). *Resolución de problemas de optimización en comunicaciones móviles inalámbricas mediante computación evolutiva*. [Tesis doctoral]. Repositorio Universidad de Extremadura. <http://hdl.handle.net/10662/2834>

- Longhu, Z. X. y Tang, L. (2015). *Research on the construction of a smart education cloud plataform under the background of big data[J]*. Computer Knowledge and Technology.
- Luz, S. M. A. da. (2015). *Aplicación de algoritmos evolutivos al problema de gestión de la localización en redes móviles*. [Tesis doctoral]. Repositorio Universidad de Extremadura.
- Maldonado Alarcón, J. O. (2013). Sistema inteligente de monitoreo para el consumo de energía de redes inalámbricas ad hoc. [Tesis de maestría]. Repositorio Universidad Nacional de Colombia.
- Miailhe, N. y Lannquist, Y. (2018). Un desafío de gobernanza mundial. *Integración & comercio*, (44), 218-231. <https://intal-lab.iadb.org/algorithmolandia/10.php>
- Mosquera Rey, E. (2021). La inteligencia artificial. Ciencias de la Computación y Tecnologías de la Información. En *La Inteligencia Artificial en la Educación*. Dialnet
- Nkansah-Obrempong, J. (2007). The Contemporary Theological Situation in Africa: An Overview. *Evangelical review of theology*, 31(2).
- Peng, M., Zeng, G., Sun, Z., Huang, J., Wang, H. y Tian, G. (2018). *Personalized app recommendation based on app permissions*. World Wide Web.
- Rhodes, J. R., Guerrero, A. M., Bodin, Ö. y Chadès, I. (2020). Fundamental insights on when social network data are most critical for conservation planning. *Conservation Biology*, 34(6), 1463-1472. <https://doi.org/10.1111/cobi.13500>
- Rocabado Moreno, S. H. (2013), *Caso de estudio de comunicaciones seguras sobre redes móviles AD HOC*. [Tesis de maestría]. Repositorio Universidad Nacional de La Plata.
- Ronquillo Tobar, E. S. (2021). *Telecirugía basada en redes 5G*. [Tesis de pregrado]. Repositorio UPC. <http://hdl.handle.net/2117/352735>
- Sarker, I. H. (2019). *Context-aware rule learning from smartphone data: survey, challenges and future directions*. Journal of Big Data.

- Song Xiaoyu, L. Y. (2017). *Artificial Intelligence Technology Application in the development of mobile Internet[J]*. Military-civilian dual-use technology and products.
- Venegas, R. (2021). Aplicaciones de inteligencia artificial para la clasificación automatizada de propósitos comunicativos en informes de ingeniería. *Revista signos*, 54(107), 942-970. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-09342021000300942>
- Vidal, F. (2017). *Redes Móviles*. mindmeister.com/es/951569060/redes-moviles

2. APLICACIONES DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL APLICADA A LA AGRICULTURA PERUANA⁸

Applications of Artificial Intelligence Applied to Peruvian Agriculture

Hugo Ticona Salluca⁹

Jordan Piero Borda Colque¹⁰

Bernabé Canqui Flores¹¹

César Enrique Yupanqui Bendita¹²

Juan Kenyhy Hanco Quispe¹³

Fred Torres-Cruz¹⁴

Pares evaluadores: Red de Investigación en Educación, Empresa y Sociedad – REDIEES.¹⁵

⁸ Derivado del proyecto de investigación: Aplicaciones De Inteligencia Artificial Aplicada a la Agricultura Peruana

⁹ Instituto de Investigación en Inteligencia Computacional y Ciencia de Datos, Departamento Académico de Ingeniería Estadística e Informática, Universidad Nacional del Altiplano de Puno, P.O. Box 291, Puno-Perú, <https://orcid.org/0000-0002-3800-8433>, hts.ez.v@gmail.com

¹⁰ Instituto de Investigación en Inteligencia Computacional y Ciencia de Datos, Departamento Académico de Ingeniería Estadística e Informática, Universidad Nacional del Altiplano de Puno, P.O. Box 291, Puno-Perú, <https://orcid.org/0000-0001-8488-1658>, jordanpieroborda@gmail.com

¹¹ Instituto de Investigación en Inteligencia Computacional y Ciencia de Datos, Departamento Académico de Ingeniería Estadística e Informática, Universidad Nacional del Altiplano de Puno, P.O. Box 291, Puno-Perú, <https://orcid.org/0000-0003-2204-0620>, bcanqui@unap.edu.pe

¹² Instituto de Investigación en Inteligencia Computacional y Ciencia de Datos, Departamento Académico de Ingeniería Estadística e Informática, Universidad Nacional del Altiplano de Puno, P.O. Box 291, Puno-Perú, <https://orcid.org/0000-0002-7750-7016>, ucesareyb@hotmail.com

¹³ Instituto de Investigación en Inteligencia Computacional y Ciencia de Datos, Departamento Académico de Ingeniería Estadística e Informática, Universidad Nacional del Altiplano de Puno, P.O. Box 291, Puno-Perú, <https://orcid.org/0000-0002-2125-0530>, jkenyhyhq@gmail.com

¹⁴ Instituto de Investigación en Inteligencia Computacional y Ciencia de Datos, Departamento Académico de Ingeniería Estadística e Informática, Universidad Nacional del Altiplano de Puno, P.O. Box 291, Puno-Perú, <https://orcid.org/0000-0003-0834-6834>, ftorres@unap.edu.pe

¹⁵ Red de Investigación en Educación, Empresa y Sociedad – REDIEES. www.rediees.org

APLICACIONES DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL APLICADA A LA AGRICULTURA PERUANA

Hugo Ticona Salluca, Jordan Piero Borda Colque, Bernabé Canqui Flores, César Enrique Yupanqui Bendita, Juan Kenyhy Hanco Quispe, Fred Torres-Cruz

RESUMEN

La aplicación de la Inteligencia Artificial (IA) en la agricultura se ha vuelto cada vez más importante en los últimos años, ya que ofrece soluciones innovadoras para optimizar la producción, reducir costos y aumentar la eficiencia. En Perú, donde la agricultura es un sector económico clave, las aplicaciones de IA tienen el potencial de hacer contribuciones significativas. Este documento revisa varias aplicaciones de IA en la agricultura y analiza su impacto potencial en el sector agrícola peruano. Se discuten tres áreas principales de aplicación de IA: algoritmos de aprendizaje automático para el mapeo de macronutrientes del suelo, modelos de cloud-computing para procesos de agricultura inteligente y detección de enfermedades de plantas utilizando una arquitectura híbrida de aprendizaje profundo. El trabajo desarrollado concluye que la aplicación de la IA en la agricultura tiene un enorme potencial para mejorar la producción y la sostenibilidad agrícola en Perú. Sin embargo, todavía hay desafíos por superar, incluyendo la necesidad de desarrollo de infraestructura y la integración de soluciones de IA con prácticas agrícolas tradicionales. El documento sugiere que las inversiones en investigación, desarrollo e infraestructura pueden ayudar a desbloquear todo el potencial de la IA en la agricultura en Perú, y su aplicación puede contribuir a abordar algunos de los desafíos que enfrenta el sector. Sin embargo, se requiere un enfoque integral que considere las necesidades y características del sector agrícola peruano para la implementación exitosa de soluciones de IA.

Palabras Clave: inteligencia artificial; agricultura; Perú; aprendizaje automático; mapeo de nutrientes del suelo, cloud computing, agricultura inteligente, detección de enfermedades de plantas, aprendizaje profundo.

ABSTRACT

The application of Artificial Intelligence (AI) in agriculture has become increasingly important in recent years, as it offers innovative solutions to optimize production, reduce costs, and increase efficiency. In Peru, where agriculture is a key economic sector, AI applications have the potential to make significant contributions. This work reviews various AI applications in agriculture and analyzes their potential impact on the Peruvian agricultural sector. Three main areas of AI application are discussed: machine learning algorithms for soil macronutrient mapping, cloud-computing models for smart agriculture processes, and plant disease detection using hybrid deep learning architecture. The document concludes that the application of AI in agriculture has enormous potential to improve agricultural production and sustainability in Peru. However, there are still challenges to overcome, including the need for infrastructure development and the integration of AI solutions with traditional agricultural practices. The paper suggests that investments in research, development, and infrastructure can help unlock the full potential of AI in agriculture in Peru, and its application can contribute to addressing some of the challenges faced by the sector. However, a comprehensive approach that considers the needs and characteristics of the Peruvian agricultural sector is necessary for the successful implementation of AI solutions.

Keywords: artificial intelligence; agriculture; Peru; machine learning; soil nutrient mapping; cloud computing; smart agriculture; plant disease detection; deep learning.

INTRODUCCIÓN

La agricultura es una de las actividades económicas más antiguas y esenciales para la humanidad, proporcionando alimentos y materias primas para diversas industrias. Sin embargo, la agricultura moderna enfrenta muchos desafíos, como la escasez de recursos naturales, el cambio climático, el aumento de la demanda de alimentos y la necesidad de reducir el impacto ambiental. La Inteligencia Artificial (IA) ofrece soluciones innovadoras para abordar estos desafíos en la agricultura.

La Inteligencia Artificial es una rama de la informática que se enfoca en la creación de algoritmos y modelos que permiten a las máquinas aprender y realizar tareas específicas. En la agricultura, la Inteligencia Artificial puede ayudar a los agricultores a mejorar la productividad y la eficiencia, reducir los costos y minimizar el impacto ambiental de la producción de alimentos. Algunas de las aplicaciones de Inteligencia Artificial en la agricultura incluyen el análisis de datos, la predicción del rendimiento de los cultivos, la agricultura de precisión, el monitoreo de cultivos, la optimización de riego y la recolección de datos del suelo.

El análisis de datos es una de las aplicaciones más comunes de Inteligencia Artificial en la agricultura, ya que puede ayudar a los agricultores a tomar decisiones informadas sobre la producción de cultivos en función de la información recopilada sobre el clima, el suelo, las variedades de semillas, las plagas y enfermedades, la cosecha y el mercado (Glackin, 2019). La Inteligencia Artificial también puede ayudar a predecir el rendimiento de los cultivos y la producción de alimentos en función de factores como el clima, el suelo y el riego, lo que puede ayudar a los agricultores a planificar la producción de alimentos.

La agricultura de precisión es otra aplicación de Inteligencia Artificial en la agricultura que permite a los agricultores aplicar fertilizantes y pesticidas de manera más precisa y efectiva, lo que puede reducir el uso de productos químicos y aumentar el rendimiento de los cultivos. El monitoreo de cultivos es otra aplicación de Inteligencia Artificial que permite a los agricultores detectar problemas como plagas y enfermedades y tomar medidas para abordarlos de manera oportuna. La optimización de riego es otra

aplicación de Inteligencia Artificial que puede ayudar a los agricultores a optimizar el uso del agua, y la recolección de datos del suelo puede ayudar a los agricultores a tomar decisiones informadas sobre la fertilidad y el pH del suelo.

La Inteligencia Artificial ofrece una amplia gama de aplicaciones en la agricultura y puede ayudar a los agricultores a enfrentar los desafíos actuales y futuros en la producción de alimentos. Desde el análisis de datos hasta la optimización de riego, la IA puede ayudar a mejorar la eficiencia, reducir los costos y minimizar el impacto ambiental de la producción de alimentos.

La aplicación de la Inteligencia Artificial en la agricultura ha evolucionado significativamente en los últimos años, permitiendo a los agricultores tener acceso a información detallada y en tiempo real sobre sus cultivos y el entorno en el que se desarrollan. El análisis de datos es una de las aplicaciones más importantes de la Inteligencia Artificial en la agricultura, ya que permite a los agricultores tomar decisiones informadas sobre el uso de sus recursos y mejorar la eficiencia en la producción de alimentos.

El análisis de datos agrícolas puede incluir información sobre el clima, el suelo, las variedades de semillas, las plagas y enfermedades, la cosecha y el mercado. La Inteligencia Artificial puede procesar grandes cantidades de datos y generar información detallada y útil para los agricultores, lo que puede ayudarles a tomar decisiones informadas sobre cuándo y cómo plantar y cultivar sus cultivos, qué variedades de semillas usar, cuándo cosechar y cómo vender sus productos.

Otra aplicación importante de la Inteligencia Artificial en la agricultura es la predicción del rendimiento de los cultivos. La Inteligencia Artificial puede analizar factores como el clima, el suelo y el riego para predecir cuánto rendimiento se puede esperar de un cultivo en particular. Esto puede ayudar a los agricultores a planificar mejor la producción y la cosecha, y a tomar decisiones informadas sobre la cantidad de recursos que deben invertir en la producción de alimentos (Pascual, Ramírez y Ortiz, 2016).

La agricultura de precisión es otra aplicación clave de la Inteligencia Artificial en la agricultura. La agricultura de precisión se refiere al uso de tecnología avanzada para aplicar fertilizantes y pesticidas de manera más precisa y efectiva, lo que puede reducir el uso de

productos químicos y aumentar el rendimiento de los cultivos. La Inteligencia Artificial puede ayudar a los agricultores a identificar las áreas de un campo que necesitan más o menos agua, nutrientes o protección contra plagas y enfermedades.

El monitoreo de cultivos es otra aplicación importante de la Inteligencia Artificial en la agricultura. La Inteligencia Artificial puede monitorear los cultivos de forma remota utilizando imágenes satelitales y drones. Esto puede ayudar a los agricultores a detectar problemas como plagas y enfermedades y tomar medidas para abordarlos de manera oportuna, lo que puede reducir el riesgo de pérdida de cultivos y aumentar el rendimiento de los mismos (Plazas Aquite, Candro Cuineme y Diaz Rojas, 2022).

La aplicación de la Inteligencia Artificial en la agricultura ofrece una amplia gama de soluciones innovadoras para abordar los desafíos actuales y futuros en la producción de alimentos. Desde el análisis de datos hasta la agricultura de precisión, la Inteligencia Artificial puede ayudar a los agricultores a mejorar la eficiencia, reducir los costos y minimizar el impacto ambiental de la producción de alimentos, lo que puede contribuir significativamente a garantizar la seguridad alimentaria global (Beddington et al., 2011).

DESARROLLO

La IA (Inteligencia Artificial) está teniendo un impacto cada vez mayor en la agricultura, ofreciendo soluciones innovadoras para problemas clave que enfrentan los agricultores. Desarrollaremos algunas de las soluciones de IA más comunes en la agricultura con un enfoque en el PERU:

Algoritmos de Aprendizaje Automático para Mapear la Variabilidad de los Elementos Macronutrientes del Suelo con Datos Ambientales.

El uso de algoritmos de aprendizaje automático para mapear la variabilidad de los elementos macronutrientes del suelo con datos ambientales digitales es una aplicación prometedora de la inteligencia artificial en la agricultura.

Los algoritmos de aprendizaje automático pueden aprender patrones complejos y no lineales en los datos y luego aplicar estos patrones para hacer predicciones precisas. En el caso de la variabilidad de los elementos macronutrientes del suelo, estos algoritmos pueden analizar los datos ambientales digitales, como la topografía, la vegetación, la temperatura, la humedad y la precipitación, para identificar los factores que influyen en la distribución de los nutrientes en el suelo.

Una vez que se ha generado un modelo de aprendizaje automático, se puede utilizar para mapear la distribución de los nutrientes en el suelo. Esto permitiría a los agricultores identificar las áreas que requieren una fertilización específica, lo que podría aumentar la eficiencia de la aplicación de fertilizantes y mejorar la calidad y la cantidad de los cultivos.

Además, el uso de datos ambientales digitales y algoritmos de aprendizaje automático puede ayudar a reducir el costo y la complejidad del muestreo de suelo tradicional, lo que puede ser costoso y requiere mucho tiempo.

Los algoritmos de aprendizaje automático son una herramienta poderosa para mapear la variabilidad de los elementos macronutrientes del suelo utilizando datos ambientales digitales. Estos algoritmos pueden analizar grandes cantidades de datos para identificar patrones y relaciones que son difíciles de detectar a simple vista (Melo y Mora, 2022).

Uno de los algoritmos de aprendizaje automático más utilizados para esta tarea es la regresión múltiple. Este método permite modelar la relación entre múltiples variables independientes (por ejemplo, temperatura, precipitación, pH del suelo) y una variable dependiente (por ejemplo, el contenido de nitrógeno en el suelo). A través de la regresión múltiple, se pueden identificar las variables ambientales que tienen la mayor influencia en la variabilidad del contenido de macronutrientes en el suelo.

Otro algoritmo comúnmente utilizado es el análisis de componentes principales (PCA). El PCA es una técnica estadística que se utiliza para reducir la complejidad de los datos mediante la identificación de patrones en los datos de entrada (González García y Taborda Londoño, 2015). El resultado de esta técnica es un conjunto de componentes principales que explican la mayor parte de la variabilidad en los datos. Estos componentes

pueden ser utilizados como entradas para otros algoritmos de aprendizaje automático, como la regresión múltiple.

Finalmente, el aprendizaje profundo es otra técnica de aprendizaje automático que se utiliza cada vez más para el análisis de datos ambientales. Los modelos de aprendizaje profundo pueden ser entrenados en grandes conjuntos de datos para identificar patrones complejos en los datos. Estos modelos pueden ser particularmente útiles para mapear la variabilidad de los macronutrientes en el suelo, ya que pueden identificar relaciones no lineales y patrones que no son fáciles de detectar utilizando métodos más tradicionales.

Para profundizar en el uso de algoritmos de aprendizaje automático para mapear la variabilidad de los elementos macronutrientes del suelo en Perú, es necesario considerar varias variables ambientales que pueden influir en la distribución de nutrientes en el suelo (Cajo Hernandez y Rosales Caururu, 2022). Algunas de estas variables incluyen:

- **Clima:** Las condiciones climáticas pueden tener un impacto significativo en la disponibilidad de nutrientes en el suelo. Por ejemplo, las regiones con altas precipitaciones pueden experimentar una mayor lixiviación de nutrientes del suelo, lo que puede afectar la disponibilidad de nutrientes para las plantas. De manera similar, las regiones con temperaturas extremadamente altas o bajas pueden experimentar una mayor tasa de descomposición de materia orgánica, lo que puede afectar la calidad del suelo.
- **Tipo de suelo:** El tipo de suelo también puede influir en la distribución de nutrientes. Por ejemplo, los suelos arcillosos tienen una mayor capacidad de retener nutrientes que los suelos arenosos. Los suelos con un pH más bajo pueden tener una mayor disponibilidad de ciertos nutrientes, mientras que los suelos con un pH más alto pueden tener una mayor disponibilidad de otros nutrientes.
- **Uso del suelo:** La forma en que se utiliza el suelo también puede influir en la distribución de nutrientes. Por ejemplo, el uso intensivo del suelo para la agricultura puede agotar los nutrientes del suelo y aumentar la necesidad de fertilización. De manera similar, la deforestación puede reducir la cantidad de materia orgánica en el suelo, lo que puede afectar su calidad y la disponibilidad de nutrientes.

- **Altitud:** La altitud puede influir en la distribución de nutrientes en el suelo debido a las diferencias en las condiciones climáticas y en los tipos de suelo en diferentes altitudes. Por ejemplo, las regiones de alta montaña pueden experimentar una mayor lixiviación de nutrientes debido a las altas precipitaciones y la menor capacidad de retención de nutrientes en el suelo.

Teniendo en cuenta estas variables, se pueden utilizar algoritmos de aprendizaje automático para mapear la variabilidad de los elementos macronutrientes del suelo en Perú. Por ejemplo, se puede utilizar un modelo de regresión múltiple para analizar la relación entre la precipitación, la altitud, el tipo de suelo y otros factores ambientales, y el contenido de nitrógeno en el suelo en diferentes regiones de Perú. De manera similar, se puede utilizar el análisis de componentes principales para reducir la complejidad de los datos y identificar patrones en la distribución de nutrientes en el suelo en diferentes altitudes y tipos de suelo. El aprendizaje profundo también puede ser útil para identificar patrones complejos en grandes conjuntos de datos de suelos en diferentes regiones de Perú.

Una posible aplicación de los algoritmos de aprendizaje automático en el contexto de la variabilidad de los elementos macronutrientes del suelo en Perú podría ser el desarrollo de modelos de predicción para la concentración de nutrientes en diferentes regiones del país. Estos modelos podrían ayudar a los agricultores a tomar decisiones informadas sobre la aplicación de fertilizantes y otros insumos agrícolas, lo que podría mejorar la eficiencia en el uso de nutrientes y reducir los costos.

Para desarrollar un modelo de predicción, se podría utilizar un conjunto de datos que incluya información sobre la concentración de nutrientes en el suelo, así como información sobre las variables ambientales que podrían influir en la distribución de nutrientes, como la precipitación, la altitud, el tipo de suelo y el uso del suelo. A partir de estos datos, se podrían utilizar diferentes técnicas de aprendizaje automático, como regresión lineal, regresión logística, árboles de decisión, redes neuronales, entre otros.

Un ejemplo concreto podría ser el siguiente:

- Se recopila un conjunto de datos que incluye información sobre la concentración de nitrógeno en el suelo en diferentes regiones de Perú, así como información sobre la precipitación, la altitud, el tipo de suelo y el uso del suelo.
- Se divide el conjunto de datos en un conjunto de entrenamiento y un conjunto de prueba.
- Se aplica un modelo de regresión lineal múltiple al conjunto de entrenamiento, utilizando la concentración de nitrógeno como variable dependiente y la precipitación, la altitud, el tipo de suelo y el uso del suelo como variables independientes.
- Se evalúa el rendimiento del modelo utilizando diferentes métricas, como el error cuadrático medio y el coeficiente de determinación (R^2).
- Se ajusta el modelo según sea necesario y se evalúa de nuevo hasta obtener un modelo que tenga un buen rendimiento en el conjunto de prueba.
- Una vez que se ha desarrollado el modelo, se puede utilizar para predecir la concentración de nitrógeno en el suelo en diferentes regiones de Perú, utilizando las fórmulas respectivas del modelo.
- Los resultados de la predicción se pueden presentar en una tabla que muestre la concentración de nitrógeno en el suelo en diferentes regiones de Perú, así como las variables ambientales que se utilizaron para hacer la predicción. Esta tabla podría ayudar a los agricultores a tomar decisiones informadas sobre la aplicación de fertilizantes y otros insumos agrícolas, lo que podría mejorar la eficiencia en el uso de nutrientes y reducir los costos.

Aquí presento una tabla con más algoritmos de aprendizaje automático que se podrían aplicar para predecir la concentración de nutrientes en el suelo en Perú, junto con sus fórmulas respectivas:

Tabal 1

Algoritmo	Fórmula/Descripción
Regresión lineal	$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n$
Regresión logística	$p = 1 / (1 + e^{-(b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n)})$
Árboles de decisión	Se construye un árbol que divide el conjunto de datos en subconjuntos cada vez más homogéneos con respecto a la variable de respuesta.
Redes neuronales	$y = f(w_1x_1 + w_2x_2 + \dots + w_nx_n)$
Máquinas de vectores de soporte (SVM)	$y = b_0 + \sum \alpha_i y_i K(x_i, x)$
Random Forest	Se construyen múltiples árboles de decisión y se promedian las predicciones de cada árbol.
Gradient Boosting	Se construyen múltiples árboles de decisión, cada uno de los cuales se enfoca en corregir los errores del árbol anterior.
K-Nearest Neighbors (KNN)	Se identifican los "k" puntos de datos más cercanos al punto a predecir y se utiliza su valor promedio como predicción.

Nota: elaboración propia.

En estas fórmulas, "y" representa la variable dependiente, es decir, la concentración de nutrientes en el suelo, mientras que "x₁", "x₂", ..., "x_n" representan las variables independientes, como la precipitación, la altitud, el tipo de suelo y el uso del suelo. Los coeficientes "b₁", "b₂", ..., "b_n" y "w₂", ..., "w_n" son los parámetros que se ajustan durante el entrenamiento del modelo.

Es importante tener en cuenta que estas fórmulas son solo ejemplos y pueden variar según la implementación específica de cada algoritmo. Además, existen muchos otros algoritmos de aprendizaje automático que se podrían aplicar para resolver este problema, y la elección de un algoritmo en particular dependerá de las características específicas de los datos y del objetivo del modelo.

Modelo de Cloud-Computing para implementar agricultura inteligente

La agricultura es una de las industrias más antiguas y esenciales para la supervivencia humana. Sin embargo, a medida que la población mundial crece y los recursos naturales se vuelven más escasos, se hace necesario encontrar nuevas formas de mejorar la productividad y la sostenibilidad en la agricultura. La agricultura inteligente es un enfoque que utiliza tecnologías avanzadas como sensores, análisis de datos y aprendizaje automático para mejorar la eficiencia y la productividad en la agricultura.

La "nube" alude a una mezcla de redes, almacenamiento, hardware e interfaces para prestar un servicio (Namani y Gonen, 2020). Los modelos de computación en nube incluyen infraestructura como servicio (IaaS), Plataforma como servicio (PaaS), Software como servicio (SaaS), Base de datos como servicio (DBaaS), Backend móvil como servicio (BaaS) y Bigdata como servicio (BDaaS), que apoyan la agricultura inteligente.

SaaS, PaaS y IaaS son diferentes modelos de servicios en la nube que ofrecen diferentes niveles de control y responsabilidad a los usuarios. Aquí están los conceptos básicos de cada uno:

SaaS (Software as a Service): Es un modelo de servicio en la nube en el que se proporciona un software completamente funcional a los usuarios finales a través de la nube. En lugar de instalar y ejecutar el software en su propia infraestructura, los usuarios pueden acceder al software a través de una interfaz web o una aplicación específica. Los proveedores de SaaS se encargan de la gestión de la infraestructura, el mantenimiento, la seguridad y la actualización del software, lo que permite a los usuarios centrarse en utilizar el software para sus propias necesidades (Hernández y Flórez-Fuentes, 2014).

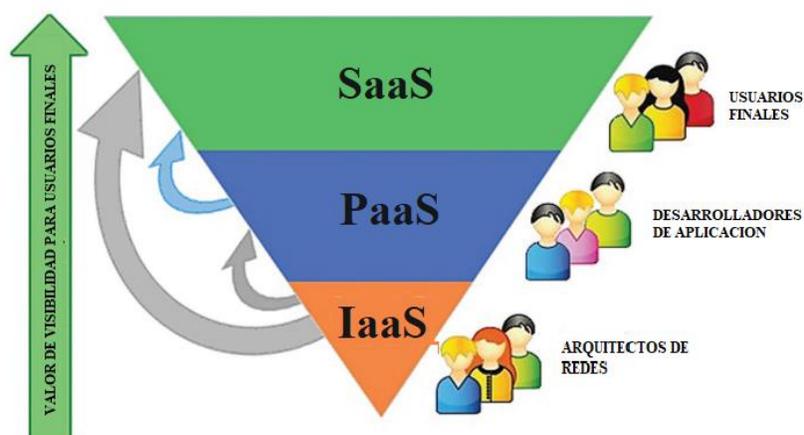
PaaS (Platform as a Service): Es un modelo de servicio en la nube en el que se proporciona una plataforma para que los desarrolladores puedan construir, probar y desplegar sus aplicaciones. Los proveedores de PaaS ofrecen una infraestructura preconfigurada, que incluye sistemas operativos, servidores web, bases de datos y herramientas de desarrollo, para permitir a los desarrolladores centrarse en el

desarrollo de aplicaciones. Los usuarios de PaaS tienen más control que los de SaaS, ya que pueden personalizar la plataforma según sus necesidades (Kamlofsky, 2022).

IaaS (Infrastructure as a Service): Es un modelo de servicio en la nube en el que se proporciona una infraestructura de TI virtualizada a los usuarios finales. Los proveedores de IaaS ofrecen recursos informáticos básicos, como servidores, almacenamiento y redes, que los usuarios pueden utilizar para construir y ejecutar sus propias aplicaciones. Los usuarios de IaaS tienen la responsabilidad de administrar su propia infraestructura, lo que les proporciona un mayor control y flexibilidad en la gestión de sus recursos de TI (Monroy, Noguera, Rojas Cordero y Satoba, 2016).

La Figura 1 muestra los tres modelos principales de computación en nube, donde SaaS se refiere a software basado en la nube que permite a los agricultores acceder a sus datos agrícolas desde cualquier dispositivo móvil conectado a Internet para mejorar la eficiencia operativa sobre la marcha. SaaS crea un entorno versátil, propicio y adaptable aprovechando las tecnologías de vanguardia tanto para el agricultor moderno como para el consumidor mediante la externalización estratégica, el almacenamiento cómodo de datos, la reducción del trabajo humano, la conservación de recursos y energía, así como mediante la gestión de la configuración de una infraestructura y/o a la agricultura inteligente para los agricultores marginados, ya que no tienen que informática.

Como tal, SaaS proporciona una forma más económica y escalable de adoptar y/o a la agricultura inteligente para los agricultores marginados, ya que no tienen que comprar e instalar software en ordenadores particulares. Empresas utilizan la monitorización por satélite y el ML para realizar un análisis predictivo y elaborar informes personalizados que ofrecen información práctica directamente en las pantallas de los agricultores. SaaS salva la brecha digital que puede sufrir el agricultor marginado, ya que le permite evaluar y gestionar todas sus operaciones agrícolas con un solo software. SaaS es una inversión de bajo riesgo con una suscripción mensual o anual.

Figura 1*Servicios de Cloud Computing*

Nota: elaboración propia.

En este contexto, un modelo de cloud-computing se presenta como una solución innovadora para la implementación de la agricultura inteligente. El cloud-computing permite la recopilación, el procesamiento y el análisis de datos de manera remota, lo que significa que los agricultores pueden acceder a información valiosa en tiempo real y tomar decisiones informadas para optimizar sus operaciones. Además, el cloud-computing ofrece escalabilidad y flexibilidad, lo que significa que los agricultores pueden ajustar sus operaciones y servicios según las necesidades cambiantes del mercado y de los cultivos.

La agricultura inteligente es un enfoque cada vez más popular para mejorar la eficiencia y la productividad en la agricultura. Un modelo de cloud-computing puede ser utilizado para implementar la agricultura inteligente, permitiendo a los agricultores recopilar y procesar datos de forma remota, y acceder a servicios de análisis de datos y de aprendizaje automático para tomar mejores decisiones (Pérez, Mendoza y Suarez, 2019).

En este modelo, los dispositivos de sensores en el campo recopilan datos en tiempo real sobre las condiciones del suelo, la humedad, la temperatura y otros factores ambientales. Estos datos se envían a la nube para su procesamiento y almacenamiento, y se utilizan para generar informes y recomendaciones personalizadas para los agricultores.

Algunos de los beneficios de un modelo de cloud-computing para la agricultura inteligente incluyen:

- Acceso a tecnologías avanzadas de análisis de datos y aprendizaje automático que pueden ayudar a predecir la producción y el rendimiento de los cultivos, así como a optimizar la gestión de recursos como el agua y los fertilizantes.
- Mayor eficiencia en la toma de decisiones gracias a la disponibilidad de información en tiempo real y a la capacidad de realizar un seguimiento de los cultivos y los recursos de manera más precisa.
- Mayor flexibilidad y escalabilidad, permitiendo a los agricultores ajustar sus operaciones y servicios de acuerdo con las necesidades cambiantes del mercado y de los cultivos.
- Reducción de costos, ya que los agricultores pueden compartir recursos y utilizar servicios en la nube en lugar de invertir en infraestructuras costosas de TI.

Un modelo de cloud-computing para la agricultura inteligente ayudara a mejorar la productividad y la sostenibilidad en la agricultura, al permitir a los agricultores tomar decisiones informadas y utilizar tecnologías avanzadas de análisis de datos y aprendizaje automático.

Ejemplo de aplicación hipotética de cloud-computing en la agricultura peruana.

En Perú, la agricultura es una de las principales actividades económicas, especialmente en áreas rurales donde la mayoría de la población depende de ella como medio de subsistencia. Sin embargo, la falta de tecnologías avanzadas y la limitada capacidad de acceso a la información dificultan la eficiencia y productividad de los agricultores peruanos.

La implementación de un modelo de cloud-computing para la agricultura inteligente en Perú podría ser una solución efectiva para mejorar la productividad y la sostenibilidad en la agricultura. El modelo permitiría la recopilación y análisis de datos en tiempo real, lo que significa que los agricultores pueden monitorear factores críticos como la humedad del suelo, la calidad del agua y las condiciones meteorológicas para tomar decisiones informadas sobre la aplicación de fertilizantes y pesticidas, la programación de riego y la cosecha de cultivos.

Además, el modelo de cloud-computing también permitiría la implementación de prácticas agrícolas más sostenibles. Los agricultores podrían acceder a información sobre prácticas de conservación del suelo y agua, lo que les permitiría reducir la erosión del suelo, mejorar la calidad del agua y reducir el uso de agroquímicos (Pérez y Rics, 2020).

La implementación de este modelo también podría tener un impacto positivo en la economía peruana, ya que la agricultura es una de las principales fuentes de empleo y exportación. La mejora de la productividad y la sostenibilidad en la agricultura podría aumentar los ingresos y la competitividad de los agricultores peruanos en el mercado global.

La implementación de un modelo de cloud-computing para la agricultura inteligente en Perú implica varios pasos que se detallan a continuación:

1. Identificación de las necesidades de la agricultura peruana: Se deben identificar las necesidades específicas de la agricultura en el Perú, por ejemplo, el manejo de plagas y enfermedades, la optimización del riego, la selección de cultivos adecuados para diferentes zonas geográficas, entre otros.
2. Selección de la plataforma de Cloud-Computing: Una vez identificadas las necesidades, se debe seleccionar la plataforma de Cloud-Computing adecuada. En este caso, se puede utilizar una plataforma de nube pública como Amazon Web Services, Google Cloud Platform o Microsoft Azure, que ofrecen una variedad de herramientas y servicios para el procesamiento y análisis de datos.
3. Recopilación de datos: Se deben recopilar datos relevantes para las necesidades específicas de la agricultura peruana, por ejemplo, datos climáticos, de suelo, de cultivos, de plagas y enfermedades, entre otros.
4. Almacenamiento de datos en la nube: Los datos recopilados deben ser almacenados en la plataforma de Cloud-Computing seleccionada. Se pueden utilizar servicios como Amazon S3, Google Cloud Storage o Azure Blob Storage para almacenar y gestionar grandes cantidades de datos.
5. Procesamiento de datos: Los datos almacenados en la nube deben ser procesados para extraer información útil. Para ello, se pueden utilizar herramientas de procesamiento de datos como Apache Spark o Hadoop.

6. **Análisis de datos:** Una vez que los datos han sido procesados, se deben analizar para obtener información relevante. Por ejemplo, se pueden utilizar técnicas de aprendizaje automático para predecir la probabilidad de una plaga o enfermedad en una determinada zona geográfica, o para recomendar el mejor momento para el riego en función de las condiciones climáticas.
7. **Visualización de datos:** La información obtenida debe ser visualizada de manera clara y concisa para que los agricultores puedan comprenderla fácilmente. Se pueden utilizar herramientas de visualización de datos como Tableau o Power BI para crear gráficos y tablas interactivas.
8. **Integración con dispositivos IoT:** Se pueden utilizar dispositivos IoT para recopilar datos en tiempo real, por ejemplo, sensores de humedad del suelo, para mejorar la precisión de los análisis y recomendaciones.
9. **Implementación de recomendaciones:** Una vez que se han obtenido las recomendaciones, se deben implementar en la práctica. Por ejemplo, se pueden enviar alertas a los agricultores para que apliquen un tratamiento específico a un cultivo o para que ajusten la frecuencia de riego.
10. **Monitoreo y evaluación:** Finalmente, se debe monitorear y evaluar la efectividad de las recomendaciones implementadas y hacer ajustes en el modelo en caso de ser necesario.

Un ejemplo práctico de aplicación de este modelo de Cloud-Computing podría ser el uso de una plataforma en la nube para que los agricultores peruanos puedan ingresar información sobre la ubicación de sus tierras y recibir recomendaciones sobre los cultivos adecuados para esas áreas. Por ejemplo, un agricultor que posee una finca en la sierra peruana podría ingresar información sobre la altitud, la temperatura y el tipo de suelo de su finca en la plataforma, y recibir recomendaciones sobre los cultivos más adecuados para esa zona. Esto podría incluir cultivos como la papa, el maíz o la quinua, que son más resistentes a las bajas temperaturas y altitudes elevadas.

El "Modelo de Computación en la Nube para Procesos Agrícolas Inteligentes en Entornos con Limitaciones de Recursos (CSMARCE)"

El "Modelo de Computación en la Nube para Procesos Agrícolas Inteligentes en Entornos con Limitaciones de Recursos (CSMARCE)" se refiere a un modelo de computación en la nube para la agricultura inteligente en entornos con limitaciones de recursos. Este modelo utiliza tecnologías de la nube para proporcionar soluciones innovadoras y eficientes a los desafíos que enfrentan los agricultores en áreas con limitaciones de recursos, como la falta de agua, la falta de acceso a maquinaria y herramientas agrícolas modernas y la falta de conocimientos especializados (Zhou y Matsika, 2023).

El modelo CSMARCE se basa en la recopilación de datos a través de sensores en campo y su procesamiento en la nube para proporcionar información en tiempo real sobre el estado del cultivo, el clima, la calidad del suelo y otros factores relevantes. Los agricultores pueden acceder a esta información a través de una plataforma en línea y utilizarla para tomar decisiones informadas sobre el manejo de sus cultivos.

El uso de la tecnología de la nube permite a los agricultores acceder a soluciones de agricultura inteligente sin la necesidad de invertir en infraestructura costosa o tener conocimientos avanzados de TI. Además, al utilizar los recursos de la nube, se pueden reducir los costos de operación y mejorar la eficiencia en la gestión de los recursos agrícolas.

El modelo CSMARCE puede aplicarse en la agricultura peruana para mejorar la eficiencia y la productividad en entornos con limitaciones de recursos. Aquí hay algunos ejemplos de procesos agrícolas en los que se puede aplicar este modelo:

1. Riego inteligente: En Perú, una gran parte de la agricultura se basa en el riego por gravedad, lo que puede ser ineficiente y costoso en términos de agua y energía. El modelo CSMARCE se puede utilizar para monitorear el uso del agua y optimizar los procesos de riego, proporcionando información en tiempo real sobre la calidad del suelo, la humedad del suelo y las condiciones climáticas. Esto permitiría a los agricultores ajustar la cantidad de agua utilizada para el riego y reducir el desperdicio de agua.

2. **Monitoreo de plagas:** Las plagas son un problema común en la agricultura peruana, lo que puede afectar seriamente la producción de cultivos. El modelo CSMARCE se puede utilizar para monitorear las plagas mediante el uso de sensores y cámaras en el campo. La información recopilada se puede procesar en la nube y proporcionar recomendaciones de control de plagas basadas en datos precisos.
3. **Predicción del clima:** En Perú, el clima puede ser impredecible y extremo, lo que puede afectar la producción de cultivos. El modelo CSMARCE se puede utilizar para predecir el clima mediante el análisis de datos climáticos en tiempo real y proporcionar información actualizada a los agricultores. Esto permitiría a los agricultores tomar decisiones informadas sobre la selección de cultivos, el momento de la siembra y el uso de prácticas agrícolas adaptadas al clima.
4. **Gestión de inventario:** La gestión de inventario es un desafío importante en la agricultura peruana, especialmente para los pequeños agricultores que tienen recursos limitados. El modelo CSMARCE se puede utilizar para gestionar el inventario de insumos agrícolas, como semillas y fertilizantes, mediante el uso de tecnologías de identificación por radiofrecuencia (RFID) y el procesamiento de datos en la nube. Esto permitiría a los agricultores gestionar su inventario de manera más eficiente y reducir los costos.

Figura 2

Mapa Mental de aplicaciones CSMARCE para la agricultura peruana



Nota: elaboración propia.

Detección de enfermedades de plantas utilizando arquitectura híbrida de aprendizaje profundo (Deep learning) en aplicaciones de agricultura inteligente

Es un proyecto que utiliza una arquitectura híbrida de aprendizaje profundo para la detección de enfermedades en plantas en aplicaciones de agricultura inteligente.

El proyecto se basa en la utilización de técnicas de procesamiento de imágenes para la identificación de patrones que permitan detectar la presencia de enfermedades en las plantas. Para ello, se utilizan redes neuronales convolucionales (CNN) y una técnica de transferencia de aprendizaje (Transfer Learning) que permite adaptar una red neuronal pre-entrenada para su uso en la detección de enfermedades en plantas.

La arquitectura híbrida de aprendizaje profundo combina dos técnicas de detección de enfermedades en plantas: el análisis de características de la imagen y el análisis de características de la textura. De esta manera, se logra una mayor precisión en la detección de enfermedades en plantas.

La aplicación de esta técnica en la agricultura inteligente permite una detección temprana y precisa de enfermedades en plantas, lo que puede mejorar significativamente la productividad y reducir los costos de producción en la agricultura (Acosta Henríquez y Mendoza Torres, 2017). Además, al utilizar técnicas de aprendizaje profundo, el modelo es capaz de aprender y mejorar continuamente a medida que se le presentan nuevos datos.

La aplicación de la tecnología de detección de enfermedades en plantas mediante el uso de técnicas de inteligencia artificial en la agricultura peruana podría tener una gran utilidad para los agricultores y mejorar la producción agrícola del país.

Un ejemplo de cómo esta tecnología podría ser aplicada en la agricultura peruana sería en la detección temprana de la enfermedad del “mal de Panamá” en los cultivos de banano. Esta enfermedad afecta a las raíces del banano y puede propagarse rápidamente a través del suelo y el agua, destruyendo los cultivos y causando pérdidas económicas significativas para los agricultores.

Utilizando técnicas de inteligencia artificial para la detección temprana de la enfermedad del “mal de Panamá”, los agricultores podrían tomar medidas preventivas a tiempo, como la eliminación de las plantas infectadas y la aplicación de fungicidas, para

evitar la propagación de la enfermedad y reducir los costos de producción (Guzmán-Álvarez, González-Zúñiga, Fernández y Calvo-Alvarado, 2022).

Otro ejemplo sería en la detección de la enfermedad del “tizón tardío” en los cultivos de papa. Esta enfermedad es causada por un hongo que afecta las hojas de la papa y puede causar la pérdida de los cultivos. Utilizando técnicas de inteligencia artificial, los agricultores podrían detectar la enfermedad tempranamente y aplicar medidas preventivas para evitar la propagación de la enfermedad y reducir las pérdidas económicas.

En general, la aplicación de la tecnología de detección de enfermedades en plantas mediante el uso de técnicas de inteligencia artificial en la agricultura peruana podría mejorar significativamente la eficacia de la detección temprana de enfermedades y, en consecuencia, reducir los costos de producción y mejorar la calidad y cantidad de los productos agrícolas en el país.

Especificamos algunos ejemplos adicionales de cómo la tecnología de detección de enfermedades en plantas mediante el uso de técnicas de inteligencia artificial podría aplicarse en la agricultura peruana:

En la detección de la enfermedad de la “roya amarilla” en los cultivos de café: Esta enfermedad afecta las hojas de los árboles de café y puede reducir significativamente la producción de granos de café. Utilizando técnicas de inteligencia artificial, los agricultores podrían detectar tempranamente la enfermedad y aplicar medidas preventivas, como la poda de las ramas afectadas y la aplicación de fungicidas, para evitar la propagación de la enfermedad y mejorar la calidad y cantidad del café producido (Espinoza Villafuerte, 2019).

En la detección de la enfermedad del “chahuistle” en los cultivos de maíz: Esta enfermedad es causada por un hongo y afecta las mazorcas de maíz, lo que puede reducir la cantidad y calidad del maíz producido (González, 2019). Utilizando técnicas de inteligencia artificial, los agricultores podrían detectar tempranamente la enfermedad y aplicar medidas preventivas, como la eliminación de las plantas infectadas y la aplicación de fungicidas, para evitar la propagación de la enfermedad y mejorar la calidad y cantidad del maíz producido.

En la detección de la enfermedad del “ojo de gallo” en los cultivos de tomate: Esta enfermedad es causada por un hongo y afecta los frutos del tomate, lo que puede reducir la

calidad y cantidad del tomate producido. Utilizando técnicas de inteligencia artificial, los agricultores podrían detectar tempranamente la enfermedad y aplicar medidas preventivas, como la eliminación de los frutos infectados y la aplicación de fungicidas, para evitar la propagación de la enfermedad y mejorar la calidad y cantidad del tomate producido.

En resumen, la tecnología de detección de enfermedades en plantas mediante el uso de técnicas de inteligencia artificial tiene el potencial de revolucionar la agricultura peruana, permitiendo una detección temprana y precisa de enfermedades, lo que a su vez permitiría tomar medidas preventivas oportunamente para evitar pérdidas económicas y mejorar la calidad y cantidad de los productos agrícolas producidos en el país.

Describimos en una tabla los pasos del proceso de detección de enfermedades en plantas utilizando arquitectura híbrida de aprendizaje profundo en aplicaciones de agricultura inteligente:

Tabla 2

Pasos del proceso de detección de enfermedades

N°	Descripción	Procedimientos
1.	Adquisición de imágenes de plantas enfermas	Utilizar cámaras o drones para tomar imágenes de las plantas afectadas en los campos peruanos.
2.	Preprocesamiento de imágenes	Realizar la segmentación de la imagen para identificar la región de interés (ROI) de la planta. Realizar la normalización de la imagen para obtener la consistencia de la calidad de la imagen.
3.	Extracción de características	Usar técnicas de aprendizaje profundo, como redes neuronales convolucionales (CNN), para extraer características útiles de las imágenes de las plantas.
4.	Selección de características	Usar técnicas de selección de características para reducir la dimensionalidad y mejorar la eficiencia del modelo.
5.	Entrenamiento del modelo	Utilizar una combinación de técnicas de aprendizaje supervisado y no supervisado para entrenar el modelo de detección de enfermedades en plantas.

6.	Evaluación del modelo	Evaluar la precisión del modelo utilizando medidas de evaluación como la matriz de confusión, la precisión y el valor F1.
7.	Integración del modelo en una aplicación	Integrar el modelo de detección de enfermedades en una aplicación de agricultura inteligente para su uso en campo.
8.	Pruebas y validación en campo	Realizar pruebas y validaciones en campo en diferentes regiones de la agricultura peruana para verificar la eficacia del modelo en diferentes condiciones climáticas y tipos de plantas.
9.	Monitoreo y mejora continua	Monitorear continuamente el rendimiento del modelo y realizar mejoras y actualizaciones para garantizar la detección precisa de enfermedades en las plantas en todo momento.

Nota: elaboración propia.

Estos pasos se pueden aplicar en la agricultura peruana para desarrollar una aplicación de detección de enfermedades en plantas utilizando arquitectura híbrida de aprendizaje profundo en aplicaciones de agricultura inteligente.

En cuanto a los últimos desarrollos aplicados en la detección de enfermedades en plantas utilizando arquitecturas híbridas de aprendizaje profundo en la agricultura inteligente, se han utilizado técnicas avanzadas de procesamiento de imágenes y aprendizaje profundo para mejorar la precisión y la velocidad del proceso de detección.

Algunas de las últimas aplicaciones y desarrollos incluyen:

- Uso de redes neuronales convolucionales en cascada (*Cascaded CNN*) para mejorar la precisión de la detección de enfermedades en plantas.
- Implementación de técnicas de transferencia de aprendizaje para mejorar el rendimiento de las redes neuronales convolucionales en la detección de enfermedades en plantas.
- Uso de técnicas de segmentación semántica para identificar y segmentar las partes enfermas de las plantas en imágenes.
- Desarrollo de aplicaciones móviles para la detección de enfermedades en plantas utilizando arquitecturas de aprendizaje profundo y tecnología de realidad aumentada para mejorar la experiencia del usuario y la precisión de la detección.

Estos desarrollos y aplicaciones se están aplicando en la agricultura inteligente en todo el mundo, incluyendo la agricultura peruana, con el objetivo de mejorar la precisión y la eficiencia en la detección de enfermedades en plantas, lo que a su vez puede mejorar la productividad y la sostenibilidad de la agricultura.

Las aplicaciones existentes y actuales de esta tecnología en la agricultura peruana. Por ejemplo, en el 2019, la Universidad Nacional Agraria La Molina en Lima desarrolló una aplicación llamada "AgroNeural", que utiliza redes neuronales convolucionales para la detección de enfermedades en cultivos de papa, tomate y chirimoya.

La aplicación permite a los agricultores tomar fotos de las hojas de las plantas con su teléfono móvil y luego enviarlas a la aplicación para su análisis. La aplicación utiliza algoritmos de aprendizaje profundo para analizar las imágenes y detectar enfermedades en las plantas. Los resultados del análisis se envían de vuelta al agricultor, lo que le permite tomar decisiones más informadas sobre el cuidado de sus cultivos.

Además de la aplicación "AgroNeural" que mencioné anteriormente, existen otras aplicaciones de la tecnología de detección de enfermedades en la agricultura peruana, como por ejemplo:

- "Crop-R": Esta es una aplicación móvil que permite a los agricultores tomar fotos de las plantas y enviarlas a un equipo de expertos en agronomía, quienes utilizan técnicas de aprendizaje automático para analizar las imágenes y detectar enfermedades. La aplicación ha sido utilizada en cultivos de papa, maíz y quinua en Perú.
- "Plantix": Esta es una aplicación móvil que utiliza técnicas de visión por computadora para detectar enfermedades en plantas y proporcionar soluciones para combatirlas. La aplicación ha sido utilizada en cultivos de café, cacao y banano en Perú.
- "Agrapp": Esta es una plataforma web que utiliza inteligencia artificial para analizar datos sobre clima, suelo y cultivos para proporcionar recomendaciones personalizadas a los agricultores. La plataforma ha sido utilizada en cultivos de maíz, papa y arroz en Perú.
- "Farmspace": Esta es una aplicación móvil que utiliza datos de sensores remotos para monitorizar los cultivos y proporcionar información en tiempo real sobre el estado de

los cultivos. La aplicación ha sido utilizada en cultivos de cítricos, palta y uva en Perú.

Estas aplicaciones son ejemplos de cómo la tecnología de detección de enfermedades y el aprendizaje automático se están utilizando en la agricultura peruana para mejorar la eficiencia y la sostenibilidad de la producción agrícola.

Algunas tecnologías que podrían implementarse en los ejemplos anteriores para mejorar la eficiencia y precisión de las aplicaciones son:

- Internet de las cosas (IoT): Para la monitorización de datos en tiempo real de las plantas, suelo y clima. Esto permitiría una toma de decisiones más rápida y precisa en cuanto a la gestión del cultivo.
- Robótica agrícola: Para la automatización de algunas tareas, como la siembra, fertilización y recolección. Esto reduciría la dependencia de mano de obra y aumentaría la eficiencia en la gestión del cultivo.
- Big Data y análisis de datos: Para el análisis de grandes cantidades de datos de los cultivos y clima. Esto permitiría una mejor comprensión de los patrones y tendencias en los cultivos, así como una toma de decisiones más informada.
- Drones: Para la monitorización del cultivo desde el aire. Esto permitiría una evaluación más rápida y precisa del estado de las plantas, la detección temprana de enfermedades y la identificación de áreas de cultivo que necesitan atención.
- Realidad virtual y aumentada: Para la capacitación de agricultores en técnicas de cultivo y en la identificación de enfermedades y plagas. Esto permitiría una capacitación más eficiente y accesible para los agricultores en zonas remotas.
- Agricultura de precisión: el uso de tecnologías como sensores remotos, drones y GPS para recolectar datos en tiempo real sobre la calidad del suelo, las condiciones climáticas y otros factores, permitiendo una toma de decisiones más informada y precisa.
- Internet de las cosas (IoT): el uso de dispositivos y sensores conectados a internet para recopilar y transmitir información sobre las condiciones de cultivo y el estado de las plantas en tiempo real, lo que permite una supervisión más eficiente y una respuesta rápida a los cambios en el campo.

- Robótica y automatización: el uso de robots y maquinaria automatizada para tareas como la siembra, el riego y la cosecha, lo que reduce la necesidad de mano de obra y aumenta la eficiencia.
- Blockchain: el uso de tecnología blockchain para mejorar la transparencia y la trazabilidad en la cadena de suministro de alimentos, lo que permite a los consumidores rastrear la procedencia y la calidad de los productos agrícolas.

Es importante destacar que la implementación de estas tecnologías debe hacerse de manera cuidadosa y con una planificación adecuada, considerando factores como la infraestructura disponible, la capacitación de los agricultores y el costo-beneficio de la implementación.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En conclusión, la implementación de tecnologías avanzadas en la agricultura peruana puede proporcionar numerosos beneficios, como la mejora de la eficiencia en la producción de cultivos, el aumento de la calidad de los productos, la reducción de los costos y la minimización del impacto ambiental.

El uso de algoritmos de aprendizaje automático puede ayudar a los agricultores a comprender mejor la variabilidad de los nutrientes del suelo, lo que les permite ajustar la cantidad de fertilizante utilizada y mejorar la salud del suelo.

El modelo de Cloud-Computing para implementar agricultura inteligente puede proporcionar a los agricultores acceso a una amplia gama de datos y análisis, lo que les permite tomar decisiones informadas y mejorar la eficiencia en la producción.

La detección de enfermedades de plantas utilizando arquitecturas híbridas de aprendizaje profundo puede ayudar a los agricultores a detectar enfermedades de manera temprana y tomar medidas preventivas para reducir la propagación de la enfermedad, lo que a su vez puede aumentar la calidad de los productos y reducir las pérdidas.

En general, la aplicación de estas tecnologías en la agricultura peruana puede mejorar significativamente la productividad y la sostenibilidad de la industria agrícola del país. Sin embargo, se deben abordar desafíos clave, como la disponibilidad de recursos y la formación de los agricultores, para garantizar una implementación exitosa y sostenible de estas tecnologías.

En cuanto a la implementación del modelo de Cloud-Computing para la agricultura inteligente, se puede destacar su gran importancia para la agricultura peruana, ya que este país cuenta con una gran variedad de cultivos y ecosistemas, lo que hace necesario un enfoque personalizado para cada tipo de cultivo y suelo. La aplicación de este modelo permitiría una mayor precisión en la toma de decisiones y una optimización en la gestión de recursos como agua, fertilizantes y pesticidas, reduciendo costos y aumentando la eficiencia en la producción.

En cuanto a la detección de enfermedades de plantas utilizando arquitectura híbrida de aprendizaje profundo, se puede destacar su gran potencial para la agricultura peruana, ya que permitiría una detección temprana y precisa de enfermedades de plantas, lo que a su vez reduciría el uso excesivo de pesticidas y fungicidas, disminuyendo su impacto ambiental y protegiendo la salud humana. Además, esta tecnología permitiría una mayor eficiencia en el monitoreo y cuidado de los cultivos, lo que se traduciría en una mayor productividad y rentabilidad para los agricultores.

En cuanto a la falta de aplicaciones de estas tecnologías en la agricultura peruana, existe una clara necesidad de implementar estas tecnologías en la agricultura peruana para mejorar la eficiencia y la productividad de los cultivos, así como para reducir los costos y el impacto ambiental de la agricultura.

La aplicación de algoritmos de aprendizaje automático para mapear la variabilidad de los elementos macronutrientes del suelo con datos ambientales puede ayudar a los agricultores a tomar decisiones más informadas sobre el uso de fertilizantes y otros insumos, lo que puede reducir los costos y mejorar la eficiencia de los cultivos.

La implementación de un modelo de cloud-computing para la agricultura inteligente puede ayudar a los agricultores peruanos a acceder a datos y herramientas de análisis de

manera más fácil y eficiente, lo que puede mejorar la toma de decisiones y la productividad de los cultivos.

La detección de enfermedades de plantas utilizando arquitectura híbrida de aprendizaje profundo en aplicaciones de agricultura inteligente puede ayudar a los agricultores a identificar y tratar enfermedades de manera más rápida y precisa, lo que puede reducir las pérdidas de cultivos y mejorar la eficiencia de la producción agrícola. El desarrollo de estas tecnologías en la agricultura peruana puede tener un impacto positivo significativo en la productividad, eficiencia y sostenibilidad de la producción agrícola, y por lo tanto es importante que se promueva su uso en el sector agrícola del país.

En conclusión, la implementación de tecnologías como algoritmos de aprendizaje automático, modelos de Cloud-Computing y arquitecturas híbridas de aprendizaje profundo, representa una gran oportunidad para la agricultura peruana, permitiendo una mayor eficiencia en la gestión de recursos, una producción más sostenible y una mejor protección de la salud humana y del medio ambiente. Es importante que los agricultores y los tomadores de decisiones en el sector agrícola consideren la aplicación de estas tecnologías para seguir avanzando hacia una agricultura más inteligente y sostenible en el Perú.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Glackin, M. (2019). Mejora de la predicción: el valor del conocimiento meteorológico sustentado en datos y en la colaboración pública y privada. *Boletín de la OMM*, 68(1), 59-63.
- Pascual, I. D. L. A., Ramírez, J. L. y Ortiz, A. (2016). Métodos de Inteligencia Artificial para la predicción del rendimiento y calidad de gramíneas. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 17(12), 1-9.
- Plazas Aquite, L. O., Candro Cuineme, D. F. y Diaz Rojas, M. J. (2022). *Plan de negocios para la creación de una empresa de servicios de captura y analítica de datos, basados en tecnología UAV (drones) apoyado en inteligencia artificial (IA) para la planeación, seguimiento y control de proyectos agrícolas*. [Tesis de maestría]. Repositorio Universidad EAN.
- Beddington, J. R., Asaduzzaman, M., Fernández, A., Clark, M. E., Guillou, M., Jahn, M. M. y Wakhungu, J. W. (2011). *Lograr la seguridad alimentaria ante el cambio climático: Resumen para responsables de la política de la Comisión sobre la Agricultura Sostenible y el Cambio Climático*. Programa de Investigación del CGIAR sobre el Cambio Climático, la Agricultura y la Seguridad Alimentaria.
- Melo, A. y Mora, B. (2022). La geoestadística: la estadística aplicada a las ciencias de la tierra. *Sigma*, 18(1), 15-22.
- González García, N. y Taborda Londoño, A. (2015). *Análisis de componentes principales Sparse: formulación, algoritmos e implicaciones en el análisis de datos*. [Tesis de maestría]. Repositorio Universidad de Salamanca.
- Cajo Hernández, J. A. y Rosales Caururu, A. N. (2022). *Sistema de control y gestión para los cultivos agrícolas aplicando tecnologías emergentes en el Perú*. [Tesis de pregrado]. Repositorio UPC.
- Namani, S. y Gonen, B. (marzo 2020). Smart agriculture based on IoT and cloud computing. En *2020 3rd International Conference on Information and Computer Technologies (ICICT)* (pp. 553-556). IEEE.

- Hernandez, N. L. y Florez-Fuentes, A. S. (2014). Computación en la nube. *Mundo Fesc*, 4(8), 46-51.
- Kamlofsky, J. (2022). Computación en la Nube: Fundamentos, Críticas y Desafíos. *Revista Abierta de Informática Aplicada*, 6(2), 3-30.
- Monroy, Y. T., Noguera, J. F., Rojas Cordero, A. y Satoba, D. (2016). *Prototipo para software de competencias de programación Boca en la nube*. [Tesis de pregrado]. Repositorio Fundación Universitaria Politécnico Gran Colombiano.
- Pérez, M. R., Mendoza, M. A. y Suarez, M. J. (2019). Paradigma IoT: desde su conceptualización hacia su aplicación en la agricultura. *Paradigma*, 40(18), 1-8.
- Pérez, D. y Rics, R. (2020). Implementación de Lora y Lorawan como escenario futuro de las industrias 4.0 en el sector agroindustrial peruano. *Revista Campus*, 25(29), 133-147. <https://doi.org/10.24265/campus.2020.v25n29.10>
- Zhou, M. y Matsika, C. (2023). A Cloud-Computing Model for Implementing Smart Agriculture. En *Artificial Intelligence and Smart Agriculture Applications* (pp. 47-62). Auerbach Publications.
- Acosta Henríquez, G. F. y Mendoza Torres, C. M. (2017). Aplicaciones de los drones en la agricultura. *Anuario de Investigación*, 4, 351-365. <http://hdl.handle.net/123456789/199>
- Guzmán-Álvarez, J. A., González-Zuñiga, M., Fernandez, J. A. S. y Calvo-Alvarado, J. C. (2022). Uso de sensores remotos en la agricultura: aplicaciones en el cultivo del banano. *Agronomy Mesoamerican*, 48279-48279.
- Espinoza Villafuerte, N. (2019). *Diagnóstico automatizado para la clasificación de café trillado con broca mediante procesamiento de imágenes con Deep Learning*. [Tesis de pregrado]. Repositorio Universidad Peruana Unión.
- Gonzalez, G. V. (2019). Generating and Disseminating Technology. *Food Policy in Mexico: The Search for Self-Sufficiency*.

3. AUTODIAGNÓSTICO ORGANIZACIONAL, UN ESTUDIO DE CASO EN LA COMERCIALIZADORA DE CAFÉ GOURMET CAFÉ SUTILEZA¹⁶

Organizational Self-Diagnosis, a Case Study in the Gourmet Coffee Marketer Café Sutileza

Camilo Mauricio Grillo Torres ¹⁷

William Moreno López ¹⁸

Daniel Alfredo Ramírez Zarama ¹⁹

Claudia Patricia Gómez Espinosa ²⁰

María Fernanda Abello Macías ²¹

Pares evaluadores: Red de Investigación en Educación, Empresa y Sociedad – REDIEES.²²

¹⁶ Derivado del proyecto de investigación: Diseño de una herramienta ofimática para el Diagnóstico empresarial de la MiPymes en Cundinamarca.

¹⁷ Administración de Empresas, Universidad Central, Magíster en Mercadeo, Universidad de Manizales, Docente Investigador, Corporación Universitaria de Asturias, correo electrónico: camilo.grillo@asturias.edu.co

¹⁸ Economista, de la Universidad INCCA, Máster en Análisis de Problemas Políticos y Económicos Internacionales, Universidad Externado de Colombia, Candidato a título de Doctor en Cultura y Conocimiento de América Latina, IPECAL México, Docente Investigador, Corporación Universitaria de Asturias, correo electrónico: william.moreno@asturias.edu.co

¹⁹ Comunicación Social y Periodismo, Universidad Politécnico Granacolombiano, Docente, Corporación Universitaria de Asturias, correo electrónico: daniel.ramirez@asturias.edu.co

²⁰ Administradora de Empresas, Politécnico Granacolombiano, Magíster en Psicología del Consumidor, Fundación Universitaria Konrad Lorenz, Docente Investigador, Universidad Cooperativa de Colombia correo electrónico: claudiap.gomez@campusucc.edu.co

²¹ Ingeniera Industrial, Universidad Militar, Directora Comercial, Café Sutileza correo electrónico: cafesutileza@gmail.com

²² Red de Investigación en Educación, Empresa y Sociedad – REDIEES. www.rediees.org

Autodiagnóstico organizacional, un estudio de caso en la comercializadora de café gourmet Café Sutileza

Camilo Mauricio Grillo Torres, William Moreno López, Daniel Alfredo Ramírez Zarama, Claudia Patricia Gómez Espinosa, María Fernanda Abello Macías

RESUMEN

El autodiagnóstico organizacional, definido como evaluación integral de las áreas que repercuten en el logro de las metas en el ámbito organizacional, se aplicó como estudio de caso en la comercializadora de café gourmet “Café Sutileza”, tal aplicación pretende aportar conocimiento, constatar, comprobar y explicar las actividades llevadas a cabo al interior de la unidad de tal comercializadora, como unidad de análisis; para ese fin, se implementó un método cualitativo que procede de manera descriptiva para establecer un autodiagnóstico que posibilite la adecuada gestión administrativa y operativa de la referida organización. En su desarrollo fue posible encontrar fortalezas en el área de operaciones, particularmente en cuanto a la logística y calidad del servicio del área comercial; por otra parte, se identificaron falencias a nivel administrativo en las áreas de finanzas y marketing, debido a la debilidad en las acciones estratégicas de marketing tradicional y digital, al igual que un deficiente análisis, control y planeación financiera, hallazgos que permiten concluir que la organización debe fortalecer su gestión financiera y de marketing, en la perspectiva de tener una cualificada administración de la organización.

Palabras Clave: autodiagnóstico; ofimática; gestión organizacional; estrategia; comercializadora

ABSTRACT

The organizational self-diagnosis is a comprehensive evaluation that analyzes the areas that affect the achievement of goals within the current organizational environment, the method used was a case study with a qualitative and descriptive approach. Their contribution is to provide knowledge; Verify and explain the activities carried out within the analysis unit, in order to have a self-diagnosis that enables the adequate administrative and operational management of the organization. An office tool for organizational self-diagnosis was applied to the gourmet coffee marketer “Café Sutileza”. Strengths were found in the area of operations and in particular with regard to logistics and the quality of service in the commercial area. On the other hand, deficiencies were identified at the administrative level in the areas of finance and marketing, due to weakness in the strategic actions of traditional and digital marketing, as well as deficient financial analysis, control and planning. It is concluded that the organization must strengthen its financial and marketing management, in order to have an appropriate administration of the organization.

Keywords: self-diagnosis; office automation; organizational management; strategy; marketer

INTRODUCCIÓN

Actualmente, muchas MiPymes en Colombia han venido atravesando dificultades en sus procesos administrativos, ya que sus directivos se encuentran limitados en su capacidad de direccionar estratégicamente los recursos, no obstante, han conseguido ser competentes ante los retos impuestos por el mercado, con el fin de lograr obtener resultados que conlleven al éxito organizacional (Romero et al., 2021). La deficiente gestión que presentan algunas MiPymes se debe a la inadecuada dirección y carencia de conocimientos especializados en cuanto a la planificación por parte de sus directivos, lo cual, constituye una problemática gerencial, causada por los constantes cambios del entorno que, indefectiblemente, deberán ser afrontados en el marco de globalización de los mercados que, además, plantean la obligación de ampliar su nicho de mercado y así surtir la constante y desafiante comercialización de los mercados competitivos (Grillo, 2022; Leyva et al., 2018).

Muñiz (2017) manifiesta que una de las mayores dificultades que presentan las organizaciones es que sus directivos son absorbidos por las tareas diarias y ello no permite que presten atención a al funcionamiento de cada una de las diferentes áreas de la organización, por este motivo se hace necesario la realización de un diagnóstico que evalúe el desempeño organizacional. Otros autores realizaron un diagnóstico organizacional con el fin de conocer el nivel de madurez que han alcanzado las empresas, identificando las fortalezas y debilidades, así como las causas que impiden el desarrollo, al igual que los factores que contribuyen el cumplimiento de las metas propuestas (Asencio et al., 2017).

Por otra parte, es posible encontrar estudios que afirman que el diagnóstico organizacional es un análisis integral de todas las funciones del operativas y administrativas de la empresa que permite mejorar el proceso de tomas de decisiones en función del mejoramiento continuo de los procesos y resultados; dicho con otras palabras, un diagnóstico organizacional es un análisis detallado que examina cada una de las áreas de la empresa que repercuten en la consecución de los objetivos y metas propuestas, en un entorno real, adquiriendo información importante para la ejecución de acciones estratégicas a corto, mediano y largo plazo (González et al., 2021).

Estudios más recientes identificaron deficiencias como una inadecuada planificación estratégica, ausencia de comunicación e intercambio de información entre las áreas de la empresa, poca disponibilidad de un área formal de recursos humanos comprometida con los procesos de capacitación de los colaboradores, inexistencia de incentivos no remunerativos, manuales de procesos mal definidos (Sansores et al., 2021) y (Taïpe et al., 2021). Adicionalmente, se deben enfrentar diferentes amenazas externas como: recesión económica, competidores certificados por entes internacionales de calidad, cambios económicos y sociales.

En un entorno cambiante como el que se vive actualmente, las MyPimes deben apoyarse en acciones estratégicas de gestión lo cual contribuirá en la oportuna toma de decisiones apoyadas por información relevante y oportuna originada por las diferentes áreas operativas y administrativas que conforman la organización. Por esta razón, se hace necesario que el personal directivo cuente con conocimientos que posibiliten el direccionamiento estratégico para el cumplimiento de los objetivos estrategias, así como la optimización de recursos, de esta forma se podrá hacer frente a los cambios que surjan en el entorno, el mercado y la organización.

DIAGNÓSTICO ORGANIZACIONAL: UNA VISIÓN DESDE LA TEORÍA

El diagnóstico organizacional es una herramienta de análisis útil para las organizaciones, dado que realiza una evaluación del nivel de madurez de la empresa, asimismo presenta una perspectiva de las dificultades y deficiencias, al igual que las fortalezas y avances de la gestión empresarial. Todo ello, permita la generación de productividad por intermedio de las transformaciones significativas; es una táctica clave para el cumplimiento de los objetivos y metas establecidas por la empresa, previene cualquier tipo de improvisación al mismo tiempo garantiza la rentabilidad, capacidad competitiva de la organización (Bravo et al., 2019). En la misma dirección, se manifiesta que la pertinencia del diagnóstico organizacional, radica en la formulación de soluciones de problemas organizacionales (Mendonça et al., 2020).

Chicaiza et al. (2022), evidenciaron que las principales deficiencias asociadas a la administración de una pequeña empresa de transportadores ecuatoriana son: la incorrecta distribución de tareas, la ausencia de manuales de cargos, reducida flexibilidad y exactitud en la toma de decisiones, debilidad en los controles de la gestión organizacional igualmente disconformidad por parte de los colaboradores de la organización y los clientes. A su vez Sánchez et al. (2020), revela algunas dificultades que enfrenta una institución de Educación Superior en su facultad de ciencias básicas. Presenta un diagnóstico organizacional que indica la necesidad de mejorar la gestión de los recursos informáticos, la redacción del manual de funciones y la realización periódica de evaluaciones de desempeño; por otra parte, se constató la ausencia de estrategias que promuevan la motivación y el sentido de pertenencia de los estudiantes, docentes y personal administrativo con la institución educativa y falencias para el desarrollo de un adecuado ambiente laboral.

Uribe et al. (2019), manifiestan que algunas instituciones educativas en México carecen de herramientas tecnológicas que permita la adecuada evaluación de la gestión académica y administrativa del personal docente conllevando con ello a que no se cumplan los acuerdos establecidos. A su vez, autores como Díaz et al. (2018) afirman que las organizaciones han presentado deficiencias de comunicación organizacional que han llevado a la inestabilidad de los equipos de trabajo por su alta rotación, al igual que la molestia de algunos colaboradores frente a sus asignaciones laborales. En contraste, se pareció una excelente comunicación entre los colaboradores, de igual forma existe un adecuado *feedback* entre los colaboradores y sus jefes inmediatos, de modo que los directivos utilizan un discurso sencillo y claro con el fin de que su equipo operativo entienda las indicaciones para lograr realizar de forma óptima las tareas asignadas.

Por el contrario, Puentes y Maestre (2019) evidenciaron el total compromiso por parte de los colaboradores frente a las iniciativas estratégicas propuestas por la organización, lo cual garantizara una adecuada calidad y continuidad de la prestación de los servicios ofrecidos a los clientes y así mejorar la capacidad competitiva de la organización en el mercado. En concordancia, Cantos (2017) manifiesta que el personal cuenta con una adecuada flexibilización en la distribución de la carga laboral lo que permite mejorar el rendimiento al dinamizar las funciones y dividir las actividades. Además, se apreció que los

colaboradores se encuentran comprometidos con las tareas asignadas por la organización, además cuentan con una armoniosa relación entre colegas.

Para Casanova et al. (2019) se hace necesario tomar en consideración el bienestar y la salud laboral del personal al momento de analizar la productividad de una organización puesto que los altos niveles de cansancio físico como psicológico repercute en el bienestar laboral de la organización. No obstante, el área de gestión humana debe velar por mantener un bajo nivel de rotación del personal, y mitigar la disconformidad y falta de motivación laboral a través de incentivos y ascensos laborales (Leon y Bernal, 2021).

Medina et al. (2020) resaltan la importancia del diagnóstico empresarial como una herramienta de desarrollo organizacional que permite identificar los inconvenientes, así como factores de oportunidad con la finalidad de mitigar las primeras como sacar provecho de las segundas. Por su parte, Aguilar et al. (2017), enfatizan en la conveniencia que los encargados de los procesos misionales de la organización contribuyan con su conocimiento y experiencia en la elaboración del diagnóstico organizacional, ya que dicho diagnóstico servirá como apoyo para la identificación de los principales ámbitos de oportunidad y garantizar su consolidación por intermedio de elaboración de un plan estratégico. De igual forma, Muñiz (2017) manifiesta que los diferentes tipos de organizaciones empresariales poseen particularidades únicas que las diferencian de las demás, por ello, es que existen diferentes tipos evaluación que deben ser ajustados a las empresas que estén analizando.

Por último, cabe destacar que el diagnóstico organizacional es el punto de partida para profundizar en la gestión de las organizaciones, que puede dar a conocer las deficiencias a nivel financiero, operativo, comercial y administrativo; y de esta forma realizar los ajustes pertinentes que mitiguen dichas deficiencias (Huilcapi y Gallegos, 2020). Del mismo modo, Cantero et al. (2021), enfatiza que el análisis del desempeño empresarial debe analizar la gestión de cada una de la unidades operativas y administrativas de la empresa, con la finalidad de cumplir de forma efectiva con los objetivos previamente definidos.

PROPÓSITO DE LA INVESTIGACIÓN

Formulación del Problema

La formulación del problema de este estudio es: ¿cómo aplicar un autodiagnóstico organizacional que identifique las deficiencias y fortalezas en la comercializadora de café gourmet “Café Sutileza”?

Objetivo General

A partir de este problema de investigación, el objetivo general es: Formular un autodiagnóstico organizacional que identifique las debilidades y fortalezas en la comercializadora de café gourmet “Café Sutileza”.

MATERIAL Y MÉTODOS

La aplicación de la ofimática de autodiagnóstico posibilita a las directivas de la comercializadora de café gourmet “Café Sutileza” observar la situación actual de la organización, para identificar debilidades y fortalezas que permitan plantear acciones estratégicas que reviertan en una cualificada gestión empresarial.

En su abordaje, este estudio es de carácter cualitativo con enfoque inductivo. Es un estudio de caso con un ámbito de aplicación descriptivo, de un planteamiento integral y detallado, que busca comprender la situación actual de las actividades que se realizan dentro del fenómeno analizado por mediación de las impresiones, tanto por los investigadores como de los directivos de la Su contribución es aportar discernimiento; determinar, verificar y precisar las practicas llevadas a cabo al interior de la unidad de estudio, con el objeto de contar con un diagnóstico que contribuya a cambiar el proceso de toma de decisiones (Canta y Quesada, 2021; Yin, 2017).

TRABAJO DE CAMPO Y ANÁLISIS DE DATOS

En primer lugar, se efectuó un análisis de requerimientos informáticos donde se identificaron herramientas de gestión que se han adaptado al contexto de las mipymes del sector comercial. Seguidamente se procedió a la determinación de todos aquellos elementos y variables en común entre las herramientas halladas y se procedió al análisis de los elementos, particularidades y configuración de estos. Para la indagación de la documentación referencial se utilizó el método de análisis bibliográfico propuesto por Barrientos (2018) como método para identificar correlaciones en común entre las definiciones y la teoría. Igualmente, se realizó una revisión y análisis documental apoyado en el método planteado por Castro (2017) también se realizaron diversas consultas a las bases de datos especializadas Scielo y Redalyc en donde se seleccionaron artículos *Open Access* es decir de acceso gratuito y de texto completo.

Sobre la base de lo que antecede, se diseñó una herramienta ofimática basada en Excel que se adaptara al contexto de las mipymes del sector comercial, la estructuración de dicha ofimática fue desarrollada en base a los elementos y variables de las herramientas identificadas. Esta herramienta fue validada por un panel de experto y pequeños empresarios del sector comercial, para dicha actividad se llevó a cabo un *focus group*, en el cual se realizó la presentación de la herramienta ofimática con el fin de recopilar sugerencias para retroalimentación del proceso de desarrollo (Souza et al., 2019).

Con base en las proposiciones y recomendaciones sugeridas por el panel de expertos, se realizaron las mejoras respectivas y se procedió al desarrollo de la versión final de la herramienta ofimática de autodiagnóstico organizacional. El desarrollo de dicha herramienta se basó en el método de procesos de selección, registro, edición, manejo y análisis de elementos característicos y particularidades de los procesos de gestión (Medina y Quintana, 2017).

Posterior a lo mencionado, se procedió a la puesta en práctica de la herramienta ofimática en la comercializadora de café gourmet “Café Sutileza”, de Sasaima en

Cundinamarca, la cual es conocida por a nivel local y departamental por ofrecer café de alta calidad.

A continuación, se realiza la descripción de la recopilación de datos y el análisis de la información, como ya se indicó, se utilizó la herramienta ofimática de autoevaluación organizacional para gestión empresarial de las MyPimes comercializadoras como se describe a continuación.

Figura 1

Interfaz para la captura de datos



Nota: elaboración propia.

En esta interfaz el usuario deberá darle un clic a cada área de la organización para que la herramienta de forma automática lo dirija a la plantilla de análisis situacional de la empresa.

Figura 2

Evaluación de la situación actual de la empresa.

ESTRATEGIA FINANZAS MARKETING OPERACIONES GESTIÓN DEL RECURSO HUMANO				
subárea	preguntas	respuestas	Importancia para la empresa	Seleccione la deficiencia relacionada con esa pregunta
Reclutamiento y selección	La empresa cuenta con un proceso de reclutamiento y selección de personal y anuncia sus vacantes?			
	De qué forma la empresa anuncia su proceso de reclutamiento?	La empresa no tiene ningún proceso de reclutamiento. Hay entrevistas con candidatos y se pide referencias. Hay entrevistas con candidatos y hace pruebas simultáneas. La empresa realiza una prueba con los candidatos.		
	Qué tipo de empleado contrata la empresa?		Muy importante Importante Poco importante Irrelevante	Conocimiento técnico Organizacional Maquinaria y equipo
	La empresa lleva a cabo el reclutamiento de forma interna o externa?			

Nota: elaboración propia.

Esta plantilla se encuentra dividida en cinco áreas: Estratégica, Finanza, Marketing, Operaciones y Gestión del recurso humano, cada una de estas cinco áreas a su vez están divididas por sub áreas, estas contarán con una pregunta orientadora la cual tendrá cuatro repuestas predefinidas, el usuario seleccionará una repuesta de acuerdo con el nivel en que actualmente se encuentra la empresa en relación con la pregunta orientadora.

A continuación, el usuario debe indicar la importancia de este factor para la empresa puede ser un aspecto muy importante, importante, poco importante e irrelevante, otro dato a incluir es el factor de deficiencia relacionado con la pregunta orientadora por subárea cuyos factores pueden ser: conocimientos, organizacional y maquinaria y equipo. Este mismo procedimiento se debe realizar por cada una de las hojas de trabajo de las áreas centrales de la plantilla.

Figura 3

Evaluación de Previsiones

Area/sub Área	Puntaje actual	Puntaje Mínimo Sugerido	Brecha para alcanzar lo sugerido	priorización para lograr lo sugerido
Estrategia				
estrategia a corto plazo	50%	81%	31%	prioritario
estrategia a medio plazo	88%	94%	6%	Poco Prioritario
estrategia a largo plazo	20%	100%	80%	Muy prioritario
análisis ambiental	88%	88%	100%	Nada prioritario

Nota: elaboración propia.

En esta plantilla el usuario podrá visualizar el puntaje actual por cada una de las áreas y subáreas, esta calificación le permite a la empresa conocer la situación en la cual se encuentra su desempeño y así poder establecer su estado en relación con la gestión integral de la empresa. Posteriormente, se visualiza el puntaje mínimo sugerido, el cual es un factor de valoración que permite estimar el valor mínimo al que cada área de la organización debería alcanzar para conseguir un desempeño estable. Su estimación analítica es generada en base a los descriptores en ascenso desde el nivel 1 hasta el nivel 4 de importancia en cada área para su organización, cada uno de ellos con cuatro niveles 1 = Irrelevante, 2 = Poco Importante, 3 = importante y 4 = Muy importante. En cada matriz de evaluación del área, se debe identificar la subárea indicando la importancia de acuerdo con la opinión del directivo que labora en la empresa. Seguidamente se observa el % de cumplimiento para lograr lo sugerido.

A continuación, se apreciará la brecha para alcanzar lo sugerido, el cual evidencia la diferencia que existe entre la situación actual (puntaje actual) y la situación deseada (puntaje mínimo sugerido). A través de la determinación del porcentaje de cumplimiento la plantilla define claramente que subáreas se están quedando rezagada y con ello determinar de forma automática la priorización que se requiere para lograr cumplir con el puntaje mínimo sugerido.

Figura 4

Diagnóstico General

% Deficiencia "Organizacional"	% Deficiencia "Maq y eq"	% Deficiencia "cono. tecnico"	Puntaje actual	Puntaje minimo sugerido	Brecha entre el puntaje actual y el minimo sugerido
63%	25%	13%	67%	83%	16%
0%	0%	0%	0%	0%	0%
0%	0%	0%	0%	0%	0%
0%	0%	0%	0%	0%	0%
0%	0%	0%	0%	0%	0%

Nota: elaboración propia.

En esta plantilla el usuario podrá observar los resultados generados en la evaluación de la situación actual de la empresa, así que comenzamos con el estado de cada una de las deficiencias y su nivel de déficit por cada una de las áreas centrales de la empresa. Luego se podrá observar las estimaciones de los promedios de la calificación actual y la mínima

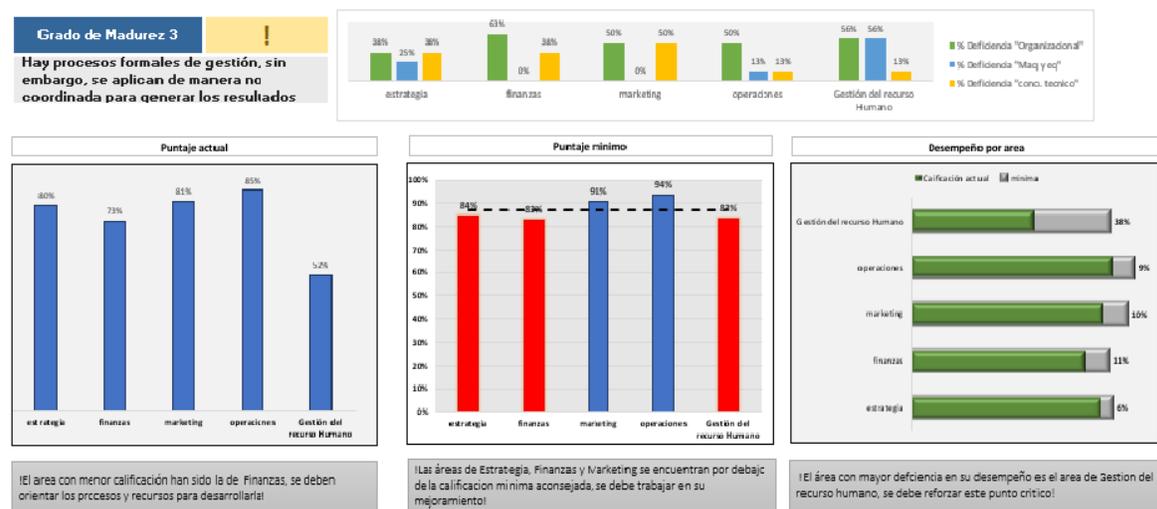
sugerida, las cuales, se realizaron a partir de cada opinión, según la importancia indicada por el personal directivo de la empresa.

Por otra parte, se realiza una estimación del promedio de cada opinión según la importancia indicada por el personal directivo, con el fin de determinar la brecha entre la situación media actual y la mínima sugerida, en la cual se podrá apreciar la situación existente en cada una de las áreas de la organización, que evidencia el área con mayor discrepancia y que debe ser fortalecida.

Luego se podrá apreciar el promedio general del puntaje actual y el mínimo sugerido y por último se aprecia la estimación analítica de la brecha entre el puntaje actual y el sugerido. El análisis de las brechas es crucial para comprender el origen de la variación y qué es lo que le falta, y que se requiere para mitigar dicha variación y así garantizar una adecuada gestión organizacional de la empresa.

Figura 5

Resultados



En esta plantilla se puede observar el grado de madurez de la empresa, el cual se establece mediante una estimación analítica basada en el promedio general de la puntuación actual y darle una puntuación de uno a cinco, presenta una retroalimentación para que la organización pueda mejorar. Después se encuentran los porcentajes de deficiencias por cada tipo de déficit que se existe por área, en la parte inferior se podrá apreciar la puntuación actual

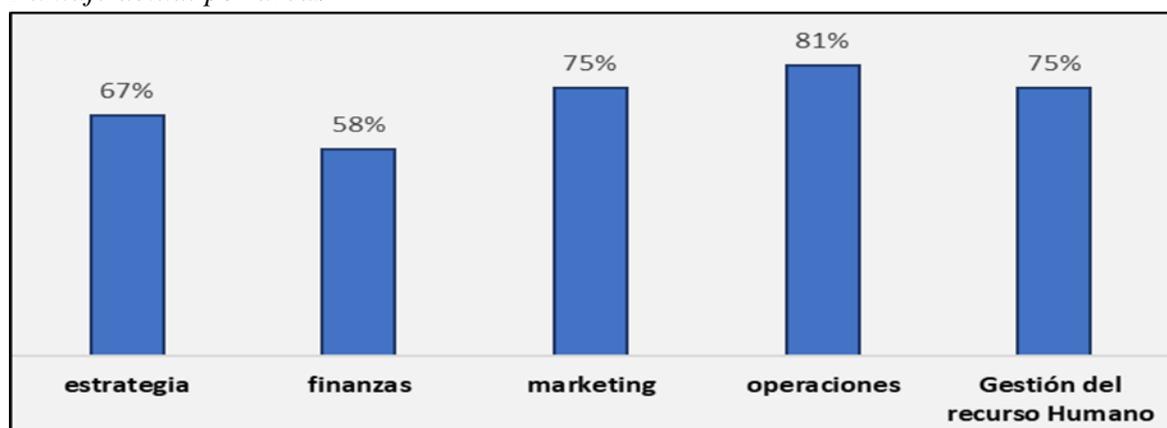
de cada área, la cual cuenta con un rotulo que informa cual ha sido área con menor calificación, enseguida se observa la calificación mínima, la cual, visualiza las áreas que se encuentran por debajo de la calificación mínima sugerida, y por último se observa un análisis comparativo entre el puntaje actual y el % de cumplimiento, indicando cuales son las áreas con mayor variación para lograr el adecuado manejo administrativo de la empresa.

RESULTADOS

Los resultados del autodiagnóstico aplicado permiten visualizar, en la Figura 6, el puntaje actual por áreas

Figura 6

Puntaje actual por áreas



Nota: elaboración propia

En la figura 6 se observa que la puntuación general de la MiPyme se encuentra entre un 67% y un 81%, con una óptima puntuación para el área de operaciones con 81%, seguidas por las áreas de marketing y gestión del recurso humano con un 75% respectivamente y con un menor puntaje el área de finanzas con un 58%.

Figura 7

Análisis de previsiones

sub Área	Puntaje actual	Puntaje Mínimo Sugerido	Brecha para alcanzar lo sugerido	priorización para lograr lo sugerido
Planeamiento financiero	50%	63%	13%	Poco Prioritario
Control financiero	50%	75%	25%	prioritario
margen de contribución y rentabilidad	81%	88%	6%	Poco Prioritario
indicadores financieros	50%	81%	31%	prioritario

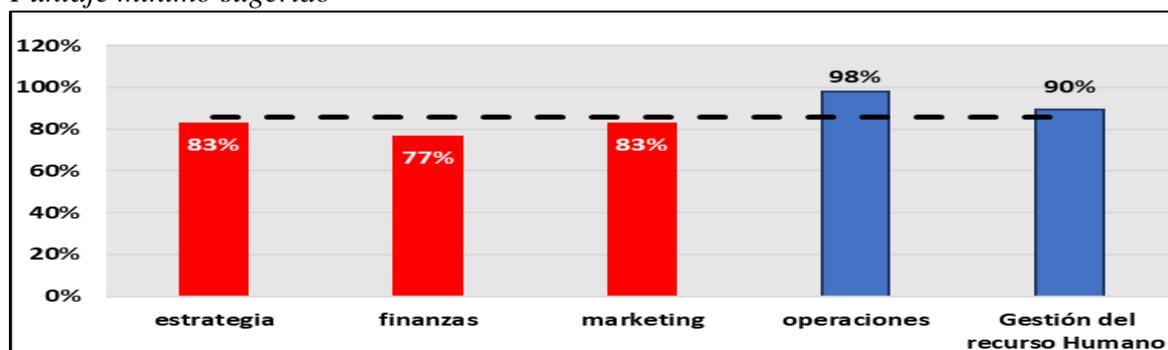
Nota: elaboración propia.

En la figura 7 se observa que las subáreas con mayor debilidad son indicadores y control financiero, puesto que la brecha que existe entre el puntaje actual y el mínimo sugerido se encuentra en un 31% para indicadores y un 25% para el control. Se evidencia que dichas áreas requieren una intervención prioritaria para lograr el puntaje mínimo requerido.

Por otra parte, en la figura 8 se podrá observar las áreas que se encuentran por debajo del puntaje mínimo sugerido.

Figura 8

Puntaje mínimo sugerido



Nota: elaboración propia.

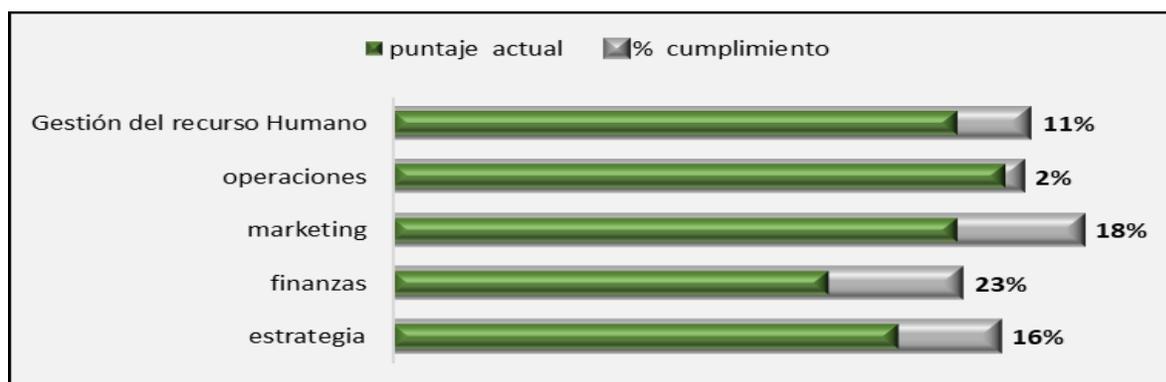
En la figura 8 se observa que el área que se encuentra por arriba del puntaje mínimo sugerido es la de operaciones, seguida de gestión del recurso humano y, con una elevada posibilidad de mejora, las áreas de marketing y estratégica; sin embargo, para el área de marketing se evidencian puntuaciones por debajo del mínimo sugerido en la subárea de medios “online y offline”. Así mismo, en el área estratégica se identificó un puntaje más bajo que el

mínimo sugerido en la subárea de estrategia a corto plazo. Las principales subáreas por mejorar son planeamiento y control financiero, adjuntas al área de finanzas.

Para el análisis administrativo de la empresa se consideraron las áreas estratégicas, finanzas, marketing, operaciones y gestión del recurso humano. En la figura 9 se presenta el desempeño general de este.

Figura 9

Análisis administrativo de la empresa



Nota: elaboración propia.

En líneas generales, como se observa en la figura 9, el resultado obtenido posibilita establecer oportunidades de mejoramiento continuo que promuevan el mejoramiento del puntaje global. Para ello, se debe observar que las áreas de finanzas y marketing son puntos débiles que inciden el proceso de análisis y desarrollo organizacional. Por otra parte, es necesario el establecimiento de acciones estratégicas que contribuyan de forma significativa en la retención del talento humano. Así mismo, la subárea de estrategia a largo plazo se debe analizar a profundidad para lograr una perspectiva apropiada para la comercializadora de café gourmet “Café Sutileza”.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

A continuación, se contrastarán los resultados obtenidos en el presente estudio con algunos desarrollados en procesos similares en otros entornos.

Los datos indican que Café Sutileza actualmente cuenta con procesos formales de gestión, sin embargo, no se llevan a cabo de manera coordinada para lograr una gestión adecuada de la organización. En acuerdo con lo analizado por Romero et al (2021), para quienes la adecuada gestión organizacional genera resultados positivos en la administración de la organización. Desde otra perspectiva Gómez et al (2016), manifiestan que las intervenciones a nivel gerencial son instrumentos que facilitan el mejoramiento de elementos estratégicos del funcionamiento de la organización.

En la misma línea, se deben mejorar el planeamiento, control e indicadores financieros debido a que, la deficiencia en su cumplimiento afecta la identificación de dificultades inminentes que permitan pronosticar la condición financiera con la finalidad de implementar correctivos apropiados y resolverlas (Párraga et al., 2021; Romero y Ramírez, 2018). Otros autores señalan que se hace necesario la mejora en la gestión financiera para contar un adecuado manejo financiero de la organización, que a su vez contribuirá a equilibrar los riesgos y la rentabilidad, encaminado hacia una idónea toma de decisiones financieras. (Báez y Puentes, 2018) y (Brossard, 2021).

También, al interior de Café Sutileza fue posible evidenciar que una de las áreas con mayores de posibilidades de mejora es la de marketing, ya que ésta, ha comprendido la necesidad de desarrollar diferentes acciones estratégicas de marketing tradicional y digital que se encuentren en caminadas hacia la satisfacción de las necesidades y deseos de los consumidores. Esto debe impulsar a la organización al desarrollo de material publicitario concretos, para su nicho de mercado, con la misión de tender los requerimientos de los consumidores objetivos, así como del mercado en general, para con ello, afianzar el nexo entre Café Sutileza y sus clientes. Por otro lado, es importante señalar que la capacidad competitiva que hoy impone el mercado, especialmente en el ámbito digital, debe llevar a Café Sutileza a incursionar mucho más en el medio digital, para obtener un importante

reconocimiento y posicionamiento de marca por parte de su nicho de mercado, en concordancia con los investigado por Grillo y Moreno (2022), quienes señalan que la apropiada gestión de la planeación estratégica del marketing digital, genera una mayor interrelación entre la marca y su target, resultante de la constante publicación de contenido atrayente y relevante.

Respecto al análisis del área estratégica, se pudo apreciar que la planeación de corto y mediano plazo, incentiva el pensamiento a futuro, limita la atención de minucias operativas y administrativas que distraen la atención, en tanto contribuye con la identificación y evaluación de alternativas estratégicas que mejoren la gestión empresarial, en la misma línea del estudio de López y Garza (2020) quienes enfatizan en la importancia de la gestión organizacional por intermedio del establecimiento de una acertada planeación estratégica como uno de los aspectos preponderantes en la generación de valor para la organización. En igual sentido Huilcapi y Gallego (2020), consideran que los directivos deben trabajar arduamente en la planeación estratégica como herramienta de análisis organizacional que permita realizar cambios encaminados a la corrección de deficiencias y el mejoramiento en su desarrollo, en la perspectiva de una cualificada gestión administrativa y operativa de la organización empresarial.

El autodiagnóstico organizacional es un proceso que permite analizar las diversas áreas funcionales de una empresa con el fin de identificar los factores críticos que inciden en el logro de los objetivos estratégicos. En el caso de la comercializadora de café gourmet Café Sutileza, se detectó una dificultad en la falta de una herramienta de diagnóstico adecuada que permitiera una gestión empresarial eficiente. La aplicación del autodiagnóstico permitió a la dirección de Café Sutileza comprender su situación actual e identificar áreas de oportunidad para establecer acciones estratégicas que orienten hacia una gestión más eficiente.

En conclusión, la provisión de herramientas ofimáticas de fácil manejo es esencial para el desarrollo de las organizaciones empresariales de pequeñas y medianas empresas (MyPimes), ya que fomenta una mentalidad de evaluación, diagnóstico y control, así como actividades orientadas a la mejora continua. Por lo tanto, la implementación del autodiagnóstico organizacional y el uso de herramientas de diagnóstico adecuadas son cruciales para una gestión eficiente en las empresas MyPimes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, A., González, C. y Caldera, D. C. (2017). Diagnóstico organización y plantación estratégica en una microempresa de agro alimentos del estado de Guanajuato. *Management Review*, 2(1), 117-134. <https://doi.org/10.18583/umr.v2i1.48>
- Asencio, L., Crespo, S., Rosales, W. y Vergara, V. (2017). El diagnóstico organizacional, contextualizado en los negocios fabriles de la provincia de Santa Elena-Ecuador 2015-2016. *INNOVA Research Journal*, 2(5), 137-147.
- Báez, M. y Puentes, G. (2018). Parámetros financieros para la toma de decisiones en pequeñas y medianas empresas del municipio Duitama, Colombia. *Revista de ciencias sociales*, 24(1), 67-84. <http://bit.ly/3K2NNZ1>
- Barrientos, J. (2019). La revisión bibliográfica en el doctorado en Administración. *Ciencias administrativas*, (14), 99-112. <https://doi.org/10.24215/23143738e049>
- Bravo, L., Valenzuela, A., Ramos, P. y Tejada, A. (2019). Perspectiva teórica del diagnóstico organizacional. *Revista Venezolana de Gerencia*, 24(88), 1316-1328. <https://doi.org/10.37960/revista.v24i88.30182>
- Brossard, A. (2021). Procedimiento de análisis económico-financiero para tomar decisiones en la gestión administrativa. *Ciencias Holguín*, 27(4), 1-9
- Canta, J. y Quesada, J. (2021). El uso del enfoque del estudio de caso: Una revisión de la literatura. Horizontes. *Revista de Investigación en Ciencias de la Educación*, 5(19), 775-786. <https://doi.org/10.33996/revistahorizontes.v5i19.236>
- Cantero H., Leyva, E., Torres S., Lao, Y., Pérez, M. y Vega De la Cruz, L. (2021). Indicadores de medición del desempeño empresarial: caso de estudio en entidades del territorio holguinero. *Semestre Económico*, 24(56), 167-182. <https://doi.org/10.22395/seec.v24n56a7>

- Cantos, M. (2017). Diagnóstico organizacional en escuelas públicas de educación básica del Cantón Cañar- Ecuador, para promover su efectividad. *Población y Desarrollo*, 23(44), 86-92. [https://doi.org/10.18004/pdfce/2076-054x/2017.023\(44\)086-092](https://doi.org/10.18004/pdfce/2076-054x/2017.023(44)086-092)
- Casanova, C., Mustelier, M. y Casanova, T. (2019). Manifestaciones del Síndrome de Burnout, en docentes de la Universidad de Cienfuegos. *Revista Conrado*, 15(66), 91-97. <https://bit.ly/3xjopqc>
- Castro, R. (2017). Revisión y análisis documental para estado del arte: imaginarios sociales sobre inclusión educativa. *Revista latinoamericana de educación inclusiva*, 11(1), 283-297
- Chicaiza, N., Chicaiza, B., Velasco, A. y Mena, N. (2022). Diagnóstico de la gestión administrativa en la Compañía de Transporte “Rutas Salcedenses” a través de herramienta de análisis FODA. *Polo del Conocimiento*, 7(3), 1112-1129. <http://dx.doi.org/10.23857/pc.v7i3.3781>
- Díaz, Á., Murillo, G. y Ceballos, J. (2018). Diseño de estrategias de mejoramiento a partir del diagnóstico de clima organizacional en una empresa distribuidora de combustibles y alimentos. *Entramado*, 14(1), 12-31. <https://doi.org/10.18041/entramado.2018v14n1.27127>
- Gomez, D., Pelcastre, B. y Parada Toro, I. (2016). Diseño de una herramienta gerencial para la mejora organizacional en centros de salud de primer nivel de atención. *Horizonte Sanitario*, 15, 69. <https://doi.org/10.19136/hs.a15n2.1102>
- González Meriño, R. F., Antúnez Saiz, V. I. y Palacios Hidalgo, Á. (2021). Propuesta de procedimiento para el diagnóstico organizacional. *Revista Estudios del Desarrollo Social: Cuba y América Latina*, 9(3). <https://bit.ly/3xb8hr0>
- Grillo, C. (2022). Contribución del contenido online y su aporte a identidad institucional de las librerías colombianas. En A. Dominguez y. G. Bonales (Ed.), *Estrategias de Comunicación Publicitaria en Redes Sociales: Diseño, gestión e Impacto* (pp. 385 – 402). McGraw-Hill.

- Grillo Torres, C. M. y Moreno López, W. (2022). Importance of digital marketing in Colombian universities with accredited quality: Contributions to the qualification of its use. *Revista Internacional de Cultura Visual*, 9(3), 1-13. <https://doi.org/10.37467/revvisual.v9.3587>
- Huilcapi, S. I., y Gallegos, D. N. (2020). Importancia del diagnóstico situacional de la empresa. *Revista ESPACIOS*, 41(40), 11-23. <https://bit.ly/40KidFs>
- León Castro, D. A. y Bernal Domínguez, D. (2021). Diagnóstico organizacional, un estudio de caso en el Hospital Civil de Culiacán. *Ciencias Administrativas. Teoría y Praxis*, 17(1), 86 - 103. <https://doi.org/10.46443/catyp.v17i1.274>
- Leyva Carreras, A., Cavazos Arroyo, J. y Espejel Blanco, J. (2018). Influencia de la planeación estratégica y habilidades gerenciales como factores internos de la competitividad empresarial de las Pymes. *Contaduría Y Administración*, 63(3), e41. <http://dx.doi.org/10.22201/fca.24488410e.2018.1085>
- López Lemus, J. A. y Garza Carranza, M. T. (2020). La creación de valor a través de la planeación estratégica en microempresas emprendedoras. *Contaduría y Administración*, 65(3), 1-23. <https://doi.org/10.22201/fca.24488410e.2020.2312>
- Medina Cruz, J. Quintana Fuentes, L. F. y Olaya, M. I. (2020). Modelo diagnóstico empresarial: caso “Fábrica de café y chocolate El Agrario” San Vicente de Chucurí, Santander. *Ciencia y Agricultura*, 17(3). <http://bit.ly/3YompZW>
- Mendonça, H., Ferreira, M. C. y Neiva, E. R. (2020). *Análise e diagnóstico organizacional: Teoria e Prática*. Vetor Editora.
- Muñiz, L. (2017). *Check-list para el diagnóstico empresarial: Una herramienta clave para el control de gestión*. Profit Editorial.
- Párraga Franco, S. M., Pinargote Vázquez, N. F., García Álava, C. M. y Zamora Sornoza, J. C. (2021). Indicadores de gestión financiera en pequeñas y medianas empresas en Iberoamérica: una revisión sistemática. *Dilemas contemporáneos: educación, política y valores*, 8(2), 00026. <https://doi.org/10.46377/dilemas.v8i.2610>

- Puentes Figueroa, C. E. y Maestre-Góngora, G. P. (2019). Plan estratégico basado en ITIL para mipymes en el departamento de Arauca-Colombia. *Lámpsakos*, (22), 68-86. <https://doi.org/10.21501/21454086.3280>
- Romero Álvarez, Y. y Ramírez Montoya, J. (2018). Relación de la toma de decisiones financieras con el nivel de conocimiento financiero en las mipymes. *Suma de Negocios*, 9(19), 36-44. <https://doi.org/10.14349/sumneg/2018.V9.N19.A5>
- Romero Hidalgo, Ó., Hidalgo Sánchez, A., Canales Aybar, E. y Ruíz Carrillo, J. (2021). Gestión empresarial y su influencia en los planes estratégicos de las medianas empresas del Ecuador. *SUMMA. Revista Disciplinaria En Ciencias económicas Y Sociales*, 3(2), 1-23. <https://doi.org/10.47666/summa.3.2.33>
- Sánchez, S. M., Loor, A. M. A., Santana, N. L. A. y Macías, E. A. C. (2020). Diagnóstico organizacional en unidades de apoyo de instituciones de educación superior. Caso Facultad de Matemáticas de la Universidad Técnica de Manabí. *UNIANDÉS EPISTEME*, 7, 517-532
- Sansores Guerrero, E. A., Navarrete Marneou, J. E., Alvarado-Peña, L. J. y Licandro, Óscar D. (2020). Diagnóstico situacional en microempresas mexicanas: Fracaso o sobrevivencia empresarial. *Revista De Ciencias Sociales*, 26(1), 61-76. <https://doi.org/10.31876/rcs.v26i1.31311>
- Souza, M. K. B. de, Lima, Y. O. R., Paz, B. M. S. da, Costa, E. A., Cunha, A. B. O., y Dos Santos, R. (2019). Potencialidades da técnica de grupo focal para a pesquisa em vigilância sanitária e atenção primária à saúde. *Revista Pesquisa Qualitativa*, 7(13), 57-71. <https://doi.org/10.33361/RPQ.2019.v.7.n.13.169>
- Taípe Castro, R. M. (2020). Diseño organizacional mediante el enfoque sistémico y cibernético: El caso de una empresa prestadora de saneamiento. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 28(1), 68-82. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-3305202000010006>
- Uribe Lopez, A., Arredondo Cortés, S. y López Mayoral, M. (2019). Diagnóstico De Gestión Institucional: Un Estudio de Caso En Educación Básica. *Revista De La Facultad De Contaduría Y Ciencias Administrativas*, 4(7), 9-22. <http://bit.ly/3IhhVP4>

Yin, R. K. (2017). *Case study research: Design and methods* (Vol. 6 Ed). SAGE Publications, Inc.

4. BLOCKCHAIN PARA EL ASEGURAMIENTO DE TRANSACCIONES EN EL TRANSPORTE AÉREO INTERNACIONAL

Blockchain for Insurance International Air Transport Transactions

Hugo Ticona Salluca¹

Jordan Piero Borda Colque²

Fred Torres-Cruz³

Juan Carlos Juárez Vargas⁴

Leonel Coyla Idme⁵

Pares evaluadores: Red de Investigación en Educación, Empresa y Sociedad – REDIEES.²³

¹Universidad Nacional del Altiplano de Puno, P.O. Box 291, Puno-Perú, <https://orcid.org/0000-0002-3800-8433>, hticonas@est.unap.edu.pe.

²Universidad Nacional del Altiplano de Puno, P.O. Box 291, Puno-Perú, <https://orcid.org/0000-0001-8488-1658>, jbordac@est.unap.edu.pe.

³Universidad Nacional del Altiplano de Puno, P.O. Box 291, Puno-Perú, <https://orcid.org/0000-0002-3800-8433>, ftorres@unap.edu.pe.

⁴Universidad Nacional del Altiplano de Puno, P.O. Box 291, Puno-Perú, <https://orcid.org/0000-0002-2816-8003>, jjuarvezv@unap.edu.pe.

⁵Universidad Nacional del Altiplano de Puno, P.O. Box 291, Puno-Perú, <https://orcid.org/0000-0003-3538-1061>, lcoyla@unap.edu.pe.

BLOCKCHAIN PARA EL ASEGURAMIENTO DE TRANSACCIONES EN EL TRANSPORTE AÉREO INTERNACIONAL

*Hugo Ticona Salluca, Jordan Piero Borda Colque, Fred Torres-Cruz, Juan Carlos Juárez
Vargas, Leonel Coyla Idme*

RESUMEN

La tecnología blockchain puede revolucionar varios sectores, entre ellos el de las aerolíneas. La Asociación de Transporte Aéreo Internacional (IATA) está explorando el uso de la tecnología blockchain en varias áreas para mejorar la eficiencia, la seguridad y la transparencia de la industria del transporte aéreo. Una de las aplicaciones más prometedoras de la tecnología blockchain en el sector aéreo es el seguimiento del equipaje. La tecnología blockchain puede proporcionar una forma segura y transparente de rastrear las maletas a lo largo de su viaje, desde la facturación hasta la llegada, reduciendo el riesgo de pérdida o mal manejo del equipaje. Esto podría suponer un importante ahorro de costes para las aerolíneas y mejorar la experiencia general del cliente. Otra posible aplicación de la tecnología blockchain en el sector aéreo es la emisión de billetes y los pagos. La tecnología blockchain puede permitir sistemas de emisión de billetes seguros y descentralizados, reduciendo el riesgo de fraude y mejorando la velocidad y la eficiencia de las transacciones. Esto también podría ayudar a las aerolíneas a reducir costes y mejorar la satisfacción del cliente. Otro ejemplo aplicable es la metodología basada en blockchain, conocida como IATA Travel Pass. Esta aplicación proporciona una forma segura y eficiente para que los viajeros gestionen sus resultados de la prueba COVID-19 y sus registros de vacunación cuando viajan internacionalmente. La IATA Travel Pass utiliza la tecnología blockchain para proporcionar un registro seguro y a prueba de manipulaciones del estado de salud del viajero, que puede compartirse fácilmente con las compañías aéreas y las autoridades de control fronterizo. En general, la aplicación de la tecnología blockchain en la industria aérea tiene el potencial de transformar la forma en que operan las aerolíneas, conduciendo a una mayor eficiencia, seguridad y transparencia. A medida que el sector siga adoptando nuevas tecnologías, será interesante ver cómo sigue integrándose blockchain en el ecosistema del transporte aéreo.

Palabras Clave: cadena de bloques, IATA; industria de aerolíneas; tecnología.

ABSTRACT

Blockchain technology has the potential to revolutionize various industries, including the airline industry. The International Air Transport Association (IATA) is exploring the use of blockchain technology in several areas to improve the efficiency, security, and transparency of the air travel industry. One of the most promising applications of blockchain technology in the airline industry is in the area of baggage tracking. Blockchain technology can provide a secure and transparent way to track bags throughout their journey, from check-in to arrival, reducing the risk of lost or mishandled luggage. This could lead to significant cost savings for airlines and improve the overall customer experience. Another potential application of blockchain technology in the airline industry is in the area of ticketing and payments. Blockchain technology can enable secure, decentralized ticketing systems, reducing the risk of fraud and improving the speed and efficiency of transactions. This could also help airlines to reduce costs and improve customer satisfaction. Another applicable example is the blockchain-based methodology known as IATA Travel Pass. This application provides a secure and efficient way for travelers to manage their COVID-19 test results and vaccination records when traveling internationally. The IATA Travel Pass uses blockchain technology to provide a secure, tamper-proof record of traveler health status that can be easily shared with airlines and border control authorities. Overall, the application of blockchain technology in the airline industry has the potential to transform the way airlines operate, leading to increased efficiency, security, and transparency. As the industry continues to embrace new technologies, it will be interesting to see how blockchain continues to be integrated into the air travel ecosystem.

Keywords: blockchain; IATA; airlines industry; technology.

INTRODUCCIÓN

La tecnología Blockchain actualmente está pasando por una fase en la que está creciendo y los sólidos beneficios son obvios y cada vez más evidentes. La clasificación de una amplia gama de casos de uso, muestra consistentemente la formación de grupos en torno a unas pocas áreas de aplicación, con muchos aprovechando específicamente la Tokenización y los Contratos Inteligentes. Dado que la aviación es un sector muy complejo en el que se necesitan colaboraciones entre un gran número de entidades, la IATA cree que blockchain proporcionaría una oportunidad para que la industria de la aviación agilice las interacciones entre empresas y transforme los procesos de facturación, conciliación, liquidación y contabilidad. los procesos de facturación, conciliación, liquidación y contabilidad. En particular, el informe enumera cinco áreas en las que blockchain se encuentra con la industria de la aviación. Las cinco áreas incluyen puntos de viajero frecuente equipaje, carga y piezas de repuesto, distribución y pago, gestión de identidad de pasajeros y tripulación, y contratos inteligentes en toda la cadena de valor de los viajes (To, 2020).

Si bien hay muchas razones por las que esta tecnología se encuentra en una posición única como solución a muchos problemas en los negocios y más allá, todavía hay algunos desafíos clave que deben abordarse antes de que la adopción gane tracción. La escalabilidad, la gobernanza y el coste de uso se han identificado como los principales obstáculos.

La cadena de valor en el sector de la aviación es intrínsecamente muy colaborativa, con muchas asociaciones entre proveedores para orquestar colectivamente la entrega de productos y servicios de viaje. Los contratos inteligentes tienen un gran potencial para agilizar las interacciones entre empresas. En particular, para alterar procesos como la facturación, la conciliación, la liquidación y la contabilidad (Li, Lai, Yang y Yuen, 2021).

Sin embargo, para aprovechar sus ventajas, el enfoque desde el principio debe ser el descubrimiento, la investigación y la aplicación de soluciones, manteniendo una mentalidad abierta sobre soluciones alternativas durante todo el proceso. Además, hay muchas opciones de diseño relacionadas con el tipo y la configuración de Blockchain que deben considerarse y compararse cuidadosamente. El enfoque recomendado es incluir Blockchain como una de

las posibles soluciones a considerar. En general, la aplicación de la tecnología blockchain en la industria aérea tiene el potencial de transformar la forma en que operan las aerolíneas, conduciendo a una mayor eficiencia, seguridad y transparencia. A medida que el sector siga adoptando nuevas tecnologías, será interesante ver cómo sigue integrándose blockchain en el ecosistema del transporte aéreo.

La tecnología Blockchain ha demostrado ser muy útil en una variedad de aplicaciones empresariales, y el transporte aéreo internacional no es una excepción. Una de las aplicaciones más interesantes de la tecnología blockchain en el transporte aéreo internacional es la gestión de la cadena de suministro y la trazabilidad de los envíos.

Con la tecnología Blockchain, se pueden crear registros digitales inmutables y seguros de los detalles de un envío, incluyendo el origen, el destino, los tiempos de tránsito y cualquier otra información relevante. Estos registros se comparten con todas las partes involucradas en la cadena de suministro, lo que permite una mayor transparencia y colaboración.

Además, la tecnología Blockchain también puede utilizarse para gestionar y agilizar los pagos internacionales en el transporte aéreo. Al permitir pagos directos entre las partes involucradas, eliminando intermediarios y reduciendo los tiempos de procesamiento, se puede mejorar la eficiencia y reducir los costos en todo el proceso.

Otro beneficio de la tecnología blockchain en el transporte aéreo internacional es la capacidad de rastrear y verificar los datos de seguridad y cumplimiento, lo que puede mejorar la seguridad y la confianza en el sistema de transporte aéreo. Por ejemplo, los datos de inspección de seguridad pueden ser registrados en la cadena de bloques y verificados por todas las partes involucradas, lo que puede ayudar a prevenir el tráfico de drogas y otros delitos (Boucher, Nascimento y Kritikos, 2017).

Por tanto, el sector de las aerolíneas ha estado experimentando una transformación digital, con la introducción de nuevas tecnologías y servicios que están transformando la forma en que operan las aerolíneas. A medida que la industria continúa adoptando nuevas tecnologías, será interesante ver cómo blockchain continúa integrándose en el ecosistema del transporte aéreo (Estrada Muñoz, y Valenzuela Sánchez, 2020). En este trabajo, analizaremos

el potencial de la tecnología blockchain acerca de su posible aplicación en transacciones del Transporte Aéreo Internacional y las ventajas e inconvenientes de su implantación.

DESARROLLO

Blockchain es una tecnología que se utiliza para almacenar y transferir información de forma segura y transparente. En esencia, es una base de datos distribuida en la que cada participante tiene una copia idéntica de la información almacenada. Las transacciones en blockchain se validan mediante un proceso de consenso, lo que significa que todas las copias de la base de datos deben estar de acuerdo antes de que una transacción pueda ser aceptada (Argañaraz, Mazzuchelli, Albanese, y López, 2019).

Algunos de los fundamentos clave de Blockchain son:

Descentralización: Una de las características más importantes de blockchain es que es descentralizado, lo que significa que no está controlado por una sola entidad central. En su lugar, está distribuido en una red de nodos que trabajan juntos para mantener la integridad de la base de datos.

Inmutabilidad: La información almacenada en una cadena de bloques es inmutable, lo que significa que no puede ser alterada o eliminada sin dejar rastro. Cada transacción en la cadena de bloques se registra permanentemente en la base de datos y es visible para todos los nodos de la red.

Seguridad: La tecnología blockchain utiliza técnicas criptográficas avanzadas para garantizar la seguridad de la información almacenada en la cadena de bloques. Cada transacción está protegida por una firma digital que garantiza que solo el propietario legítimo de los activos pueda transferirlos.

Transparencia: La naturaleza transparente de blockchain significa que todas las transacciones realizadas en la cadena de bloques son visibles para todos los participantes de la red. Esto ayuda a fomentar la confianza y la transparencia en las transacciones comerciales.

Smart Contracts: Los smart contracts son programas informáticos que se ejecutan automáticamente cuando se cumplen ciertas condiciones. Los smart contracts se pueden utilizar para automatizar procesos comerciales y reducir la necesidad de intermediarios.

En resumen, Blockchain es una tecnología que utiliza una base de datos distribuida, inmutable y segura para almacenar y transferir información de manera transparente. La tecnología ofrece una amplia gama de beneficios, como la descentralización, la inmutabilidad, la seguridad, la transparencia y la capacidad de ejecutar smart contracts (Bartolomeo y Machín Urbay, 2020).

Identificación de ventajas y desventajas de blockchain aplicado al transporte internacional

Cuando se trata de las ventajas de la tecnología blockchain para el transporte internacional, el primer y más obvio beneficio es que podría conducir a una mayor eficiencia y ahorro de costes. Al agilizar todo el proceso de reserva, las aerolíneas podrían ahorrar tiempo y dinero en costes administrativos y operativos. Además, blockchain podría ayudar a reducir el fraude y aumentar la seguridad, ya que todos los datos se almacenarían en un libro de contabilidad seguro y distribuido. También podría mejorar la transparencia, ya que todos los miembros de la IATA podrían acceder a los datos almacenados en la cadena de bloques.

Por otro lado, el uso de la tecnología Blockchain para la IATA también presenta algunas desventajas. Por ejemplo, la tecnología es aun relativamente nueva y no ha sido probada, por lo que existe el riesgo de que el sistema sea vulnerable a ataques o manipulaciones (Di Domenico Litrán, 2023). Además, existe preocupación por la privacidad, ya que los datos almacenados en la cadena de bloques serían accesibles a todos los miembros de la IATA. Por último, existe la posibilidad de que no sea escalable, ya que la tecnología podría atascarse si se realizan demasiadas transacciones a la vez (Moreno Gil, 2022).

Tabla 1*Ventajas y desventajas*

Ventajas	Desventajas
Transparencia y trazabilidad	Adopción limitada
Mayor seguridad y privacidad	Problemas de escalabilidad
Eficiencia y reducción de costos	Requerimientos técnicos avanzados

Nota: elaboración propia.

Ventajas:

- **Transparencia y trazabilidad:** permite una mayor transparencia y trazabilidad de las transacciones en el transporte aéreo internacional.
- **Mayor seguridad y privacidad:** asegura que los datos no sean alterados sin autorización y garantiza una mayor privacidad.
- **Eficiencia y reducción de costos:** mejora la eficiencia y reduce los costos al eliminar intermediarios y reducir los errores humanos.

Desventajas:

- **Adopción limitada:** aún no ha sido ampliamente adoptada en el transporte aéreo internacional.
- **Problemas de escalabilidad:** limita la capacidad de la tecnología blockchain para manejar grandes volúmenes de transacciones en tiempo real.
- **Requerimientos técnicos avanzados:** requiere conocimientos técnicos avanzados y recursos adecuados para implementar y mantener una red blockchain.

Aplicaciones posibles en las transacciones del transporte aéreo internacional

Existen varias aplicaciones posibles de Blockchain en el transporte aéreo internacional, algunas de las cuales identificaremos a continuación:

1. **Seguimiento de la cadena de suministro:** Blockchain puede utilizarse para rastrear el movimiento de los productos y materiales a lo largo de toda la cadena de suministro. Esto puede mejorar la transparencia, la eficiencia y la seguridad del transporte aéreo. Por ejemplo, la empresa de logística DHL ha implementado una solución de seguimiento de la cadena de suministro basada en Blockchain que permite a los clientes realizar un seguimiento en tiempo real de sus envíos (Fuentes, Fernández y Cárdenas, 2022).
2. **Gestión de documentos y contratos:** Blockchain puede utilizarse para almacenar y gestionar documentos y contratos relacionados con el transporte aéreo internacional. Esto puede mejorar la seguridad, la eficiencia y la transparencia de los procesos de gestión de documentos y contratos (Preisegger, Muñoz, Pasini y Pesado, 2019). Por ejemplo, la aerolínea Air France ha implementado una solución basada en Blockchain para verificar la autenticidad de los certificados de mantenimiento de sus aviones.
3. **Gestión de identidad y acceso:** Blockchain puede utilizarse para gestionar la identidad y el acceso de las personas que trabajan en el transporte aéreo internacional, como los pilotos, el personal de mantenimiento y los pasajeros. Esto puede mejorar la seguridad y la eficiencia de los procesos de identificación y acceso. Por ejemplo, la aerolínea Lufthansa ha desarrollado una solución de identidad digital basada en Blockchain que permite a los pasajeros registrarse en los vuelos sin tener que mostrar su pasaporte en el aeropuerto (Tirso Pérez y Plasencia López, 2021).
4. **Gestión de pagos y compensaciones:** Blockchain puede utilizarse para gestionar los pagos y las compensaciones relacionados con el transporte aéreo internacional. Esto puede mejorar la eficiencia y la transparencia de los procesos de pago y compensación. Por ejemplo, la aerolínea KLM ha desarrollado una solución de compensación basada en Blockchain que permite a los pasajeros presentar reclamaciones y recibir compensaciones de manera más eficiente (Martínez Orri, 2021).

5. **Gestión de datos de mantenimiento:** Blockchain puede utilizarse para registrar y almacenar datos de mantenimiento de aeronaves, lo que permite una mayor eficiencia en la gestión del mantenimiento de las aeronaves y una mejor planificación de la gestión del tiempo y recursos.
6. **Gestión de la seguridad:** Blockchain puede utilizarse para mejorar la seguridad del transporte aéreo mediante el registro de datos de seguridad, seguimiento de incidentes, reportes de seguridad, y gestión de la capacitación y certificación del personal.
7. **Gestión de registros de vuelo:** Blockchain puede utilizarse para almacenar los registros de vuelo y otros datos operativos relacionados con la gestión de vuelos, lo que puede mejorar la eficiencia en la planificación y gestión de los vuelos, así como la seguridad en la gestión de emergencias.
8. **Gestión de la propiedad intelectual:** Blockchain puede utilizarse para gestionar la propiedad intelectual relacionada con la innovación en el transporte aéreo, lo que puede mejorar la protección de los derechos de propiedad intelectual y reducir los litigios y disputas legales (Carbonero Del Val, 2021).

Aquí se presentan algunas iniciativas innovadoras adicionales de Blockchain para el transporte aéreo internacional:

Aviation Blockchain Sandbox: es un proyecto de la Agencia de Aviación Civil de Singapur que se centra en el desarrollo de aplicaciones Blockchain para el transporte aéreo. El proyecto cuenta con la participación de diversas empresas y organizaciones, incluyendo la Autoridad de Aviación Civil de Singapur, Singapore Airlines y Airbus (Li, Peng, Liu, He y Zhang, 2020).

Winding Tree: es una plataforma Blockchain de código abierto que se enfoca en la gestión de reservas de viajes. La plataforma permite la eliminación de intermediarios y reducción de costos, al mismo tiempo que aumenta la seguridad y transparencia en la gestión de reservas (Ye, Hui, Chen y Hi, 2020).

DAFO: es una plataforma Blockchain que se enfoca en la gestión de la cadena de suministro. La plataforma permite la trazabilidad de la carga y la automatización de los procesos de

envío, lo que puede reducir costos y aumentar la eficiencia en la gestión de la cadena de suministro del transporte aéreo (Vila Gisbert, 2021).

FlightChain: es un proyecto liderado por SITA, una empresa especializada en tecnología para el transporte aéreo, que se enfoca en el registro de datos de vuelo utilizando Blockchain. El proyecto tiene como objetivo mejorar la eficiencia y la seguridad en la gestión de los datos de vuelo, al mismo tiempo que se garantiza la privacidad y la protección de los datos de los pasajeros (Mayer, 2019).

Modelo de desarrollo de aplicación de Blockchain para el rastreo de maletas

El rastreo de maletas es una de las aplicaciones más populares y exitosas de la tecnología Blockchain en la industria del transporte. El concepto es simple: cada maleta es etiquetada con una etiqueta de identificación única que se registra en una cadena de bloques. A medida que la maleta se mueve a través del sistema de transporte, se registran sus movimientos en la cadena de bloques, lo que permite a los pasajeros y a las aerolíneas rastrear su ubicación en tiempo real.

La tecnología Blockchain proporciona una solución confiable y segura para el rastreo de maletas, ya que todos los datos se registran en una base de datos descentralizada que es inmutable e incorruptible. Además, la tecnología también permite la automatización de procesos y la reducción de costos, lo que puede mejorar la eficiencia y la rentabilidad en la industria del transporte (Ahmad, Salah, Jayaraman, Hasan, Yaqoob y Omar, 2021).

Blockchain puede utilizarse para el rastreo de maletas en el transporte aéreo, lo que puede mejorar la eficiencia y la transparencia en la gestión de equipaje. A continuación, se presenta un ejemplo de cómo podría funcionar el rastreo de maletas utilizando blockchain:

1. Etiquetado de la maleta: se asigna una etiqueta única a cada maleta, que incluye un identificador único de la maleta y la información del pasajero.
2. Registro en blockchain: se registra la información de la maleta en la cadena de bloques, incluyendo el identificador único de la maleta y la información del pasajero.
3. Registro de la maleta en el avión: se registra la maleta en el avión antes del despegue, asegurando que cada maleta esté en el avión correcto.

4. Registro de la maleta en el aeropuerto de destino: cuando el avión llega al aeropuerto de destino, se registra la llegada de la maleta en el aeropuerto.
5. Notificación al pasajero: una vez que la maleta ha sido registrada en el aeropuerto de destino, se notifica al pasajero de que la maleta ha llegado y se le proporciona la información de seguimiento correspondiente.

Propuesta de Algoritmo para el rastreo de maletas con Blockchain

Entradas:

- Información de la maleta (código de barras, peso, tamaño, etc.)
- Identificación del pasajero
- Información del vuelo (número, origen, destino, fecha, hora de salida y llegada)
- Información del aeropuerto de origen (nombre, código, ubicación)
- Información del aeropuerto de destino (nombre, código, ubicación)

Salidas:

- Historial de la ubicación y el estado de la maleta
- Notificaciones al pasajero sobre el estado y ubicación de la maleta

Pasos:

- Al momento de la facturación de la maleta, se genera un código de barras único que se asocia a la información de la maleta y del pasajero.
- Se crea un registro en la blockchain con la información del código de barras, la información del vuelo y los datos del aeropuerto de origen.
- La maleta es transportada al avión y se registra su ubicación en el sistema de seguimiento de equipaje del aeropuerto.
- El sistema de seguimiento de equipaje del aeropuerto envía una notificación a la blockchain con la ubicación de la maleta.
- Cuando el avión llega al aeropuerto de destino, se registra la ubicación de la maleta en el sistema de seguimiento de equipaje del aeropuerto.

- El sistema de seguimiento de equipaje del aeropuerto envía una notificación a la blockchain con la ubicación de la maleta y su estado (si fue recibida por el pasajero o no).
- El pasajero puede consultar el estado de su maleta en la aplicación móvil del aeropuerto o en la aplicación móvil de la aerolínea.
- En caso de pérdida o retraso de la maleta, se registra la información en la blockchain y se notifica al pasajero.

Tabla del algoritmo para el rastreo de maletas con blockchain:

Tabla 2

Algoritmo para el rastreo de maletas con Blockchain

Paso	Acción
1	Generar un código de barras único para la maleta y asociarlo a la información del pasajero
2	Crear un registro en la blockchain con la información del código de barras, el vuelo y el aeropuerto de origen
3	Transportar la maleta al avión y registrar su ubicación en el sistema de seguimiento de equipaje del aeropuerto
4	Enviar una notificación a la blockchain con la ubicación de la maleta
5	Registrar la ubicación de la maleta en el sistema de seguimiento de equipaje del aeropuerto de destino
6	Enviar una notificación a la blockchain con la ubicación de la maleta y su estado
7	Permitir al pasajero consultar el estado de su maleta en la aplicación móvil del aeropuerto o de la aerolínea
8	Registrar la información de pérdida o retraso en la blockchain y notificar al pasajero

Nota: elaboración propia.

Transacción monetaria con blockchain para transporte aéreo internacional

El uso de Blockchain en transacciones monetarias para el transporte aéreo internacional puede ofrecer una serie de beneficios, como la transparencia y la eficiencia en la transferencia de fondos, así como una mayor seguridad y privacidad de la información financiera.

En este caso, la cadena de bloques actúa como un registro descentralizado y seguro de las transacciones, eliminando la necesidad de intermediarios y reduciendo los costos y tiempos de procesamiento.

Un ejemplo de aplicación de Blockchain en transacciones monetarias para el transporte aéreo internacional es el proyecto de la compañía aérea Air France-KLM, que está explorando la implementación de una plataforma blockchain para la gestión de pagos entre sus proveedores de servicios de mantenimiento, reparación y revisión de aeronaves (Silva, Mendes Filho y Júnior, 2022).

En esta plataforma, los proveedores pueden presentar facturas electrónicas, que se registran en la cadena de bloques y se procesan automáticamente para su aprobación y pago. Los proveedores también pueden seguir el progreso de sus facturas en tiempo real, lo que aumenta la transparencia y la confianza en el proceso de pago.

En general, el uso de Blockchain en transacciones monetarias para el transporte aéreo internacional tiene el potencial de simplificar y mejorar los procesos de pago, reducir los costos y aumentar la seguridad y la eficiencia de las transacciones financieras.

El uso de Blockchain en transacciones monetarias para el transporte aéreo internacional tiene varias ventajas. A continuación, se detallan algunas de ellas:

- **Transparencia y eficiencia:** Al utilizar blockchain, se puede tener un registro transparente y seguro de las transacciones, lo que reduce la necesidad de intermediarios y simplifica los procesos de pago. Además, al ser un registro descentralizado, se eliminan los costos de transacción de intermediarios financieros, lo que permite reducir los costos para los usuarios finales.

- Seguridad y privacidad: La tecnología blockchain permite una mayor seguridad y privacidad en las transacciones financieras. Al utilizar la criptografía para proteger la información de las transacciones, se reduce el riesgo de fraude y se aumenta la confianza en el proceso de pago.
- Rapidez: La tecnología blockchain permite la realización de transacciones financieras en tiempo real, lo que acelera los procesos de pago y reduce los tiempos de espera para los usuarios.
- Internacionalización: El uso de blockchain en transacciones monetarias para el transporte aéreo internacional facilita el pago de servicios en diferentes monedas, eliminando la necesidad de conversiones y reduciendo los costos de transacción.

Sin embargo, también hay algunas desventajas a considerar, como la complejidad de la implementación de la tecnología blockchain y la necesidad de asegurarse de que se cumplan las regulaciones financieras y de privacidad.

A pesar de estas desventajas, el uso de Blockchain en transacciones monetarias para el transporte aéreo internacional está ganando terreno, ya que se espera que proporcione beneficios significativos en términos de eficiencia, seguridad y privacidad en las transacciones financieras (Proenza, 2022).

Aquí se presenta un esquema de implementación de blockchain en transacciones monetarias para el transporte aéreo internacional, junto con algunos ejemplos de cómo se puede aplicar en la práctica:

1. Creación de un token o criptomoneda: La creación de un token o criptomoneda permite la realización de transacciones financieras en blockchain. Por ejemplo, AirAsia, una aerolínea con sede en Malasia, ha creado su propia criptomoneda llamada BigCoin para ser utilizada en transacciones relacionadas con el transporte aéreo.
2. Registro de transacciones: Cada transacción financiera se registra en un bloque en la cadena de bloques, lo que proporciona una trazabilidad completa y transparente. Por ejemplo, Lufthansa ha utilizado la tecnología blockchain para registrar y rastrear la transferencia de títulos de propiedad de un avión entre compradores y vendedores.

3. Pago en tiempo real: La tecnología Blockchain permite la realización de pagos en tiempo real sin la necesidad de intermediarios financieros. Por ejemplo, la compañía aérea suiza SWISS ha utilizado la plataforma Blockchain Winding Tree para permitir la venta de billetes de avión a través de una red de distribución descentralizada.
4. Conversión de moneda: La tecnología Blockchain permite la conversión de diferentes monedas sin la necesidad de intermediarios financieros. Por ejemplo, la plataforma Blockchain de BitPay permite a los clientes de la aerolínea estadounidense CheapAir pagar en bitcoin, que se convierte automáticamente en dólares estadounidenses para la compañía.
5. Firma digital: La tecnología Blockchain permite la utilización de firmas digitales, lo que reduce la necesidad de procesos manuales de verificación de identidad. Por ejemplo, la compañía de tecnología de la aviación SITA ha desarrollado una solución basada en blockchain para la emisión de permisos de viaje y de entrada en los aeropuertos.

Propuesta de implementación de Blockchain en la transacción monetaria en el transporte aéreo internacional se puede seguir el siguiente algoritmo:

- Identificar a los participantes: En primer lugar, se deben identificar los participantes de la transacción, como las aerolíneas, los bancos, los pasajeros y los proveedores de servicios.
- Crear una red Blockchain: Se debe crear una red blockchain en la que los participantes puedan realizar transacciones de forma segura y confiable. Esto implica la selección de una plataforma blockchain adecuada y la configuración de la red para la transacción monetaria.
- Generar una billetera digital: Cada participante debe tener una billetera digital en la que se puedan almacenar los tokens de criptomonedas. Esta billetera digital se puede integrar con la red Blockchain para permitir la transferencia de tokens entre participantes.
- Intercambio de moneda: Para la transacción monetaria, los participantes pueden realizar el intercambio de moneda tradicional por tokens de criptomonedas en una casa de cambio o mediante un sistema de intercambio.

- Realizar la transacción: Una vez que los participantes tienen los tokens de criptomonedas en sus billeteras digitales, pueden realizar la transacción de forma segura y confiable a través de la red Blockchain.
- Validación y confirmación de la transacción: La red Blockchain validará la transacción y confirmará su éxito. Además, se pueden establecer reglas y contratos inteligentes para garantizar que todas las partes cumplan con sus compromisos.
- Registro de la transacción: Finalmente, se registrará la transacción en la red Blockchain para mantener un registro inmutable y seguro de la misma.

Detalle de la propuesta de implementación de Blockchain en la transacción monetaria en el transporte aéreo internacional, podría considerarse la siguiente tabla:

Tabla 3

Propuesta de implementación

Etapa	Actividad	Descripción
1	Identificación	Identificar a los participantes de la transacción y establecer sus roles (como comprador, vendedor, intermediario, etc.)
2	Creación de transacción	Crear una transacción de pago en la cadena de bloques, incluyendo los detalles de la transacción, como el monto, la divisa, el vendedor, el comprador, el tiempo, etc.
3	Validación de transacción	Validar la transacción por medio de nodos en la red de blockchain para asegurarse de que los fondos estén disponibles y sean correctos.
4	Firma digital	Los participantes de la transacción firman digitalmente la transacción, lo que garantiza la autenticidad de la transacción.

Etapa	Actividad	Descripción
5	Minería	Los nodos de la red de blockchain validan la transacción y crean un nuevo bloque, que contiene la transacción validada.
6	Confirmación de transacción	Los participantes de la transacción reciben la confirmación de la transacción.
7	Liquidación	Los fondos se transfieren automáticamente al destinatario de la transacción.
8	Registro de transacción	La transacción se registra en la cadena de bloques para que se pueda realizar un seguimiento de ella y se garantice su transparencia e inmutabilidad.

Nota: elaboración propia.

Este algoritmo es un enfoque simplificado de cómo se puede implementar Blockchain en la transacción monetaria del transporte aéreo internacional. Cada una de estas etapas requeriría un conjunto de tecnologías y herramientas específicas para su implementación. Además, este algoritmo puede ser mejorado y ajustado para adaptarse a las necesidades y requisitos específicos de la industria del transporte aéreo y de cada transacción en particular.

También detallaremos las tecnologías y herramientas a posibles a desarrollar:

Tabla 4

Tecnologías y herramientas a desarrollar

Etapa	Descripción	Tecnologías y Herramientas
1	Identificación y autenticación de usuarios	Identificación biométrica, reconocimiento facial, escaneo de documentos de identidad.

Etapa	Descripción	Tecnologías y Herramientas
2	Registro de transacciones	Blockchain, criptomonedas, contratos inteligentes.
3	Verificación de fondos y transferencia	Blockchain, criptomonedas, wallets, gateways de pago.
4	Confirmación de transacción y generación de recibos	Blockchain, smart contracts, sistemas de facturación electrónica.
5	Generación de informes y estadísticas	Sistemas de análisis de datos, machine learning, dashboards de visualización.
6	Auditoría y cumplimiento normativo	Sistemas de auditoría automatizada, inteligencia artificial, cumplimiento normativo.

Nota: elaboración propia.

Cada etapa en el proceso de transacción monetaria en el transporte aéreo internacional con Blockchain puede ser respaldada por diferentes tecnologías y herramientas. En la primera etapa, la identificación y autenticación de usuarios se puede realizar utilizando tecnologías biométricas, reconocimiento facial o escaneo de documentos de identidad.

En la segunda etapa, el registro de transacciones se puede realizar utilizando blockchain, criptomonedas y contratos inteligentes para asegurar la transparencia y la inmutabilidad de los datos.

La verificación de fondos y la transferencia de criptomonedas pueden ser respaldadas por wallets y gateways de pago, que permiten la conversión de criptomonedas en moneda fiduciaria.

En la cuarta etapa, se puede utilizar smart contracts y sistemas de facturación electrónica para generar confirmaciones de transacciones y recibos.

En la quinta etapa, se pueden utilizar sistemas de análisis de datos, machine learning y dashboards de visualización para generar informes y estadísticas sobre las transacciones realizadas.

Por último, en la etapa de auditoría y cumplimiento normativo, se pueden utilizar sistemas de auditoría automatizada, inteligencia artificial y herramientas de cumplimiento normativo para garantizar la transparencia y la legalidad del proceso.

IATA Travel Pass

IATA Travel Pass es una aplicación móvil desarrollada por la Asociación de Transporte Aéreo Internacional (IATA) que permite a los viajeros gestionar y verificar los requisitos de viaje relacionados con la pandemia de COVID-19. La aplicación proporciona una solución digital para almacenar y compartir de manera segura información de salud, como pruebas de COVID-19 y certificados de vacunación, con las aerolíneas y las autoridades sanitarias.

La aplicación funciona a través de una plataforma blockchain, lo que proporciona una mayor seguridad y privacidad en el manejo de datos de salud de los viajeros. Los datos se almacenan en un registro descentralizado en la cadena de bloques, lo que garantiza que la información no pueda ser alterada ni falsificada.

La aplicación IATA Travel Pass también proporciona a los viajeros información en tiempo real sobre los requisitos de viaje, incluyendo información sobre pruebas y cuarentenas, y les permite programar pruebas de COVID-19 en laboratorios asociados.

Además, la aplicación puede utilizarse como una herramienta de autenticación biométrica para verificar la identidad del viajero en el aeropuerto, lo que permite un proceso de check-in sin contacto y reduce el riesgo de transmisión del virus.

En resumen, IATA Travel Pass es una iniciativa innovadora que utiliza la tecnología blockchain para proporcionar una solución digital para la gestión de requisitos de viaje relacionados con la pandemia de COVID-19. La aplicación proporciona una mayor seguridad

y privacidad en el manejo de datos de salud, así como información en tiempo real sobre los requisitos de viaje y una herramienta de autenticación biométrica sin contacto (Lin, 2022).

En general, el IATA Travel Pass es una iniciativa innovadora que utiliza la tecnología blockchain para proporcionar una solución digital para la gestión de requisitos de viaje relacionados con la pandemia de COVID-19. La aplicación ofrece una mayor seguridad y privacidad en el manejo de datos de salud, información en tiempo real sobre los requisitos de viaje y una herramienta de autenticación biométrica sin contacto para un proceso de check-in más rápido y seguro. Esta aplicación ofrece varias características que hacen que el proceso de viaje sea más fácil y seguro. A continuación, se detallan algunas de estas características:

1. Almacenamiento seguro de datos de salud: La aplicación Travel Pass permite a los usuarios almacenar de forma segura sus datos de salud, como resultados de pruebas de COVID-19 y certificados de vacunación, en una plataforma blockchain descentralizada. Esto garantiza que los datos de salud del usuario estén protegidos y no puedan ser alterados ni falsificados.
2. Verificación de requisitos de viaje: La aplicación Travel Pass proporciona información en tiempo real sobre los requisitos de viaje en diferentes destinos internacionales. Los usuarios pueden verificar fácilmente los requisitos de pruebas de COVID-19 y vacunación, así como las restricciones de viaje y cuarentena en diferentes países.
3. Programación de pruebas de COVID-19: La aplicación Travel Pass también permite a los usuarios programar pruebas de COVID-19 en laboratorios asociados. Los usuarios pueden seleccionar un laboratorio cercano y programar una prueba para una fecha y hora específicas.
4. Autenticación biométrica sin contacto: La aplicación Travel Pass también ofrece una función de autenticación biométrica sin contacto que permite a los usuarios verificar su identidad en el aeropuerto utilizando tecnología de reconocimiento facial o de huellas dactilares. Esto permite un proceso de check-in más rápido y sin contacto físico.

A continuación, proponemos algunas mejoras posibles para el IATA Travel Pass:

Tabla 5*Mejoras para el IATA Travel Pass*

Mejora	Descripción
Autenticación de documentos	Los documentos de viaje, como los pasaportes y los certificados de vacunación, pueden ser verificados de forma segura y descentralizada mediante la tecnología blockchain. Esto reduciría el fraude y la falsificación de documentos, mejorando la seguridad del proceso de viaje.
Verificación de pruebas COVID-19	El IATA Travel Pass ya permite a los pasajeros subir sus resultados de pruebas COVID-19 para su verificación antes de viajar. Con el uso de la tecnología blockchain, los resultados de las pruebas podrían ser verificados de forma segura y descentralizada, mejorando la privacidad de los pasajeros y reduciendo el tiempo necesario para la verificación.
Integración con sistemas de reservas	La integración del IATA Travel Pass con los sistemas de reservas de las aerolíneas podría ser mejorada mediante el uso de la tecnología blockchain. Esto permitiría a los pasajeros reservar sus vuelos y subir su información de viaje de forma más rápida y sencilla, mejorando la experiencia general del usuario.
Almacenamiento de datos de viaje	Los datos de viaje, como la información de vuelo y los resultados de las pruebas COVID-19, podrían ser almacenados de forma segura y descentralizada en la blockchain. Esto permitiría a los pasajeros acceder a su información de viaje de forma más rápida y sencilla, y también podría mejorar la precisión y fiabilidad de los datos almacenados.
Colaboración entre aerolíneas y autoridades sanitarias	La colaboración entre aerolíneas y autoridades sanitarias podría ser mejorada mediante el uso de la tecnología blockchain. Esto permitiría una mejor gestión y coordinación de la información de viaje y los resultados de las pruebas COVID-19, lo que podría mejorar la seguridad y la eficiencia del proceso de viaje.

Nota: elaboración propia.

Desarrollo de Modelo de Algoritmo de Aplicación de Blockchain en el transporte internacional

Para poder hacer uso de la tecnología blockchain en el transporte internacional, sería necesario que existiera un algoritmo que permitiera el funcionamiento del sistema. Este algoritmo se encargaría de crear y verificar las transacciones en la blockchain, así como de garantizar que todos los datos se almacenan de forma segura.

El algoritmo también sería responsable de la distribución de los datos. Esto garantizaría que los datos fueran accesibles a cualquier usuario, al tiempo que impediría que cualquier agente malintencionado manipulara los datos. Además, el algoritmo se encargaría de verificar las transacciones, lo que contribuiría a reducir el fraude y aumentar la seguridad.

El algoritmo también tendría que diseñarse de tal manera que fuera capaz de escalar con el creciente número de transacciones que tienen lugar en la cadena de bloques. Esto garantizaría que el sistema es capaz de gestionar la creciente demanda y que los datos se almacenan de forma segura y eficiente.

Con esas consideraciones desarrollar un algoritmo eficiente para aplicar correctamente blockchain implica varios pasos:

1. Identificar las áreas donde se podría aplicar Blockchain en IATA, como por ejemplo el seguimiento de equipaje, el control de pasaportes, la gestión de la seguridad, la emisión de billetes y pagos, entre otros.
2. Seleccionar la plataforma Blockchain adecuada para la aplicación en cuestión, teniendo en cuenta factores como la seguridad, escalabilidad, interoperabilidad y facilidad de uso.
3. Desarrollar y probar el smart contract o contrato inteligente que se utilizará en la plataforma blockchain seleccionada. Este contrato inteligente deberá definir las reglas y condiciones de la aplicación de Blockchain en IATA.
4. Integrar la plataforma Blockchain en el sistema de IATA y establecer los procedimientos necesarios para su correcto uso, incluyendo la capacitación del personal.

5. Realizar pruebas de seguridad y auditoría para garantizar que la aplicación de blockchain en IATA sea segura y esté libre de vulnerabilidades.
6. Implementar la aplicación de Blockchain en IATA, siguiendo los procedimientos y protocolos establecidos.
7. Monitorear y evaluar continuamente el desempeño de la aplicación de blockchain en IATA, con el fin de detectar posibles problemas y mejorar la eficiencia y seguridad de la misma.

En resumen, el algoritmo eficiente para aplicar correctamente Blockchain implica la identificación de áreas adecuadas para su aplicación, la selección de la plataforma blockchain adecuada, el desarrollo y prueba de smart contracts, la integración de la plataforma en el sistema de transporte internacional, pruebas de seguridad y auditoría, implementación y monitoreo continuo del desempeño de la aplicación.

Aplicación hipotética de algoritmo blockchain para el seguimiento de equipaje en el aeropuerto internacional inca Manco Cápac (Juliaca-Perú)

Desarrollo hipotético de cómo podría aplicarse el algoritmo para implementar blockchain en el seguimiento de equipaje en el aeropuerto de Juliaca en Perú, detallando los posibles precios asociados con cada paso:

Tabla 6

Posibles precios asociados a cada paso

Descripción	Costo (USD)
1 Identificar las áreas de seguimiento de equipaje que necesitan ser mejoradas utilizando blockchain.	5.000

Descripción	Costo (USD)
2 Seleccionar la plataforma blockchain adecuada. En este caso, se selecciona la plataforma Ethereum debido a su popularidad y capacidad de realizar contratos inteligentes.	Salario de acuerdo al personal
3 Desarrollar y probar el contrato inteligente para el seguimiento de equipaje en Ethereum.	10,000
4 Integrar la plataforma Ethereum en el sistema de seguimiento de equipaje del aeropuerto de Juliaca y capacitar al personal en el uso de la plataforma.	5,000
5 Realizar pruebas de seguridad y auditoría para garantizar que la aplicación de blockchain sea segura y libre de vulnerabilidades.	15,000
6 Implementar la aplicación de seguimiento de equipaje de blockchain en el aeropuerto de Juliaca.	10,000
7 Monitorear y evaluar continuamente el desempeño de la aplicación de seguimiento de equipaje de blockchain.	5,000

Nota: elaboración propia.

El costo total de implementar el seguimiento de equipaje de Blockchain en el aeropuerto de Juliaca sería de \$50,500 USD. Cabe señalar que estos precios son hipotéticos y no reflejan necesariamente los costos reales de implementar blockchain en el aeropuerto de Juliaca.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En general, la aplicación de la tecnología blockchain en la industria aérea tiene el potencial de transformar la forma en que operan las aerolíneas, lo que lleva a una mayor eficiencia, seguridad y transparencia. Sin embargo, es importante recordar que la tecnología es todavía relativamente nueva y no ha sido probada, por lo que existe el riesgo de que el sistema pueda ser vulnerable a ataques o manipulaciones. Además, existe preocupación por la privacidad, ya que los datos almacenados en la cadena de bloques serían accesibles a todos los usuarios del transporte aéreo internacional. Por último, existe la posibilidad mínima de que no sea escalable, ya que la tecnología podría atascarse si se realizan demasiadas transacciones a la vez.

Para garantizar el éxito de la aplicación de la tecnología blockchain en el sector de las aerolíneas, es importante tener en cuenta las posibles mejoras que podrían introducirse. Por ejemplo, el algoritmo podría mejorarse para garantizar que es capaz de escalar con el creciente número de transacciones que tienen lugar en la cadena de bloques. Además, la seguridad del sistema podría mejorarse introduciendo capas adicionales de cifrado y autenticación.

En conclusión, la tecnología blockchain ofrece un gran potencial para la industria del transporte aéreo. La capacidad de crear bases de datos inmutables y descentralizadas ofrece numerosas ventajas, como la mejora de la seguridad, la reducción de costos y la automatización de procesos.

Entre las posibles aplicaciones de la tecnología blockchain en la industria del transporte aéreo, se destacan el rastreo de maletas, la gestión de la cadena de suministro, la verificación de identidad y la implementación de transacciones financieras. Todas estas áreas pueden beneficiarse de la transparencia, seguridad y eficiencia que ofrece la tecnología blockchain.

Sin embargo, es importante señalar que la implementación de tecnología blockchain en la industria del transporte aéreo también presenta desafíos. La interoperabilidad con sistemas heredados, la necesidad de una mayor inversión en infraestructura y la educación y adopción de la tecnología son solo algunos de los obstáculos que deben abordarse.

En general, el futuro de la tecnología blockchain en la industria del transporte aéreo parece prometedor. A medida que se desarrollan nuevas soluciones y se superan los desafíos, es probable que veamos una mayor adopción de la tecnología blockchain en los próximos años, lo que transformará la forma en que operan las empresas y se prestan los servicios en la industria del transporte aéreo (Tapscott, y Tapscott, 2017).

Además de las aplicaciones específicas mencionadas, es importante enfatizar en la capacidad de la tecnología blockchain para crear un ecosistema más eficiente, seguro y transparente en el transporte aéreo. A través de la creación de una base de datos descentralizada y compartida, es posible reducir la cantidad de intermediarios y aumentar la velocidad y precisión de las transacciones.

También es importante destacar que la tecnología blockchain puede ayudar a resolver problemas en la industria del transporte aéreo que han persistido durante décadas. Por ejemplo, el rastreo de maletas es un problema común que ha causado innumerables dolores de cabeza a los viajeros y a las aerolíneas (Frade, 2021). Con la implementación de tecnología blockchain, es posible rastrear la ubicación de una maleta de forma rápida y precisa, reduciendo la cantidad de maletas perdidas o extraviadas.

Sin embargo, como se mencionó anteriormente, la implementación de la tecnología blockchain en la industria del transporte aéreo también presenta desafíos. Es necesario abordar problemas de interoperabilidad con sistemas heredados, así como la necesidad de una mayor inversión en infraestructura y la educación y adopción de la tecnología.

En general, es importante reconocer que la tecnología blockchain no es una solución mágica para todos los problemas en la industria del transporte aéreo. Sin embargo, ofrece un gran potencial para transformar la forma en que operan las empresas y se prestan los servicios en la industria, lo que puede resultar en una mayor eficiencia, seguridad y transparencia.

Por último, es importante tener en cuenta los posibles problemas de privacidad, ya que todos los usuarios de esta tecnología podrían acceder a los datos almacenados en la cadena de bloques. Para solucionar este problema, sería necesario introducir medidas adicionales que garanticen que los datos solo son accesibles para aquellos que tengan los permisos adecuados (Colle, 2018). Esto podría hacerse introduciendo nuevos sistemas de control de acceso que concedieran acceso a determinados datos solo a quienes tuvieran los permisos necesarios.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- To, K. (2020). *Reimagining the future of aviation with blockchain*. Stern School of Business New York.
- Li, X., Lai, P. L., Yang, C. C. y Yuen, K. F. (2021). Determinants of blockchain adoption in the aviation industry: Empirical evidence from Korea. *Journal of Air Transport Management*, 97, 102-139.
- Boucher, P., Nascimento, S. y Kritikos, M. (2017). *Cómo puede cambiar nuestra vida la tecnología de la cadena de bloques: análisis en profundidad*. Parlamento Europeo.
- Estrada Muñoz, L. E. y Valenzuela Sánchez, J. I. (2020). *La tecnología Blockchain y su uso en las Finanzas en América Latina*. [Tesis de pregrado]. Repositorio Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Argañaraz, Á. A., Mazzuchelli, A., Albanese, D. y López, M. D. L. Á. (2019). Blockchain: un nuevo desafío para la contabilidad y auditoría. *XV Simposio Regional de Investigación Contable y XXV Encuentro Nacional de Investigadores Universitarios del Área Contable*. La Plata, 12 de diciembre. <http://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/5135>
- Bartolomeo, A. y Machín Urbay, G. (2020). *Introducción a la tecnología blockchain: su impacto en las Ciencias Económicas*. http://ediunc.bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/15304/14.-introduccinalatecnologia.pdf
- Di Domenico Litrán, M. (2023). *Digitalización en los aeropuertos. Aeropuerto 4.0*. [Tesis de pregrado]. Repositorio Universitat Politècnica de Catalunya.
- Moreno Gil, Á. (2022). *Desarrollo de una aplicación para compartir información basada en la tecnología blockchain*. [Tesis doctoral]. Repositorio Universitat Politècnica de València.

- Fuentes, M. W., Fernández, T. D. y Cárdenas, M. L. S. (2022). Requerimientos para el diseño de una torre de control en la cadena de suministros de una empresa de paquetería internacional. *Revista Cubana de Transformación Digital*, 3(3), e184.
- Preisegger, J. S., Muñoz, R., Pasini, A. C. y Pesado, P. M. (2019). Blockchain y gobierno digital. *XXV Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC)*. Universidad Nacional de Río Cuarto, Córdoba, 14 al 18 de octubre de 2019.
- Tirso Pérez, M. y Plasencia López, N. (2021). *Blockchain en la industria turística*. [Tesis de pregrado]. Repositorio Universidad de La Laguna.
- Martínez Orri, F. J. (2021). *Blockchain y la nueva economía digital*. [Tesis de pregrado]. Repositorio Universidad de Sevilla.
- Carbonero Del Val, M. (2021). *El blockchain, un impulsor de desarrollo para el sector retail*. [Tesis de pregrado]. Repositorio Universidad Comillas.
- Li, J., Peng, Z., Liu, A., He, L. y Zhang, Y. (diciembre de 2020). Analysis and future challenge of blockchain in civil aviation application. *IEEE 6th International Conference on Computer and Communications (ICCC)*. (pp. 1742-1748). IEEE.
- Ye, H., Hui, K. H., Chen, Q. y Hi, H. Q. (2020). *Aplicación de Blockchain Tecnología en Aviación Civil Aeropuerto Servicio Campo - Winding Tree es un estudio de caso*. Air Transport Business.
- Vila Gisbert, K. (2021). *Aplicació del Blockchain en el seguiment de mercaderies*. [Tesis de pregrado]. Repositorio Unisersitat de Lleida.
- Mayer, C. (2019). Digital passengers: A great divide or emerging opportunity? *Journal of Airport Management*, 13(4), 335-344.
- Ahmad, R. W., Salah, K., Jayaraman, R., Hasan, H. R., Yaqoob, I. y Omar, M. (2021). The Role of Blockchain Technology in Aviation Industry. *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, 36(3), 4-15. <https://doi.org/10.1109/MAES.2020.3043152>.
- Silva, G., Mendes Filho, L. y Júnior, S. M. (2022). Intenção de usar criptomoedas por gestores de empreendimentos turísticos: uma abordagem utilizando o Technology

- Acceptance Model (TAM). *Revista Brasileira de Pesquisa em Turismo*, 16, 2556-2556.
- Proenza, J. G. (2022). Las criptomonedas: el bitcoin y su creciente regulación. Una mirada al futuro. *Revista Pensamiento Científico Latinoamericano*, 1(1), 37-45.
- Lin, P. (2022). Privacy and Security Analysis of the IATA Travel Pass Android App. *Citizen Lab Report*, (154). <https://hdl.handle.net/1807/123969>
- Tapscott, D. y Tapscott, A. (2017). La revolución blockchain. *Descubre cómo esta nueva tecnología transformará la economía global*. Ediciones Deusto.
- Colle, R. (2018). La identidad digital en la internet futura con blockchain. *Asociación Chilena de Investigadores en Comunicación*.
- Frade, M. L. (2021). *Blockchain aplicado al Comercio Internacional. Estudio de Caso*. [Tesis doctoral]. Repositorio Universidades de Ciencias Empresariales y Sociales.

5. EFECTOS DEL PROGRAMA SBC EN LAS ACTIVIDADES LABORALES DE LA MINERÍA SUBTERRÁNEA²⁴

Effects of the SBC Program on Underground Mining Work Activities

Anibal Sucari León²⁵

Owal Alfredo Velásquez Viza²⁶

Amilcar Giovanni Teran Dianderas²⁷

Hitler Juan Poma Cruz²⁸

Heinz Miguel Chura Cahuana²⁹

Pares evaluadores: Red de Investigación en Educación, Empresa y Sociedad – REDIEES.³⁰

²⁴ Derivado del proyecto de investigación: Efectos del programa de seguridad basada en el comportamiento en la reducción de incidentes de trabajo en la empresa minera Produce S.A.C.

²⁵ Ingeniero de Minas, Universidad Nacional del Altiplano, Maestro en Gestión de la Seguridad, Salud y Medio ambiente en Minería, Universidad Nacional de Huancavelica, Doctor en Ciencia Tecnología y Medio Ambiente, Universidad Nacional del Altiplano, Docente, Universidad Nacional del Altiplano, asucari@unap.edu.pe

²⁶ Ingeniero de Minas, Universidad Nacional del Altiplano, M.Sc. Tecnologías de Protección Ambiental, Universidad Nacional de Altiplano, Docente, Universidad Nacional del Altiplano, ovelasquez@epg.unap.edu.pe

²⁷ Ingeniero de Minas, Universidad Nacional del Altiplano, M.Sc. en Relaciones Comunitarias y Resolución de Conflictos Sociales, Universidad Nacional del Altiplano, Docente, Universidad Nacional del Altiplano, agteran@unap.edu.pe

²⁸ Ingeniero de Minas, Universidad Nacional del Altiplano, M.Sc. en Geotécnia y Geomecánica Minera, Universidad Nacional del Altiplano, Docente, Universidad Nacional del Altiplano, hjpoma@unap.edu.pe

²⁹ Ingeniero de Minas, Universidad Nacional del Altiplano, M.Sc. Geotecnia y Geomecánica Minera, Universidad Nacional de Altiplano, Docente, Universidad Nacional del Altiplano, hm.chura@epg.unap.edu.pe

³⁰ Red de Investigación en Educación, Empresa y Sociedad – REDIEES. www.rediees.org

EFECTOS DEL PROGRAMA SBC EN LAS ACTIVIDADES LABORALES DE LA MINERÍA SUBTERRÁNEA

*Anibal Sucari León, Owal Alfredo Velásquez Viza, Amilcar Giovanni Terán Dianderas,
Hitler Juan Poma Cruz, Heinz Miguel Chura Cahuana*

RESUMEN

El trabajo de investigación se desarrolló a causa de la necesidad de conocer la efectividad del programa de seguridad basada en el comportamiento (SBC) ya que durante el año 2020 ocurrieron 7 accidentes incapacitantes, 28 accidentes leves y 280 incidentes de trabajo. Se propuso como objetivo conocer los efectos del programa SBC en las actividades laborales de la minería subterránea. La investigación siguió los pasos de un enfoque cuantitativo, no experimental ya que no existió manipulación de variables independientes y con alcance descriptivo transversal. Los principales resultados al comparar las estadísticas de seguridad del año 2020 respecto al periodo del 2021 se lograron lo siguiente: una reducción en los eventos no deseados en accidentes incapacitantes de 7 a 2, en accidentes leves de 28 a 11 y en incidentes de trabajo fue de 280 a 137, de la misma forma se encontró una reducción en actos subestándares de 170 a 55 y en las condiciones subestándares de 110 a 82. Concluyendo un efecto positivo del programa SBC en las actividades laborales de la minería subterránea fue positivo ya que generó una reducción del 28% en accidentes incapacitantes, 39,21 % en accidentes leves, 59 % en incidentes de trabajo, 25,45 % en actos subestándares y el 67,65 % de condiciones subestándares, así mejorando las condiciones de seguridad en las actividades de interior mina.

Palabras Clave: accidente; eventos no deseados; incidentes de trabajo; acto subestándar; condición subestándar.

ABSTRACT

The research work was developed because of the need to know the effectiveness of the behavior-based safety (BBS) program since 7 lost-time injuries, 28 minor injuries and 280 work incidents occurred during 2020. It was proposed as an objective to know the effects of the SBC program on subway mining work activities. The research followed the steps of a quantitative approach, non-experimental since there was no manipulation of independent variables and with a cross-sectional descriptive scope. The main results when comparing the safety statistics of the year 2020 with respect to the period of 2021 were as follows: a reduction in undesirable events in disabling accidents from 7 to 2, in minor accidents from 28 to 11 and in work incidents from 280 to 137, in the same way a reduction in substandard acts from 170 to 55 and in substandard conditions from 110 to 82 was found. Concluding a positive effect of the SBC program in the subway mining work activities was positive since it generated a reduction of 28% in disabling accidents, 39.21% in minor accidents, 59% in work incidents, 25.45% in substandard acts and 67.65% in substandard conditions, thus improving the safety conditions in the subway mining activities.

Keywords: accident; undesirable events; work incident; substandard act; substandard condition; substandard condition.

INTRODUCCIÓN

En la Central de Cooperativas Minero Metalúrgicas de Puno Ltda. Se aplicó el programa de SBC donde tuvo efecto en la reducción de 66 a 38 incidentes de al realizar la comparación entre los primeros semestres del 2019 y 2021, validando los resultados mediante una prueba estadística el “t” de student, donde se evidenció que la aplicación del programa de seguridad basada en el comportamiento minimiza la cantidad de los incidentes de trabajo (Quilca, 2022).

Las recomendaciones de implementación se validaron utilizando estadísticas inferenciales que respaldaron la implementación de un programa de seguridad basado en el comportamiento (SBC) para Cargo Transport S.A.C. En la actividad de Antamina tuvo un efecto significativo ($p_value = 0,000 < 0,05$) y redujo el número de conductas de riesgo de los asociados en las actividades de transporte de combustible relacionadas con la minería. El uso del programa SBC fue efectivo ya que los resultados mostraron un aumento significativo en el comportamiento seguro (62,13% a 83,33%) y una disminución en el comportamiento de riesgo (37,87% a 16,67%). De esta forma, se puede observar una reducción significativa de las conductas de riesgo del -22,72% (Fung y Inga, 2022).

La implementación del “programa de seguridad basada en el comportamiento” tuvo una influencia significativa positiva al minimizar los accidentes en Mincotrall SRL 2021 ($p=0.010<0.05$) existiendo una reducción del 12.50% en accidentes leves, un 75% en accidentes incapacitantes ya no existe accidentes mortales (Peña, 2021).

La aplicación del programa de SBC generó un impacto positivo en los trabajadores al reflejar la minimización de los comportamientos inseguros e incrementar los comportamientos seguros ejecutadas por los mismos trabajadores, llevándolos a trabajar en un ambiente más seguro y una mejor ejecución de las operación mineras, incrementando el rendimiento por día (Aleman, 2021). Por otra parte, la aplicación de la metodología SBC reduce los incidentes de trabajo en un 80% y el índice de accidentabilidad en la empresa Ventura Ingenieros S.A.C, verificando mediante un análisis del costo beneficio de la aplicación de la SBC (Navarro y Olivos, 2021).

Los resultados obtenidos después de aplicar el enfoque de seguridad conductual demostraron que esta herramienta es muy importante porque se reducen los comportamientos inseguros y los empleados obtienen una mejor comprensión de la cultura de seguridad y prevención de accidentes, creando las bases de una línea de producción que se puede utilizar en diferentes entornos (Zapana, 2021).

El Programa de Seguridad basada en el comportamiento tiene un aporte significativo en el cambio del comportamiento de los trabajadores, con la finalidad en todo momento hacia la generación de una cultura positiva en seguridad en la empresa. Programas de seguridad conductual: la implementación de SBC ha influido en mejoras en el comportamiento de seguridad de los empleados en las empresas analizadas. La validación de esta hipótesis fue usando una prueba “t” de Student comparando medias por pares (antes y después) usando el software SPSS a un nivel de confianza del 95 % arrojó un valor medio de -4.250, un valor t de -6.092 y un valor p. = 0,000 (Rodríguez, 2021).

Si se aplica la seguridad conductual al problema, se puede concluir que lo más adecuado es brindar el apoyo necesario al sistema de seguridad y salud existente en el lugar de trabajo, ya que brinda una cultura basada en la seguridad y la percepción de que los empleados son lo más importante. en el sistema; evitando así el número de accidentes e incidentes provocados por la baja concienciación de los trabajadores sobre la seguridad y salud en el trabajo (Fajardo, 2019).

El proceso SBC permitió la identificación y caracterización de mejores resultados de prevención y reducción de los eventos no deseados, y una comparación estadística de estadísticas de seguridad basada en la suma de incidentes y accidentes en 2012, 2013 y 2014 arrojó resultados positivos del porcentaje de tendencia de 2012 (48, 80).), 2013 (36,36%) y 2014 (14,84%) donde fueron los años en los que se implementó el método SBC logrando resultados positivos en la administración de la seguridad en el último año (Tito, 2019).

La aplicación del programa “Seguridad Basada en el Comportamiento” influye en la reducción de generación de accidentes laborales en mina Arcata en la empresa contratista IESA S.A., ya que al comparar el número de accidentes laborales reportados entre el 2015 (9 accidentes incapacitantes y 16 accidentes leves) y en el año 2016 (2 accidentes incapacitantes y 4 accidentes leves) evidenciando una reducción de los accidentes (Sucari, 2018).

Al culminar el proceso SBC donde se calculó nuevamente los índices en estudio (ISA, IFA, IA), mediante la aplicación de la prueba de Wilcoxon con la cual se contrastó la hipótesis general, la cual concluye que la aplicación del programa SBC reduce el índice de accidentabilidad de la organización (Rodríguez, 2016).

El SBC actúa como un sistema de alarma ya que alerta al proyecto sobre un incidente significativo de comportamientos inseguros para definir un plan de acción, finalizar el plan de acción, corregir las observaciones y mejorar continuamente, lo que resulta en una minimización del comportamiento riesgoso o los incidentes resultantes. debido a comportamiento inseguro, accidente, lesiones. La seguridad del comportamiento, por otro lado, tiene como objetivo prevenir accidentes en el lugar de trabajo, investigar en accidentes generados por comportamientos riesgosos, promover el cambio de la cultura de seguridad y mejorar el desempeño de los trabajadores (García, 2016).

El objetivo fue conocer los efectos del programa SBC en las actividades laborales de la minería subterránea, en similar caso se planteó objetivos específicos como: analizar los eventos no deseados ocurridos en las diferentes actividades laborales que se reportaron en el año 2020 antes de la implementación del programa SBC en la empresa minera, analizar los eventos no deseados ocurridos en las diferentes actividades laborales que se reportaron en el año 2021 después de la implementación del programa SBC en la empresa minera.

MATERIAL Y MÉTODOS

El trabajo de investigación se ejecutó en una empresa de pequeña minería Yanaquihua S.A.C. que se ubica en el país de Perú.

Siguió los pasos de un enfoque cuantitativo ya que durante la revisión de documentos se obtuvieron datos muy importantes cuantificables, el tipo de investigación se considera no experimental ya que no existe manipulación de la variable independiente, el alcance fue descriptivo transversal porque los datos fueron tomados en un solo momento de los diferentes reportes y cuadro estadístico de seguridad.

Referente a la técnica que se aplicó en la investigación fue la revisión de documentos, posteriormente almacenados en una base de datos en Excel el cual fue analizado secuencialmente con la finalidad de conocer los impactos del programa SBC.

Respecto a la población de estudio se consideró al personal de las tres guardias A, B y C sumando un total de 132 colaboradores que desarrollan diferentes actividades en interior mina, para la muestra de estudio se consideró a la población en su totalidad, el tipo de muestreo que se aplicó fue el tipo no probabilístico ya que es mejor trabajar con toda la población de estudio teniendo la accesibilidad sin ninguna dificultad.

RESULTADOS

Para poder analizar los eventos no deseados ocurridos en las diferentes actividades laborales que se reportaron en el año 2020 antes de la implementación del programa SBC en la empresa minera, se tuvo que recurrir a la revisión de documentos como: cuadro estadístico de seguridad, informes de los accidentes y reportes de los incidentes encontrando los siguientes resultados:

Tabla 1.

Eventos no deseados en la empresa minera periodo 2020

Mes	Eventos no deseados - 2020		
	Incidentes	Accidentes leves	Accidentes incapacitantes
Enero	28	7	2
Febrero	26	3	1
Marzo	18	1	0
Abril	21	2	0
Mayo	19	0	1
Junio	24	2	0
Julio	27	3	1
Agosto	23	2	0
Setiembre	21	1	0
Octubre	19	1	0

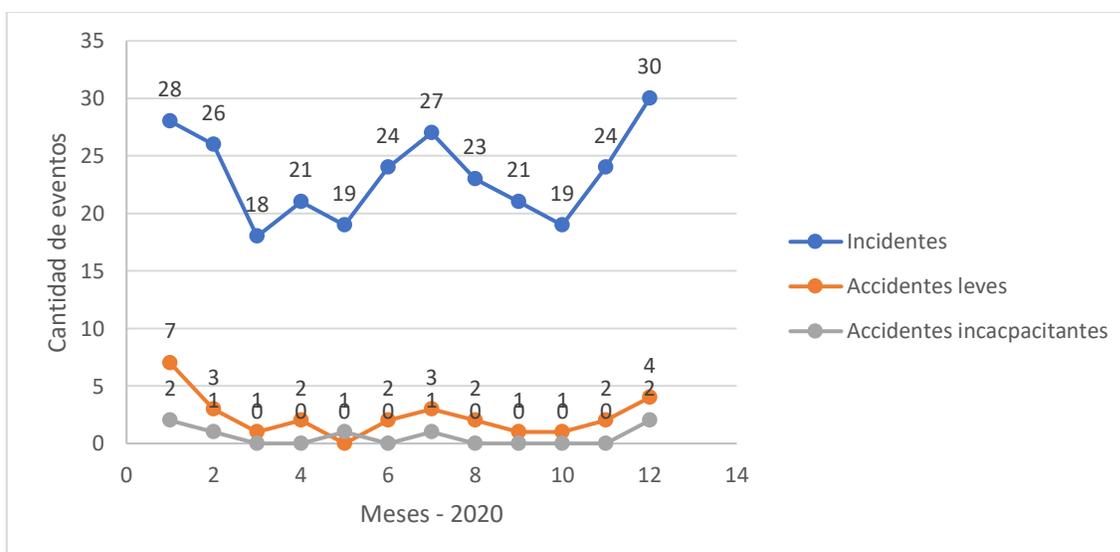
Noviembre	24	2	0
Diciembre	30	4	2
Total	280	28	7

Nota: elaboración propia.

En la tabla 1 se visualiza los eventos no deseados que ocurrieron en las diferentes actividades labores de interior mina, donde lo más resaltante es que ocurrió 280 incidentes de trabajo, 28 accidentes leves y 7 accidentes incapacitantes.

Figura 1

Eventos no deseados en la empresa minera periodo 2020



Nota: elaboración propia.

La figura 1 evidencia que mayor cantidad de los eventos no deseados fueron los incidentes de trabajo y en una mínima cantidad fueron reportados los accidentes incapacitantes.

Tabla 2.*Causas básicas de los eventos no deseados en la empresa minera - 2020*

Mes - 2020	Incidentes		Accidentes leves		Accidente incapacitante	
	Acto subestándar	Condición subestándar	Acto subestándar	Condición subestándar	Acto subestándar	Condición subestándar
Enero	18	10	4	3	1	1
Febrero	14	12	2	1	1	0
Marzo	12	6	0	1	0	0
Abril	14	7	1	1	0	0
Mayo	11	8	0	0	1	0
Junio	15	9	2	0	0	0
Julio	14	13	1	2	0	1
Agosto	16	7	1	1	0	0
Setiembre	12	9	1	0	0	0
Octubre	10	9	1	0	0	0
Noviembre	16	8	1	1	0	0
Diciembre	18	12	3	1	2	0
Total	170	110	17	11	5	2

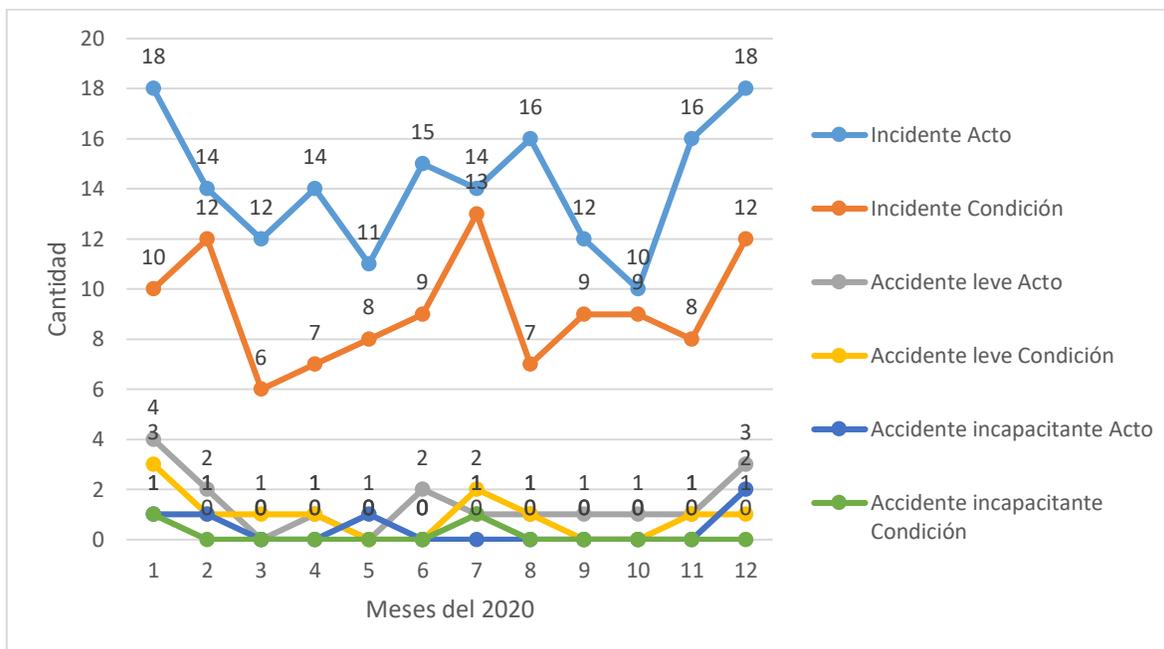
Nota. elaboración propia.

La tabla 2 muestra las causas básicas que intervinieron en la ocurrencia de los eventos no deseados, donde en los incidentes resalta 170 actos subestándares y 110 condiciones subestándares, de forma similar en los accidentes leves resalta 17 actos subestándares y 11 condiciones subestándares, así mismo en los accidentes incapacitantes 5 actos subestándares y 2 condiciones subestándares.

Esto quiere decir que la mayoría de los eventos no deseados ocurren por acto subestándar, donde el trabajador es responsable de revertir dicho acto.

Figura 2

Causas básicas de los eventos no deseados en la empresa minera



Nota: elaboración propia.

La figura 2 evidencia el reporte donde resalta los actos subestándares ya sea en incidentes, accidentes leves e incapacitantes.

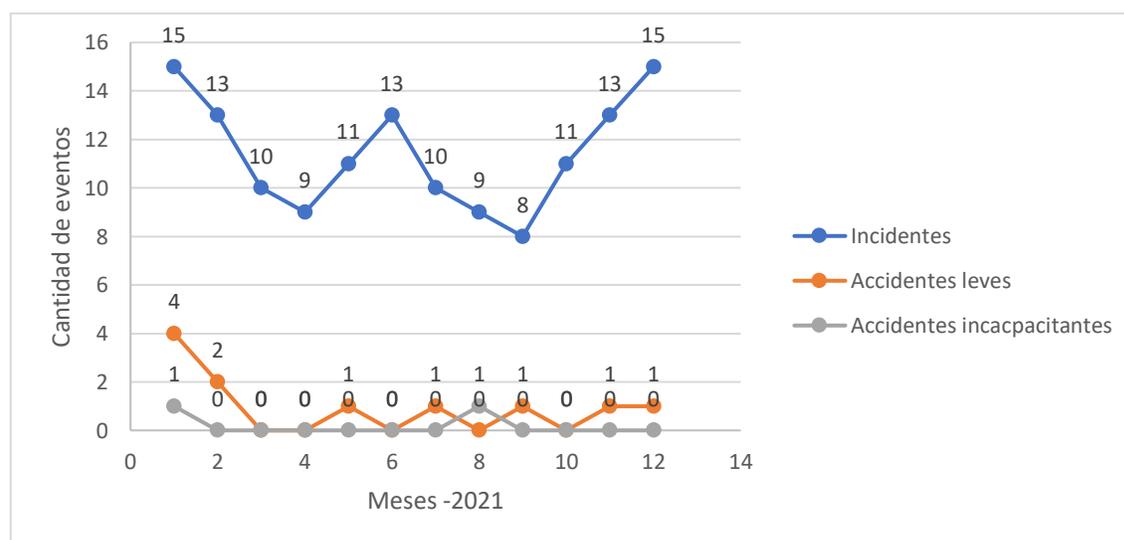
Posteriormente se realizó un análisis de los eventos no deseados ocurridos en las diferentes actividades laborales que se reportaron en el año 2021 después de la implementación del programa SBC en la empresa minera, donde se recurrió a la revisión de documentación como estadísticas de seguridad, informes de accidentes y reportes de incidentes de trabajo, encontrando los siguientes resultados.

Tabla 3.*Eventos no deseados después de aplicar el programa SBC - 2021*

Mes	Eventos no deseados - 2021		
	Incidentes	Accidentes leves	Accidentes incapacitantes
Enero	15	4	1
Febrero	13	2	0
Marzo	10	0	0
Abril	9	0	0
Mayo	11	1	0
Junio	13	0	0
Julio	10	1	0
Agosto	9	0	1
Setiembre	8	1	0
Octubre	11	0	0
Noviembre	13	1	0
Diciembre	15	1	0
Total	137	11	2

Nota elaboración propia.

La tabla 3 evidencia los reportes de los eventos no deseados que ocurrieron en las actividades laborales de interior mina, aún continúan liderando los incidentes de trabajo con 137 reportes, seguidamente con 11 accidentes leves y 2 accidentes incapacitantes.

Figura 3*Eventos no deseados después de aplicar el programa SBC-2021**Nota:* elaboración propia.

La figura 3 evidencia que después de aplicar el programa SBC aún continúan con mayor cantidad los reportes de los incidentes de trabajo, sin embargo, los accidentes leves e incapacitantes tienen una mínima cantidad de reportes.

Tabla 4.

Causas básicas de los eventos no deseados después de aplicar el programa SBC - 2021

Mes - 2021	Incidente		Accidente leve		Accidente incapacitante	
	Acto	Condición	Acto	Condición	Acto	Condición
	subestándar	subestándar	subestándar	subestándar	subestándar	subestándar
Enero	8	7	2	2	1	0
Febrero	7	6	1	1	0	0
Marzo	4	6	0	0	0	0
Abril	4	5	0	0	0	0
Mayo	3	8	0	1	0	0
Junio	5	8	0	0	0	0
Julio	4	6	1	0	0	0
Agosto	3	6	0	0	0	1
Setiembre	3	5	0	1	0	0
Octubre	4	7	0	0	0	0
Noviembre	5	8	0	1	0	0
Diciembre	5	10	0	1	0	0
Total	55	82	4	7	1	1

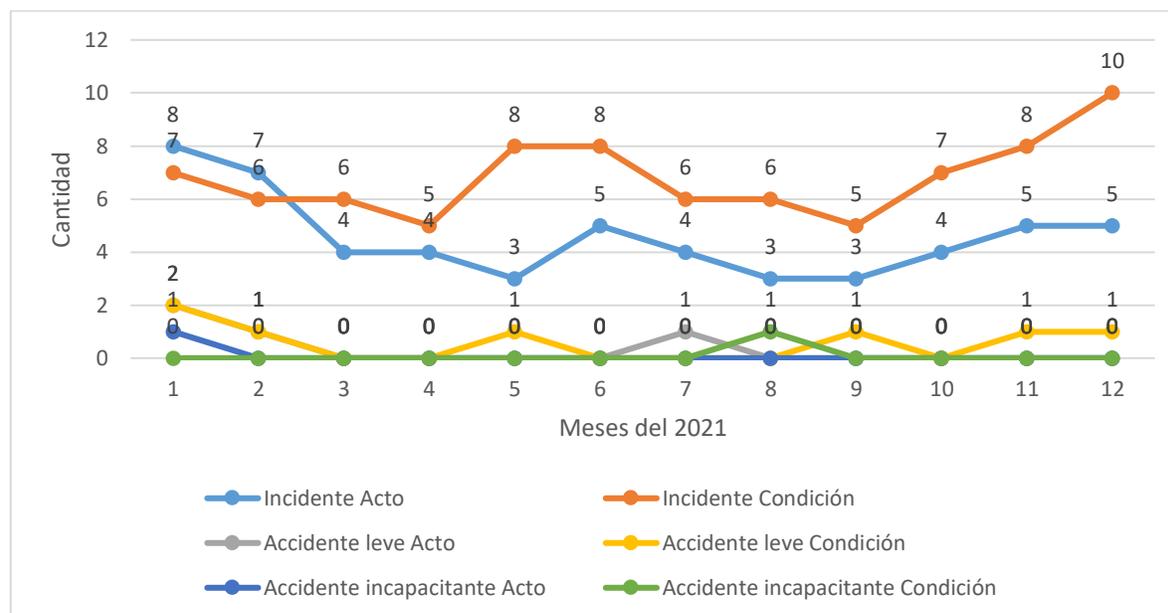
Nota: elaboración propia.

La tabla 4 evidencia las causas básicas identificadas en los eventos no deseados después de aplicar el programa SBC durante el año 2021, donde el dato más relevante es que los actos subestándares son menores que las condiciones subestándares y sea en los incidentes, accidentes leves e incapacitantes.

Esto quiere decir que el programa SBC generó un cambio de comportamiento en los trabajadores, disminuyendo los actos riesgos en las diferentes actividades laborales de interior mina. Sin embargo, no es posible la reducción a cero de los actos subestándares ya que el programa de SBC es necesario hacer seguimiento permanente y a largo plazo, debido a que en el sector minero existe movimiento de personal ingreso y salida por diferentes motivos.

Figura 4

Causas básicas de los eventos no deseados después de aplicar el programa SBC



Nota: elaboración propia.

En la figura 4 se evidencia que los incidentes por acto subestándar son menores que las condiciones subestándares a partir del mes de marzo, en el caso de los accidentes leves del mismo modo son menores los actos respecto a las condiciones subestándares y finalmente en los accidentes incapacitantes tenemos una igualdad entre el acto y condición subestándar.

Estos resultados se deben a que el programa de SBC genera un cambio de comportamiento en los trabajadores, así evitar los actos subestándares y existirá una reducción de los eventos no deseados en las diferentes actividades laborales de interior mina.

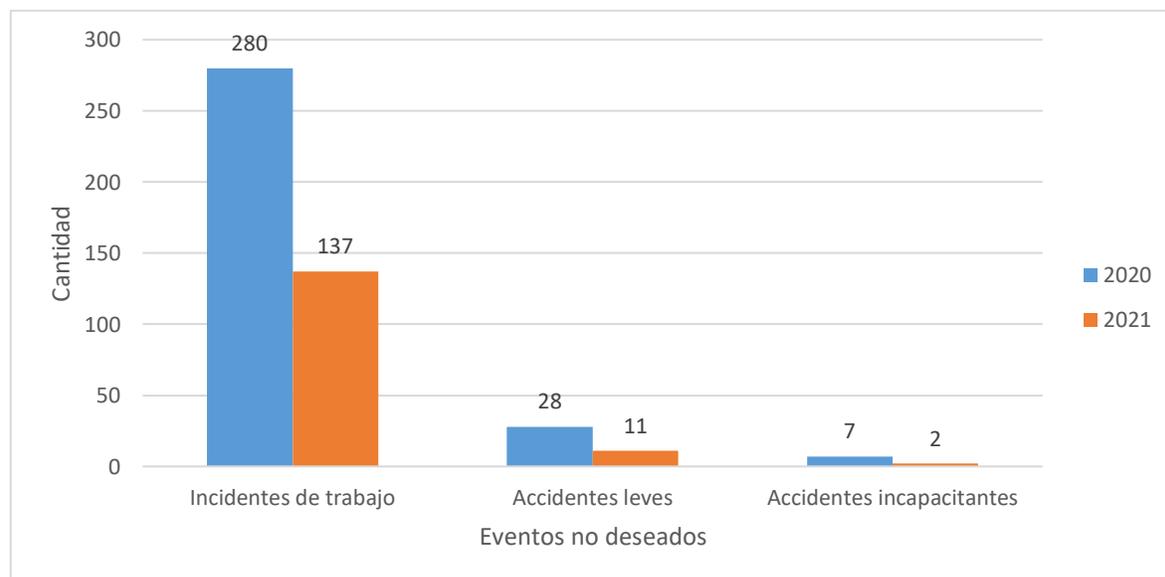
El resultado principal que se logró encontrar en la investigación fue conocer los efectos del programa SBC en las actividades laborales de la minería subterránea, donde se tuvo que realizar el análisis de los eventos no deseados antes de aplicar el programa SBC que corresponden al periodo del 2020 y después de aplicar el programa SBC en el periodo 2021, donde se obtuvo los siguientes resultados.

Tabla 5.*Eventos no deseados en la empresa minera subterránea*

Mes	Incidentes		Accidentes leves		Accidentes incapacitantes	
	2020	2021	2020	2021	2020	2021
Enero	28	15	7	4	2	1
Febrero	26	13	3	2	1	0
Marzo	18	10	1	0	0	0
Abril	21	9	2	0	0	0
Mayo	19	11	0	1	1	0
Junio	24	13	2	0	0	0
Julio	27	10	3	1	1	0
Agosto	23	9	2	0	0	1
Setiembre	21	8	1	1	0	0
Octubre	19	11	1	0	0	0
Noviembre	24	13	2	1	0	0
Diciembre	30	15	4	1	2	0
Total	280	137	28	11	7	2

Nota: elaboración propia.

En la tabla 5 se evidencia una clara reducción en la cantidad de eventos no deseados realizando la comparación de reportes entre el año 2020 y 2021.

Figura 5*Efectos del programa SBC en actividades laborales*

Nota: elaboración propia.

En la figura 5 observamos la reducción de los eventos no deseados, ya sea en incidentes de trabajo se redujo de 280 a 137, en accidentes leves se minimizó de 28 a 11 y en accidentes incapacitantes la reducción fue de 7 a 2.

Esto quiere decir que el programa SBC tiene un efecto positivo en las actividades laborales de la minería subterránea, ya que cambia el comportamiento riesgos por el comportamiento seguro y como resultado se tiene menos reportes de los actos subestándares, sin embargo, el programa SBC debe hacerse seguimiento permanente desde su implementación.

Tabla 6.

Efectos del programa SBC en las causas básicas de los incidentes

Mes	Incidentes - 2020		Incidentes - 2021	
	Acto subestándar	Condición subestándar	Acto subestándar	Condición subestándar
Enero	18	10	8	7
Febrero	14	12	7	6
Marzo	12	6	4	6
Abril	14	7	4	5
Mayo	11	8	3	8
Junio	15	9	5	8
Julio	14	13	4	6
Agosto	16	7	3	6
Setiembre	12	9	3	5
Octubre	10	9	4	7
Noviembre	16	8	5	8
Diciembre	18	12	5	10
Total	170	110	55	82

Nota: elaboración propia.

La tabla 6 evidencia el efecto del programa SBC en las causas inmediatas de los incidentes donde la reducción de la siguiente manera: en actos subestándares de 170 a 55, respecto a las condiciones subestándares de 110 a 82.

Esto quiere decir que, el programa SBC genera una mayor reducción en los actos subestándares ya que cambia el comportamiento de los trabajadores, respecto a las condiciones subestándares existe la reducción gracias a que los trabajadores evitan dejar

condiciones subestándares para el siguiente turno, son más conscientes y se preocupan por la seguridad de sus compañeros.

Tabla 7.

Efectos del programa SBC en las causas básicas de los accidentes leves

Mes	Accidentes leves -2020		Accidentes leves - 2021	
	Acto subestándar	Condición subestándar	Acto subestándar	Condición subestándar
Enero	4	3	2	2
Febrero	2	1	1	1
Marzo	0	1	0	0
Abril	1	1	0	0
Mayo	0	0	0	1
Junio	2	0	0	0
Julio	1	2	1	0
Agosto	1	1	0	0
Setiembre	1	0	0	1
Octubre	1	0	0	0
Noviembre	1	1	0	1
Diciembre	3	1	0	1
Total	17	11	4	7

Nota: elaboración propia.

La tabla 7 evidencia del mismo modo una reducción en actos y condiciones subestándares en los eventos no deseados, ya que el programa SBC tiene un efecto positivo en la reducción de comportamientos riesgosos el cual se refleja en la reducción de los actos subestándares.

Tabla 8.

Efectos del programa SBC en las causas básicas de los accidentes incapacitantes

Mes	Accidentes incapacitantes - 2020		Accidentes incapacitantes - 2021	
	Acto subestándar	Condición subestándar	Acto subestándar	Condición subestándar
Enero	1	1	1	0
Febrero	1	0	0	0
Marzo	0	0	0	0
Abril	0	0	0	0
Mayo	1	0	0	0
Junio	0	0	0	0
Julio	0	1	0	0
Agosto	0	0	0	1
Setiembre	0	0	0	0
Octubre	0	0	0	0
Noviembre	0	0	0	0
Diciembre	2	0	0	0
Total	5	2	1	1

Nota: elaboración propia.

Finalmente podemos evidenciar en la tabla 8 la reducción de los actos subestándares de 5 a 1 y en condiciones subestándares de 2 a 1, lo cual permite desarrollar las actividades laborales sin paralizaciones por la ocurrencia de los eventos no deseados.

DISCUSIÓN

A nivel general el impacto del programa SBC en las actividades laborales de la minería subterránea fue positivo ya que generó una reducción en los eventos no deseados en incidentes de 280 a 137, en accidentes leves de 28 a 11, en accidentes incapacitantes de 7 a 2 realizando la comparación entre los reportes del año 2020 y 2021. Resultados muy similares que Sucari (2018) donde logró un resultado de reducción de accidentes incapacitantes de 9 a 2 y en accidentes leve de 16 a 4 gracias a la aplicación del programa SBC en la mina Arcata. Sin embargo, Rodríguez (2016) manifiesta que el programa SBC una vez aplicado minimiza el índice de accidentabilidad en la empresa Congemin JH S.A.C. Por otra parte, Aleman

(2021) ratifica los resultados de que la puesta en marcha del programa SBC genera un impacto positivo aumentando los actos seguros durante las actividades mineras.

Al analizar los reportes que corresponden al periodo 2020 se logró encontrar que el personal comete mayor cantidad de actos subestándares que las condiciones subestándares en todos los eventos no deseados, en incidentes 170 actos y 110 condiciones subestándares, en accidentes leves 17 actos y 11 condiciones subestándares y en accidentes incapacitantes 5 actos y 2 condiciones subestándares. Así mismo Fajardo (2019) manifiesta que los accidentes e incidentes tienen la causa raíz a falta de una cultura de seguridad y salud en el trabajo.

Los resultados encontrados después de la aplicación del programa SBC durante el año 2021 se evidenció que los actos subestándares son menores reportes que las condiciones subestándares en los eventos no deseados en incidentes 55 actos y 82 condiciones subestándares, en accidentes leves 4 actos y 7 condiciones subestándares, en accidentes leves se encontró una igualdad 1 a 1 entre acto y condiciones subestándares. Resultado ratificado por Rodríguez (2021) donde afirma que el programa SBC incrementa el comportamiento seguro y reduce los actos subestándares ya que su conducta del trabajador cambió significativamente.

CONCLUSIONES

A nivel general se logró conocer los efectos del programa SBC en las actividades laborales de la minería subterránea, ya que generó una reducción en los eventos no deseados en las diferentes actividades mineras, en incidentes se redujo el 51,07 %, en accidentes leves la reducción fue el 60,71 % y en los accidentes incapacitantes la reducción fue el 71,43 %.

Se logró analizar los eventos no deseados ocurridos en las diferentes actividades laborales que se reportaron en el año 2020 antes de la implementación del programa SBC en la empresa minera, donde se encontró que en los incidentes el 60,71 % son actos subestándares y 39,29 % condiciones subestándares, de forma similar en los accidentes leves el 60,71 % son actos subestándares y el 39,29 % condiciones subestándares y en los accidentes incapacitantes el 71,43 % son actos subestándares y 28,57 % condiciones subestándares.

Así se logró analizar los eventos no deseados ocurridos en las diferentes actividades laborales que se reportaron en el año 2021 después de la implementación del programa SBC en la empresa minera, donde se encontró que en los incidentes el 40 % son actos subestándares y 60 % condiciones subestándares, de forma similar en los accidentes leves el 36,36 % son actos subestándares y el 63,63 % condiciones subestándares y en los accidentes incapacitantes existe una igualdad donde el 50 % son actos subestándares y 50 % condiciones subestándares.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aleman Huanca, M. (2021). *Aplicación del método SBC para la seguridad y rendimiento de los trabajadores del área de carguío y acarreo en la minería convencional - 2020*. [Tesis de pregrado]. Repositorio Universidad Tecnológica del Perú. <https://hdl.handle.net/20.500.12867/4701>
- Fajardo Fernandez, C. R. (2019). *Propuesta de un sistema SBC para la prevención de incidentes y accidentes en la empresa Ing. MVD S.A.C.* [Tesis de pregrado]. Repositorio Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur. <http://repositorio.untels.edu.pe/jspui/handle/123456789/176>
- Fung Vargas, S. A. y Inga Rubio, L. E. (2022). *Seguridad basada en el comportamiento (SBC) para la reducción de comportamientos riesgosos en colaboradores en la empresa Cargo Transport S . A . C ., asociada a las actividades mineras , 2021*. [Tesis de pregrado]. Repositorio Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. <https://sustentaciones.upc.edu.pe/sustentaciones/seguridad-basada-en-el-comportamiento-sbc-para-la-reduccion-de-comportamientos-riesgosos-en-colaboradores-en-la-empresa-cargo-transport-s-a-c-asociada-a-las-actividades-mineras-2021/>
- Garcia Auccasi, E. (2016). *Aplicación de la seguridad basada en el comportamiento (SBC) en la gestión de prevención de riesgos por IESA S.A.C.* [Tesis de pregrado]. Repositorio Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/2213>
- Navarro Ramos, G. J. y Olivos Gordon, R. B. (2021). *Propuesta de implementación de la metodología SBC para reducir incidentes y accidentes laborales en la empresa Ventura Ingenieros Piura, Perú 2021*. [Tesis de pregrado]. Repositorio Universidad Cesar Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/71578>
- Peña Clemente, P. E. (2021). *Implementación del programa de seguridad basada en el comportamiento para la reducción de accidentes en Mincotral SRL - 2020*. [Tesis de maestría]. Repositorio Universidad Nacional del Centro del Perú. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/7542>

- Quilca Gallegos, H. Á. (2022). *Reducción de incidentes de trabajo con el programa de seguridad basada en el comportamiento en la Central de Cooperativas Minero Metalúrgicas de Puno Ltda.* [Universidad Nacional del Altiplano]. http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/7104/Molleapaza_Mamani_Joel_Neftali.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Rodriguez Portocarrero, P. (2021). *Implementación del Programa de Seguridad basada en el comportamiento – SBC, para incrementar comportamientos seguros en trabajadores del sector minero en Cajamarca.* [Tesis de maestría]. Repositorio Universidad Privada del Norte. <https://hdl.handle.net/11537/28799>
- Rodriguez Rivera, K. K. (2016). *Aplicación del programa SBC para reducir el índice de accidentabilidad en operación mina de la empresa Congemin JH SAC Unidad de producción Uchuchacua, Oyón 2016.* [Tesis de pregrado]. Repositorio Universidad César Vallejo. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/47084>
- Sucari León, A. (2018). *Influencia de la aplicación de seguridad basada en el comportamiento en la ocurrencia de accidentes de trabajo en mina Arcata en la empresa contratista IESA S.A. durante el año 2016.* [Tesis de maestría]. Repositorio Universidad Nacional de Huancavelica. <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/2755>
- Tito Cajia, L. V. (2019). *Influencia de la metodología SBC en la prevención y reducción del número de accidentes en Came Contratistas y Servicios Generales S.A. cc 047 - proyecto Antamina – periodo 2014.* [Tesis de maestría]. Repositorio Universidad Nacional Mayor de San Marcos. <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/11186>
- Zapana Vilca, H. G. (2021). *Propuesta de mejora en la gestión de seguridad para una planta de beneficio, utilizando cómo herramienta la Seguridad Basada en el Comportamiento (SBC).* [Tesis de pregrado]. Repositorio Universidad Nacional del Callo. http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/4353/VIVANCO_MERDRANO_FCS_2DA_ESPEC_2019.pdf?sequence=4&isAllowed=y

6. ESTIMACIÓN DE CAUDALES MÁXIMOS MEDIANTE MÉTODOS PROBABILÍSTICOS DE LA CUENCA ILAVE, PUNO PERÚ 2022³¹

Forecast of Maximum Flows Through Probabilistic Methods in Ilave Basin, Puno Perú– 2022

Juan Reynaldo Paredes-Quispe³²

Elqui Yeye Pari Condori³³

Fred Torres-Cruz³⁴

Ramiro Pedro Laura-Murillo³⁵

Alain Paul Herrera-Urtiaga³⁶

Pares evaluadores: Red de Investigación en Educación, Empresa y Sociedad – REDIEES.³⁷

³¹ Derivado del proyecto de investigación: “Determinación de caudales máximos de diseño mediante métodos convencionales probabilísticos en la cuenca Ilave, Puno – 2022”

³² Ing. Estadístico, Doctor en Administración, Universidad Nacional del Altiplano de Puno – Perú, correo electrónico: jpquispe@unap.edu.pe.

³³ Ing. Estadístico, Magister en Informática, Universidad Nacional del Altiplano de Puno – Perú correo electrónico: epari@unap.edu.pe.

³⁴ Ing. Estadístico e Informático, Magister en Ingeniería de Sistemas, Universidad Nacional del Altiplano de Puno. ftorres@unap.edu.pe

³⁵ Ing. Estadístico e Informático, Doctor en Ciencias de la Computación, Universidad Nacional del Altiplano de Puno, correo electrónico: rlaura@unap.edu.pe

³⁶ Ing. Estadístico e Informático, Magister en Informática, Universidad Nacional del Altiplano de Puno, correo electrónico: aherrera@unap.edu.pe.

³⁷ Red de Investigación en Educación, Empresa y Sociedad – REDIEES. www.rediees.org

ESTIMACIÓN DE CAUDALES MÁXIMOS MEDIANTE MÉTODOS PROBABILÍSTICOS DE LA CUENCA ILAVE, PUNO PERÚ 2022

*Juan Reynaldo Paredes-Quispe, Elqui Yeye Pari Condori, Fred Torres-Cruz, Ramiro
Pedro Laura-Murillo, Alain Paul Herrera-Urtiaga*

RESUMEN

El estudio hidrológico es importante, para fines de diseño de obras hidráulicas y en temas de prevención de la gestión de riesgos, por lo que el caudal máximo que se registra durante el aumento inusual por eventos extremos supera los valores medios normales. El objetivo principal es determinar los caudales máximos de diseño mediante métodos convencionales probabilísticos en la cuenca Ilave, Puno – 2022. Los métodos que se usaron fueron la distribución Gumbel; Normal y Gamma (Pearson Tipo III). Se ha utilizado los datos de precipitación máxima de 24 horas al año, de la estación pluviométrica de Ilave, provincia de El Collao, región de Puno - Perú, la estimación de los caudales máximos de diseño fueron procesados por el método de Servicio de Conservación de Suelos (SCS) y el hidrograma unitario. Cuyos resultados alcanzados fueron: mediante la distribución Gumbel una estimación de caudal máximo de diseño aproximado de 141.6 m³/s, mediante la distribución Normal una estimación de caudal máximo de diseño aproximado de 175.5 m³/s y mediante la distribución Gamma (Pearson Tipo III) una estimación de caudal máximo de diseño aproximado de 168.2 m³/s. Llegando a la conclusión que la distribución normal es la de mejor ajuste a los datos de precipitación máxima de 24 horas al año, por el método de máximo verosimilitud (maximum likelihood) y por mostrar menor variabilidad en la estimación por tiempos de retorno (TR).

Palabras Clave: caudal máximo; cuenca; estimación; precipitación máxima; tiempo de retorno.

ABSTRACT

The hydrological study is important, for purposes of design of hydraulic works and in issues of prevention of risk management, the maximum flow rate that is recorded during the unusual increase by extreme events, exceeding the normal average values. The main objective is to determine the maximum design flows using conventional probabilistic methods in the Ilave basin, Puno - 2022. The methods used were the Gumbel distribution; Normal and Gamma (Pearson Type III). It has been considered the maximum precipitation data to 24 hours to year from Ilave station from El Collao province, Puno region – Perú country, the estimation of the maximum design flows was processed by the soil conservation service (SCS) method and the unit hydrograph. Whose results were achieved through the Gumbel distribution an approximate maximum design flow estimate of 141.6 m³/s, using de normal distribution, an approximate maximum design flow estimate of 175.5 m³/s and by means of the Gamma distribution (Pearson Tipo III) an estimation of approximate maximum flow of 168.2 m³/s. Concluding that the normal distribution is the one with the best fit to the maximum precipitation data for 24 hours a year, by the maximum likelihood method and by showing less variability in the estimation by return times (TR).

Keywords: maximum flow; basin; estimation; precipitation; return time.

INTRODUCCIÓN

En este trabajo se plantea como problema general: ¿Cuánto son los caudales máximos de diseño usando métodos convencionales probabilísticos en la cuenca Ilave, Puno - 2022? Como también se plantean los problemas específicos: ¿Cuánto es los Caudales máximos de diseño mediante la distribución Gumbel en la cuenca Ilave, Puno - 2022?, ¿Cuánto es los Caudales máximos de diseño mediante la distribución normal en la cuenca Ilave, Puno - 2022? Y ¿Cuánto es los Caudales máximos de diseño mediante Gamma (Pearson Tipo III) en la cuenca Ilave, Puno - 2022?

Se propone una investigación para calcular los caudales máximos de diseño en la cuenca Ilave, Puno, utilizando modelos hidrológicos y modelaciones probabilísticas. La justificación incluye aspectos metodológicos, sociales, económicos y ambientales. Los objetivos generales son calcular los caudales máximos de diseño mediante métodos convencionales probabilísticos y los objetivos específicos incluyen determinar los caudales máximos de diseño mediante la distribución Gumbel, la distribución normal y la distribución Gamma (Pearson Tipo III). En la hipótesis general se plantea que: los caudales máximos de diseño mediante métodos convencionales probabilísticos son iguales en la cuenca Ilave, Puno – 2022. y las hipótesis específicas incluyen que los caudales máximos de diseño mediante la distribución Gumbel son similares a los caudales máximos de diseño mediante la distribución normal o iguales a los demás métodos los caudales máximos de diseño mediante Gamma (Pearson Tipo III), son iguales a los demás métodos.

MATERIAL Y MÉTODOS

Tipo y diseño de investigación

La metodología de la investigación “Estimación de caudales máximos de diseño mediante métodos convencionales probabilísticos en la cuenca Ilave, Puno – 2022” es de tipo cuantitativo y su objetivo es recopilar información a partir de los conocimientos teóricos y prácticos adquiridos durante la carrera, con el fin de resolver los problemas investigados. La

metodología cuantitativa implica el uso de técnicas para acercarse a una población y estimar sus características, discusiones, referencias o demandas. Además, se utiliza la recopilación de datos para comprobar hipótesis basadas en medir y analizar los resultados con la estadística. La investigación también busca establecer asociaciones puras entre variables de interés y determinar relaciones causales.

Específicamente, se busca determinar los caudales máximos de diseño en la cuenca Ilave, Puno mediante el uso de métodos convencionales probabilísticos. Para ello, se realizará una recopilación de datos relevantes y se aplicarán técnicas estadísticas para analizar los resultados y obtener las estimaciones deseadas. El enfoque cuantitativo permitirá una evaluación objetiva y sistemática de los datos recopilados y se utilizarán modelos matemáticos para comprender mejor el comportamiento de los caudales máximos en la cuenca Ilave.

Variables y operacionalización

En este trabajo se estudian métodos convencionales de distribución probabilística como variable dependiente, utilizando técnicas de cálculo Gumbel, log Normal y Gamma (Pearson Tipo III), con parámetros de forma, ubicación y escala. La variable independiente es el caudal máximo de diseño como plantea Chow et al. (1994) examina las características geomorfológicas de las cuencas hidrográficas y utiliza el caudal máximo de diseño como variable independiente. Se miden los máximos mensuales de precipitación y se calcula la probabilidad de eventos en un período determinado (tiempo de retorno) para implementar los caudales máximos de diseño basados en factores como área, pendiente y frecuencia de drenaje. La dimensión del tiempo de retorno se divide en indicadores de 2, 10, 50, 100 y 200 años.

Población y muestra

La investigación realizada así como dijo Arias (2012) se enfoca en determinar los caudales máximos de diseño en la cuenca de Ilave, utilizando métodos convencionales probabilísticos. La población estudiada son los datos de caudales obtenidos de estaciones pluviométricas y la muestra es una parte representativa de la población. El tipo de muestreo es no probabilístico y se evalúan diferentes tiempos de retorno para determinar la distribución

de probabilidad. La variable dependiente es la distribución de probabilidad y la variable independiente es el caudal máximo. Las técnicas de recolección de datos incluyen la observación directa, entrevistas y herramientas como archivos, cuestionarios y sistemas de información geográfica. La validez y confiabilidad de las técnicas e instrumentos se evalúan en relación con los métodos de investigación utilizados. En general, el estudio se enfoca en solucionar un problema existente y aportar nuevos hechos a través de un enfoque aplicado y no experimental.

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

En la Tabla 1 se consideran parámetros de validez para nuestro estudio.

Tabla 9.

Parámetros de Validez

Rango	Magnitud
0.53 a menos	Validez nula
0.54 a 0.65	Validez baja
0.60 a 0.65	Válida
0.66 a 0.71	Muy válida
0.72 a 0.99	Excelente validez
1.00	Validez perfecta

Nota: tomado de Oseda et al. (2015)

Para validar las variables planteadas en la estimación de los caudales máximos de diseño mediante técnicas convencionales probabilísticos en la cuenca Ilave, Puno – 2022, se tuvo la evaluación por pares mostrados en la Tabla 2:

Tabla 10

Validez de contenido de las variables

N°	Título profesional	Apellidos y nombres	DNI	CIP	Dictamen	Evaluación
1	Ingeniero Civil	Deza Ramos, Darwin	42477401	128272	0.954	0.933
2	Ingeniero Civil	Coyla Idme, Leonel	02146851	46961	0.927	
3	Ingeniero Civil	Quispe Quea, Juan Pablo	01345604	87217	0.919	

Nota: elaboración propia.

Métodos de análisis de datos

Para el análisis de datos, se utilizó la técnica de estadística descriptiva y se procesaron los datos con Microsoft Excel. Además, se compararon los resultados con programas de hidrología, como HidrosEsta, HyFran Plus, y ArcGIS. Se identificaron estaciones meteorológicas e hidrométricas para recopilar datos de precipitación y características de la cuenca, y se utilizó un SIG (Sistema de Información Geográfica) durante la caracterización geomorfológica. Finalmente, se usó el software HEC HMS para determinar las cantidades máximas de lluvia.

Procedimientos

Se adquirieron los datos de precipitación máxima diaria de la cuenca del Ilave de 1966 a 2021 con permiso de SENAMHI-Puno y complementados con la búsqueda de datos. Se visitaron expertos en hidrología y drenaje de la región de Puno, y se utilizó software GeoHMS y HecHMS para estimar los caudales máximos. Los datos se procesaron con la ayuda de expertos en hidrología con experiencia en el uso de estos programas.

RESULTADOS

Tabla 11

Precipitaciones máximas en mm/día/anual de la cuenca Ilave 1964-1958

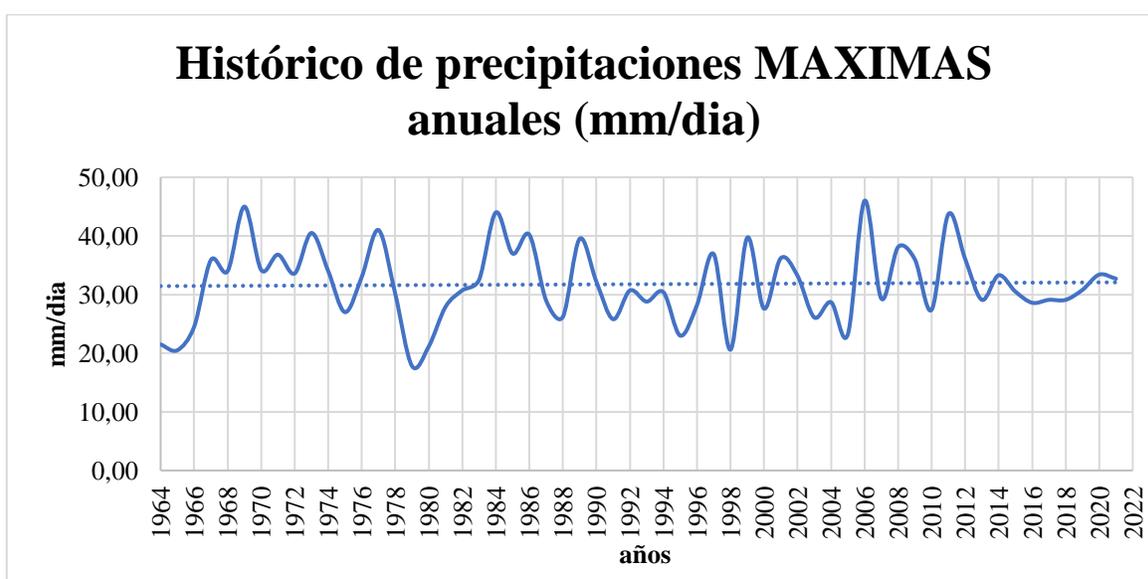
años	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78
precipMax (mm/día/anual)	17.81	20.5	20.6	21.16	21.5	23	23.2	24.5	25.8	26.1	26.2	27	27.4	27.6	27.91
años	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93
precipMax (mm/día/anual)	28.2	28.6	28.7	28.8	29	29.1	29.1	29.1	29.3	30.1	30.4	30.5	30.7	30.72	30.8
años	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08
precipMax (mm/día/anual)	32.2	32.52	32.7	33	33.2	33.3	33.4	33.6	34	34	34.2	35.9	36	36.1	36.2
años	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21		
precipMax (mm/día/anual)	36.8	36.9	37	38.1	39.5	39.7	40.2	40.5	41	43.7	44	45	46		

Nota: SENAMHI – Puno, elaboración del investigador.

En la Tabla se presentan los registros de precipitaciones máximas diarias de 24 horas en milímetros (mm) en la región de Puno desde el año 1964 hasta 2021, un total de 58 años. Según los registros, en 1964 se tuvo la más baja precipitación (17.81mm) y en 2021 se tuvo la más alta (46.00mm). Durante los años 1977 a 1980, no se registraron las precipitaciones en la región de Puno, pero los valores para esos años se estimaron a través de un modelamiento matemático lineal simple de los años previos.

Figura 1

Histórico de precipitaciones máximas anuales (mm/día) Ilave

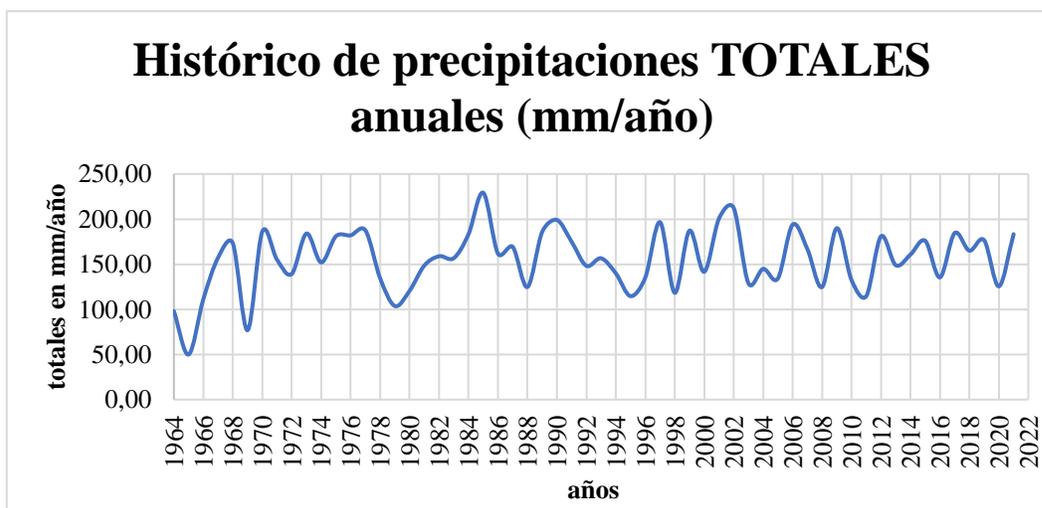


Nota: elaboración propia.

La Figura muestra la historia de precipitaciones máximas anuales en mm con una tendencia regular y altibajos. Entre 1968 y 1972 hubo precipitaciones por encima del promedio de 31.76mm, mientras que entre 1980 y 1986 hubo precipitaciones fuertes en la cuenca del río Ilave que superaron los 40mm. Hubo escasez de precipitaciones entre 1990 y 1996, pero en 2006 hubo una fuerte precipitación. En promedio, cada 10 a 12 años se registran precipitaciones similares en la cuenca del río Ilave.

Figura 2

Histórico de precipitaciones totales anuales (mm/año) - Ilave

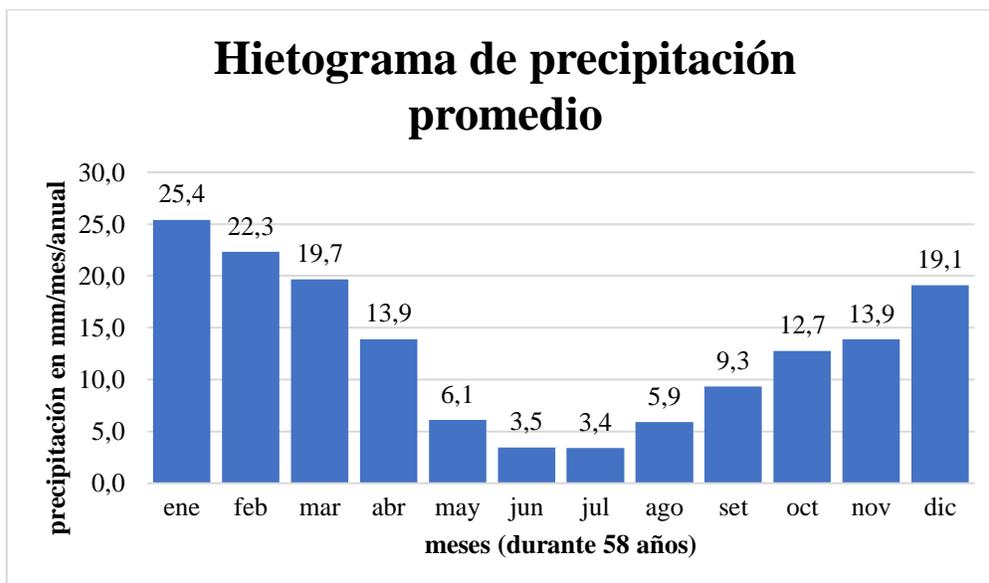


Nota: elaboración propia.

En la Figura se muestra el histórico de precipitaciones totales anuales en mm con una tendencia lineal regular. Destaca el año 1986 por las inundaciones en la región de Puno y en 2002 hubo inundaciones moderadas. La tendencia de fuertes precipitaciones está entre 15 a 20 años. Hubo sequías fuertes de 1964 a 1970 y sequías moderadas en 1979, 1994 y 2010 en el altiplano peruano.

Figura 3

Hietograma de precipitaciones promedio mensual (mm/mes) - Ilave

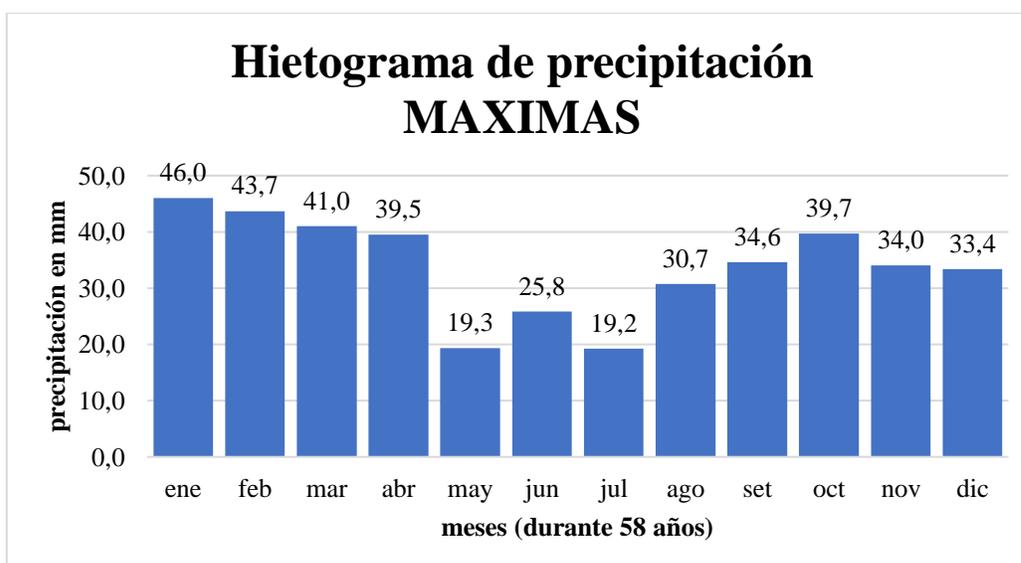


Nota: elaboración propia.

La Figura muestra que los meses con más precipitación son enero a marzo y octubre a diciembre, mientras que abril a setiembre son de precipitaciones bajas.

Figura 4

Hietograma de precipitaciones máximas por mes (mm/mes) – Ilave.



Nota: elaboración propia.

La Figura muestra una tendencia irregular en el acumulado de precipitaciones máximas anuales, con los meses de enero, febrero, marzo y abril teniendo la mayor acumulación de precipitaciones y los meses de mayo, junio y julio siendo de menor acumulación.

Objetivo específico 1:

Según el objetivo determinar los caudales máximos de diseño mediante la distribución Gumbel para modelar la distribución máxima de precipitaciones anuales de 24 horas. Los valores se estimaron con los parámetros de posición $U=28.57$ y de variabilidad $\alpha=6.0862$

Además, se utilizó el software Hidroesta2 para probar la bondad de ajuste a la distribución Gumbel, utilizando la prueba estadística de Smirnov-Kolmogorov,

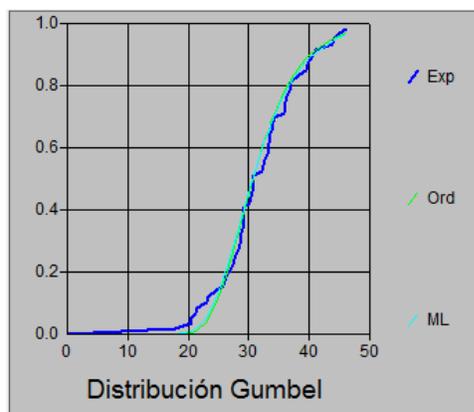
El ajuste de los datos de precipitación a la distribución de probabilidad de Gumbel se realizó con momentos ordinarios. La prueba estadística Smirnov-Kolmogorov demostró que los datos se ajustan a la distribución con un nivel de significación del 5%, con un delta teórico de 0.0744 que es menor que el delta tabular de 0.1786. Los parámetros de la distribución Gumbel son de 28.8568 para el parámetro de posición (μ) y 5.0307 para el parámetro de escala (alfa).

Con momentos lineales:

- Parámetro de posición (μ)= 28.7001
- Parámetro de escala (alfal)= 5.3021

Figura 5

Ajuste de precipitaciones máximas por la distribución Gumbel



Nota: elaboración propia.

La Figura muestra la tendencia acumulada de las precipitaciones máximas de 24 horas en la cuenca llave y la estimación con la distribución Gumbel, mostrando un buen ajuste ya que la gráfica de la distribución Gumbel tiene semejanza con la gráfica acumulada de los datos originales.

Tabla 12

Probabilidades de las precipitaciones para distintos tiempos de retorno, intervalos de confianza y caudales máximos estimados con la distribución Gumbel

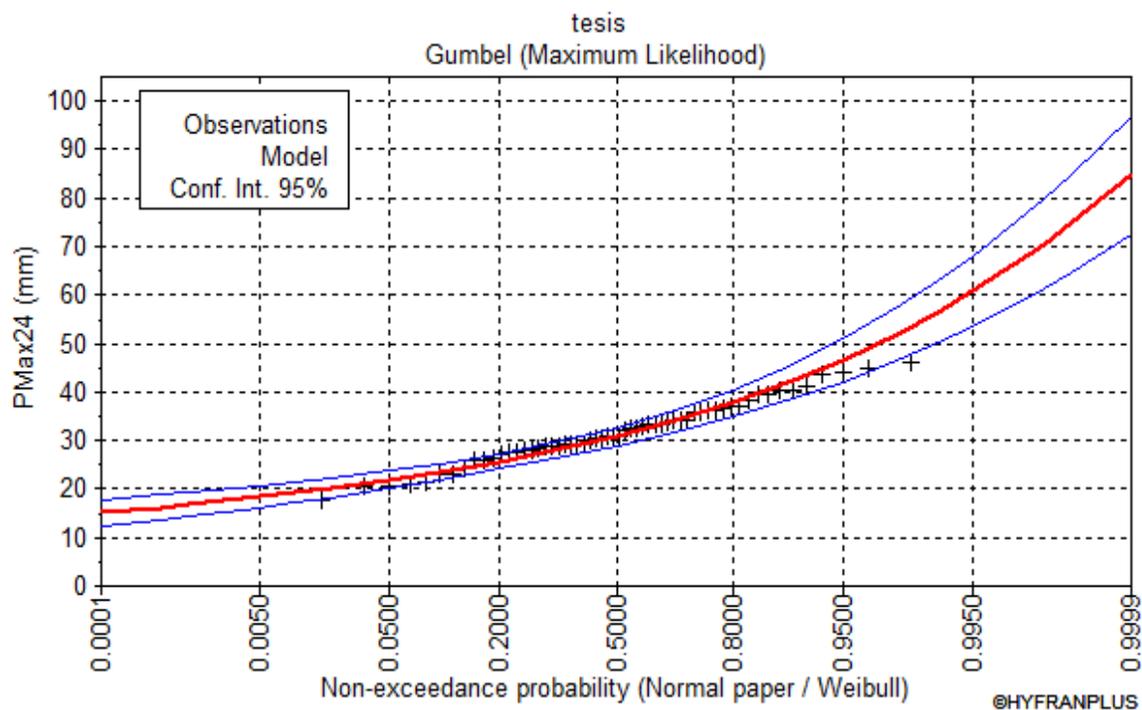
TR	probabilida d	Precipitació n	DesvStand ar	interval conf(95%)	Diferenci a	caudal max m ³ /s
200	0.995	60.8	3.69	53.6	68	3305.7
100	0.99	56.6	3.26	50.2	63	3002.8
75	0.9867	54.8	3.09	48.8	60.9	2679.5
50	0.98	52.3	2.84	46.8	57.9	2255.7
20	0.95	46.6	2.28	42.2	51.1	1406.5
10	0.9	42.3	1.86	38.6	45.9	911.8
5	0.8	37.7	1.44	34.9	40.5	5.6
3	0.6667	34.1	1.15	31.8	36.3	4.5
2	0.5	30.8	0.936	29	32.6	3.6

Nota: elaboración propia.

Para tiempos de retorno de 2, 10, 50 y 100 años, se estimaron precipitaciones máximas de 24 horas en 30.8, 42.3, 52.3 y 56.6 mm respectivamente, lo cual a su vez estimó los caudales máximos de diseño en 141.6, 911.8, 2255.7 y 3002.8 m³/s en la cuenca Ilave, cerca al punto más crítico que es el puente internacional de Ilave

Figura 6

Tendencia de precipitaciones máximas por la distribución Gumbel



Nota: elaboración propia

La Figura muestra un buen ajuste entre las precipitaciones máximas de 24 horas en la cuenca de Ilave y la distribución Gumbel, ya que la mayoría de los puntos están dentro de los límites inferior y superior representados por el color azul.

Objetivo específico 2:

La distribución normal se utiliza para modelar los datos de precipitación máxima de 24 horas anuales en la cuenca Ilave muestra los valores estimados para la distribución normal (parámetro de posición $\mu=31.76$ y parámetro de dispersión $\sigma=6.45$).

Además, se utiliza el software Hidroesta2 para realizar la prueba de bondad de ajuste a la distribución normal, mediante la prueba estadística de Smirnov-Kolmogorov, y se

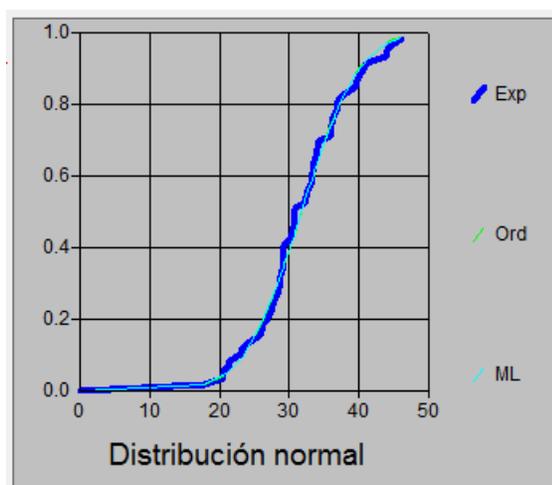
encuentra que los datos se ajustan a la distribución normal con un nivel de significación del 5%. Los parámetros de la distribución normal con momentos ordinarios son el parámetro de localización (X_m)= 31.7605 y el de escala (S)= 6.4521

Con momentos lineales:

- Media lineal (X_l)= 31.7605
- Desviación estándar lineal (S_l)= 6.514

Figura 7

Ajuste de precipitaciones máximas por la distribución Normal



Nota: elaboración propia.

En la Figura se muestra un buen ajuste entre la tendencia acumulada de las precipitaciones máximas de 24 horas en la cuenca de Ilave y la estimación con la distribución Normal, ya que ambas siguen una misma tendencia ascendente acelerado entre los 20 y 40 años y desacelerado después de los 40 años.

Tabla 13

Probabilidades de las precipitaciones para distintos tiempos de retorno, intervalos de confianza y caudales máximos estimados con la distribución Normal

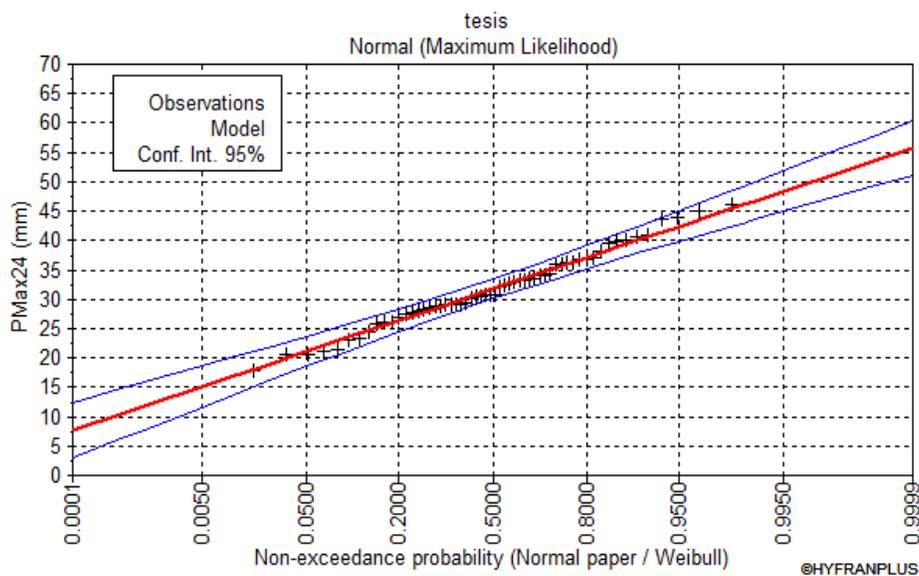
TR	Probabilidad	Precipitación	DesvStand ar	interval conf(95%)		Diferencia	caudal max m³/s
200	0.995	48.4	1.77	44.9	51.9	7	1540.5
100	0.99	46.8	1.64	43.6	50	6.4	1433.4
75	0.9867	46.1	1.58	43	49.2	6.2	1340.2
50	0.98	45	1.5	42.1	48	5.9	1203.8
20	0.95	42.4	1.31	39.8	44.9	5.1	922.0
10	0.9	40	1.15	37.8	42.3	4.5	690.1
5	0.8	37.2	0.988	35.3	39.1	3.8	
3	0.6667	34.5	0.886	32.8	36.3	3.5	
2	0.5	31.8	0.847	30.1	33.4	3.3	175.5

Nota: elaboración propia.

La Tabla se muestra los resultados de la probabilidad de las precipitaciones máximas de 24 horas anuales en términos de tiempos de retorno, procesados por HyFran Plus. Además, se estimaron los caudales máximos de diseño a partir de las precipitaciones máximas estimadas por la distribución normal de probabilidades con Hec HMS 4.10. Los valores estimados de las precipitaciones máximas de 24 horas para los tiempos de retorno de 2, 10, 50 y 100 años son 31.8, 40.0, 45.0 y 46.8 mm, lo que estima 175.5, 690.1, 1203.8 y 1433.4 m³/s de caudales máximos de diseño para la cuenca Ilave cerca al punto más crítico, que es el puente internacional de Ilave.

Figura 8

Tendencia de precipitaciones máximas por la distribución Normal



Nota: elaboración propia.

El ajuste de las precipitaciones máximas de 24 horas en la cuenca de Ilave con la distribución Normal se muestra como bueno en la Figura, ya que la mayoría de los puntos están dentro de los límites inferior y superior.

Objetivo específico 3:

Donde se estimar los caudales máximos de diseño mediante la distribución Gamma (Pearson Tipo III), la cual es aplicada para describir la distribución de probabilidad de picos decrecientes de máximos anuales. Se usó una transformación log para reducir la asimetría. La Tabla 9 muestra los valores estimados de la distribución con parámetros $\alpha = 1.6052$, $\lambda = 105.55$ y $M = -33.998$. Además, se realizó una prueba de bondad de ajuste a la distribución Gamma con Smirnov-Kolmogorov, y los datos se ajustaron a la distribución Gamma con un nivel de significación del 5% con el parámetro de forma (γ)= 23.9355 y el de escala (β)= 1.3269

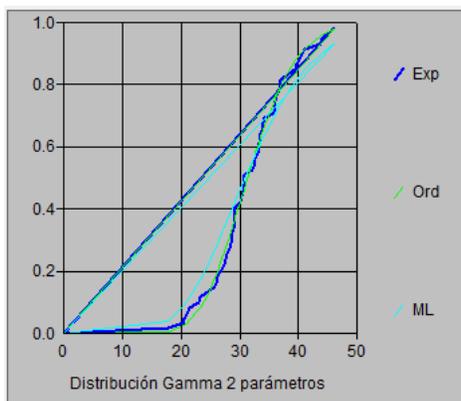
Con momentos lineales:

- Parámetro de forma (γ)= 12.1948

- Parámetro de escala (beta)= 2.6044

Figura 9

Ajuste de precipitaciones máximas por la distribución Gamma (Pearson Tipo III)



Nota: elaboración propia.

La Figura muestra que la tendencia acumulada de las precipitaciones máximas de 24 horas en la cuenca de Ilave se ajusta bien a la distribución Gamma (Pearson Tipo III) con una buena relación entre ambos, siguiendo una tendencia ascendente acelerado entre los 20 a 40 años y desacelerado más allá de los 40 años.

Tabla 14

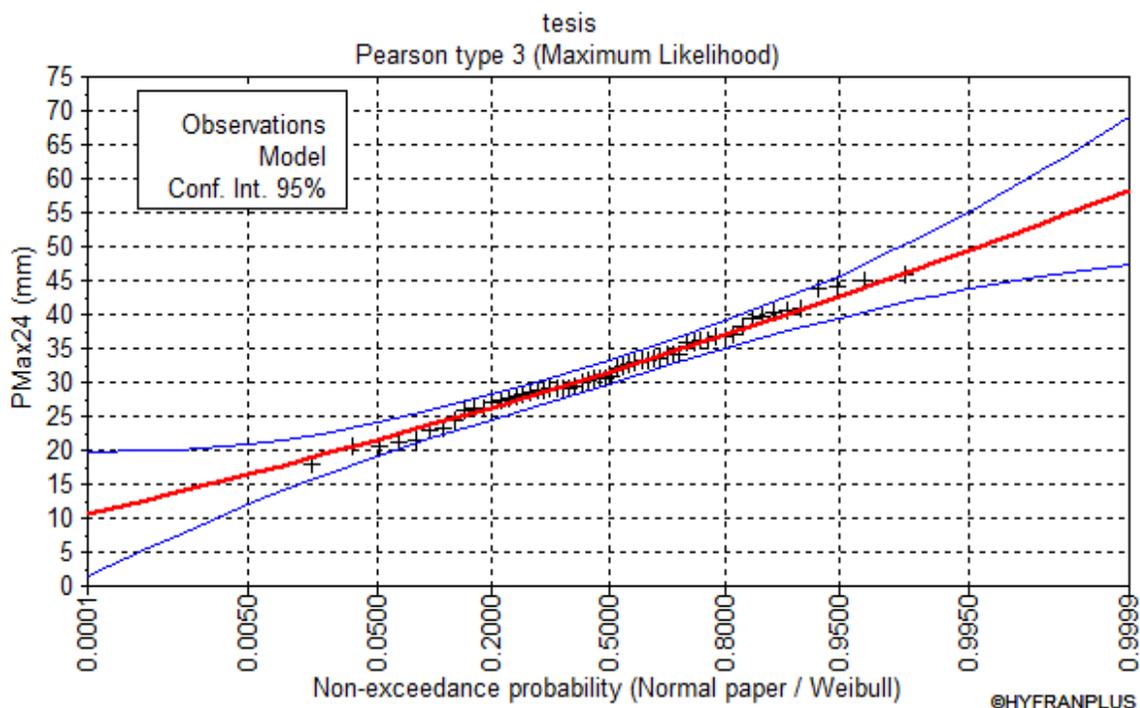
Probabilidades de las precipitaciones para distintos tiempos de retorno, intervalos de confianza y caudales máximos estimados con la distribución Gamma (Pearson Tipo III)

TR	probabilida d	Precipitació n	DesvStanda r	interval conf(95%)		Diferenci a	caudal max m ³ /s
200	0.995	49.4	2.92	43.7	55.1	11.4	1671.2
100	0.99	47.6	2.48	42.7	52.4	9.7	1543.3
75	0.9867	46.8	2.3	42.2	51.3	9.1	1433.4
50	0.98	45.6	2.06	41.5	49.6	8.1	1275.3
20	0.95	42.6	1.57	39.6	45.7	6.1	942.6
10	0.9	40.1	1.26	37.6	42.5	4.9	699.2
5	0.8	37.1	1.03	35.1	39.1	4	
3	0.6667	34.4	0.936	32.6	36.2	3.6	
2	0.5	31.6	0.902	29.8	33.3	3.5	168.2

Nota: elaboración propia.

Figura 10

Tendencia de precipitaciones máximas por la distribución Gamma (Pearson tipo III)



Nota: elaboración propia.

Los resultados de la Tabla 10 muestran estimaciones de precipitaciones máximas anuales y caudales máximos de diseño para la cuenca Ilave. La estimación se basa en la distribución Gamma (Pearson Tipo III) y se presentan para tiempos de retorno de 2, 10, 50 y 100 años, con valores de 31.6, 40.1, 45.6 y 47.6 mm y 168.2, 699.2, 1275.3 y 1533.4 m³/s respectivamente. Estos valores se refieren al punto más crítico de la cuenca, el puente internacional de Ilave.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Discusión

En la cuenca de Ayaviri-Puno-Perú, se estimaron las precipitaciones máximas de 24 horas por el método de la distribución de probabilidad de Gumbel para los tiempos de retorno de 50, 100 y 200 años, siendo estas 52.865, 57.330 y 61.781 mm respectivamente. Además, los caudales máximos fueron calculados por el método de Mac-Math, siendo estos 270.305, 293.135 y 315.893 m³/s.

Tabla 15

Estimaciones de precipitaciones máximas de 24 horas y caudales máximos según periodos de retorno por la distribución Gumbel

Distribucion Gumbel	Periodos de retorno en años			
	50	100	200	
precipMax	52.865	57.33	61.781	mm
caudalMax	270.305	293.135	315.893	m ³ /s

Nota: elaboración propia.

La estimación de las precipitaciones máximas de 24 horas por el modelo de distribución de probabilidades de Gumbel tiene similitudes para los tiempos de retorno de 50 y 100 años, pero existe una fuerte discrepancia en la estimación de los caudales máximos de diseño para los mismos tiempos de retorno. La estimación de los caudales máximos de diseño por el trabajo de Mamani es 270.31 m³/s para el tiempo de retorno de 50 años y 293.14 m³/s para el tiempo de retorno de 100 años, mientras que la estimación en el trabajo actual es 2255.7 m³/s y 3002.8 m³/s respectivamente para los mismos tiempos de retorno.

El estudio de Mamani estimó la precipitación máxima de 24 horas para los tiempos de retorno de 50, 100 y 200 años utilizando el método de distribución de probabilidad Normal, obteniendo valores de 40.32 mm, 41.66 mm y 42.88 mm, respectivamente. Además, los caudales máximos fueron calculados utilizando el método de Mac-Math y los resultados fueron 206.161 m³/s, 213.012 m³/s y 219.250 m³/s.

Tabla 16

Estimaciones de precipitaciones máximas de 24 horas y caudales máximos según periodos de retorno por la distribución Normal

Distribución	Periodos de retorno en años			
	50	100	200	
Normal				
precipMax	40.32	41.66	42.88	mm
caudalMax	206.161	213.012	219.25	m3/s

En el trabajo de Mamani, las precipitaciones máximas de 24 horas estimadas para los tiempos de retorno de 50 y 100 años son similares a las estimadas en otro trabajo con el modelo de distribución de probabilidades Normal (40.32mm y 41.66mm frente a 45.00mm y 46.8mm). Sin embargo, hay una fuerte discrepancia en la estimación de los caudales máximos de diseño, ya que para el tiempo de retorno de 50 años el caudal en el trabajo de Mamani es de 206.16 m3/s y en el otro trabajo es de 1203.8 m3/s. Para el tiempo de retorno de 100 años, el caudal en el trabajo de Mamani es de 213.012 m3/s y en el otro trabajo es de 1433.4 m3/s.

En el trabajo de Mamani en la cuenca de Ayaviri, se estimó que la precipitación máxima de 24 horas para los tiempos de retorno de 50, 100 y 200 años, usando el modelo de distribución de probabilidad de Gamma (Pearson Tipo III), fueron de 52.865mm, 57.33mm y 61.781mm respectivamente. Además, los caudales máximos estimados por el método de Mac-Math fueron de 270.305m3/s, 293.135m3/s y 315.893m3/s para los mismos tiempos de retorno.

Tabla 17

Estimaciones de precipitaciones máximas de 24 horas y caudales máximos según periodos de retorno por la distribución Pearson Tipo III

Distribución	Periodos de retorno en años			
	50	100	200	
Pearson T III				
precipMax	52.865	57.33	61.781	mm
caudalMax	270.305	293.135	315.893	m3/s

Nota: elaboración propia

Existe una cierta similitud entre las estimaciones de las precipitaciones máximas de 24 horas para los tiempos de retorno de 50 y 100 años en los trabajos de Mamani y el nuestro. Sin embargo, hay una fuerte discrepancia en las estimaciones de caudales máximos de diseño para los mismos tiempos de retorno. La estimación de Mamani es significativamente menor en comparación con la de nuestro trabajo.

Conclusiones

- El modelo de distribución de probabilidades de Gumbel estima que la precipitación máxima de 24 horas para tiempos de retorno de 2, 10, 50 y 100 años será de 30.8 mm a 56.6 mm, lo que equivale a 141.6 m³/s a 3002.8 m³/s de caudal máximo de diseño para la cuenca Ilave en el punto crítico que es el puente internacional de Ilave.
- El modelo de distribución de probabilidades Normal estima que la precipitación máxima de 24 horas para tiempos de retorno de 2, 10, 50 y 100 años será de 31.8 mm a 46.8 mm, lo que equivale a 175.5 m³/s a 1433.4 m³/s de caudal máximo de diseño para la cuenca Ilave en el punto crítico que es el puente internacional de Ilave.
- El modelo de distribución de probabilidades Gamma (Pearson Tipo III) estima que la precipitación máxima de 24 horas para tiempos de retorno de 2, 10, 50 y 100 años será de 31.6 mm a 47.6 mm, lo que equivale a 168.2 m³/s a 1533.4 m³/s de caudal máximo de diseño para la cuenca Ilave en el punto crítico que es el puente internacional de Ilave.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez, A. J., Orduña, L. M. y Montañés, C. G. (2014). Análisis y selección de modelos estadísticos para el ajuste de la ley de frecuencia de caudales máximos anuales en España. *Revista Digital del Cedex*, (174), 5-31.
- Arias, F. G. (2012). *El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica* (6ta edición). Episteme.
- Baena, G. M. E. (2017). *Metodología de la investigación* (3a edición). Grupo Editorial Patria.
- Beven, K. (2012). *Rainfall-Runoff Modelling: The Primer*. Wiley.
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/9781119951001.ch3>
- Breña, A. F. y Jacobo, M. A. (2006). *Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial*. Universidad Autónoma Metropolitana.
- Chavarría, L., Guzmán, I., Quesada, F. y Watson, F. (2020). *Determinación del caudal ambiental requerido para río Pejibaye mediante la implementación de una metodología de cálculo hidrobiológica, considerando variables de cambio climático*. [Tesis de pregrado]. Repositorio Instituto Tecnológico de Costa Rica.
<https://hdl.handle.net/2238/11562>
- Chen, L. y Wang, L. (2018). Recent advance in earth observation big data for hydrology. *Big Earth Data*, 2(1), 86 - 107. <https://doi.org/10.1080/20964471.2018.1435072>
- Domínguez, M. C., Medina, M. C. y Martínez, M. I. (2018). *Metodología de investigación para la educación y la diversidad*. Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- Fattorelli, S. y Fernández, P. C. (2011). *Diseño Hidrológico*. World Water Assessment Programme (WWAP).
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, M. P. (2018). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill Interamericana.
- Jain, S. K. y Singh, V. P. (2019). *Engineering Hydrology: An Introduction to Processes, Analysis, and Modeling*. McGraw - Hill Education.

- <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9781259641978>
- Khan, M. A. (2015). *Flood Scour for Bridges and Highways: Prevention and Control of Soil Erosion*. McGraw - Hill Education. <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780071825078>
- Lujano, E. (2019). *Análisis regional de frecuencia para la estimación de caudales máximos en la cuenca amazónica del Perú*. Universidad Nacional del Altiplano.
- Mackenzie, L. D. (2019). *Water and Wastewater Engineering: Design Principles and Practice*. McGraw-Hill Education. <https://books.google.com.br/books?id=XypnwwEACAAJ>
- Mamani, G. (2021). *Determinación de caudales máximos de diseño mediante métodos convencionales probabilísticos en la subcuenca Ayaviri, Puno – 2020*. [Tesis de pregrado]. Repositorio Universidad César Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/59788>
- Mias, C. D. (2018). *Metodología de investigación, estadística aplicada e instrumentos neuropsicología: guía práctica para investigación*. Editorial Brujas.
- Oseda, D., Huamán, E., Ramos, E., Shimbucat, F., Zevallos, K. y Barrera, M. (2015). *Teoría y Práctica de la Investigación Científica*. Soluciones Gráficas SAC.
- Renaud, F. G., Sudmeier, K., Estrella, M. y Nehren, U. (2016). *Ecosystem-based disaster risk reduction and adaptation in practice*. Springer.
- Scheffran, J. (2020). Climate extremes and conflict dynamics. J. Sillmann, S. Sippel, S. Russo (eds.) *Climate Extremes and Their Implications for Impact and Risk Assessment*. Elsevier. (pp. 293 – 315). <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128148952000161>
- Schleussner, C. F. y Guillod, B. (2020). Avoiding impacts and impacts avoided: Impact science to inform adaptation action and policy-relevant assessments. J. Sillmann, S. Sippel, S. Russo, (eds.) *Climate Extremes and Their Implications for Impact and Risk Assessment*. Elsevier. (pp. 317 – 339). <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128148952000173>

Varouchakis, E. A. (2019). Geostatistics: Mathematical and Statistical Basis. G. Corzo, E. A. Varouchakis (eds). *Spatiotemporal Analysis of Extreme Hydrological Events*. Elsevier. (pp. 1 – 38).
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978012811689000001X>

Vergara, L. E. (2020). *Simulación y pronóstico de caudales diarios del Río Amazonas usando un enfoque híbrido Wavelet y Redes Neuronales*. [Tesis de maestría]. Repositorio Universidad Nacional Agraria La Molina.

7. ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS TICS EN EL SECTOR SALUD

Comparative Study of ICT in the Health Sector

José Antonio Ogosi Auqui³⁸

Jorge Lira Camargo³⁹

Washington Melvin Lira Camargo⁴⁰

David Hugo Obando Pacheco⁴¹

Víctor Hugo Guadalupe Mori⁴²

Pares evaluadores: Red de Investigación en Educación, Empresa y Sociedad – REDIEES⁴³

³⁸ Docente, Universidad Nacional Federico Villareal: jogosi@unfv.edu.pe

³⁹ Docente, Universidad Nacional Federico Villareal: jlira@unfv.edu.pe

⁴⁰ Docente, Universidad Nacional Federico Villareal: wlira@unfv.edu.pe

⁴¹ Docente, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas: pcmadoba@upc.edu.pe

⁴² Docente, Universidad Privada San Juan Bautista: victor.guadalupe@upsjb.edu.pe

⁴³ Red de Investigación en Educación, Empresa y Sociedad – REDIEES. www.rediees.org

ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS TICS EN EL SECTOR SALUD

José Antonio Ogosi Auqui, Jorge Lira Camargo, Washington Melvin Lira Camargo, David Hugo Obando Pacheco, Víctor Hugo Guadalupe Mori

RESUMEN

El presente trabajo se realizó una revisión literaria sobre las tecnologías de información y comunicación respecto al sector salud tomando en cuenta los sucesos ocurridos en el periodo de pandemia por COVID-19 en el que, se buscó determinar que tecnología tuvo un mayor impacto frente a otras TICs cuyo enfoque de investigación fue cualitativo puesto que, se tomó en cuenta la investigación de cinco autores diferentes en donde se muestre el sistema ya desarrollado con los resultados obtenidos en su implementación en el que, se realizó una comparación en base a las funciones y la accesibilidad siendo los puntos más resaltantes de dichos sistemas, asimismo, se realizó un análisis sobre el propósito por el cual estos sistemas fueron desarrollados y a que conclusión llegaron con la implementación de dicho proyecto desarrollado, en el que, se encontró como resultado del análisis realizado en el estudio que el sistema web para la gestión de citas de Herrera fue el que tuvo un mayor impacto respecto a otras tecnologías desarrolladas en el sector de la salud.

Palabras Clave: TIC; sistema web; sector salud; historias clínicas; control de citas.

ABSTRACT

The present work was conducted a literature review on information and communication technologies with respect to the health sector taking into account the events occurred in the period of pandemic by COVID-19 in which, it was sought to determine which technology had a greater impact against other ICTs whose research approach was qualitative since, it was taken into account the research of five different authors where the system already developed is shown with the results obtained in its implementation in which, A comparison was made based on the functions and accessibility being the most outstanding points of these systems, also, an analysis was made on the purpose for which these systems were developed and the conclusion reached with the implementation of the project developed, in which, it was found as a result of the analysis conducted in the study that the web system for the management of appointments of Herrera was the one that had a greater impact compared to other technologies developed in the health sector.

Keywords: ICT; web system; health sector; medical records; appointment management.

INTRODUCCIÓN

Habiendo pasado casi tres años de la aparición del COVID 19 en el Perú, país en donde se estaba aún encaminando el proceso de modernización de los servicios públicos que otorgaba el estado a la comunidad, a causa del virus y otros motivos, muchas instituciones, servicios, empresas, etc. se vieron obligados a virtualizarse para combatir el impacto generado por las nuevas normas sanitarias para combatir la pandemia, Reyes y Quispe (2021), indican que tras la aparición del coronavirus en el mundo, el uso de las redes ha aumentado en distintos sectores del país en el que incluye el trabajo vía remoto, aplicar servicios en línea y el uso de las plataformas virtuales de educación, en el caso del sector de salud, Ramírez et al. (2021), comentan que, a nivel mundial, tras un aumento en la demanda de los diferentes servicios de salud, muchos centros de salud hacen un gran esfuerzo en realizar una reducción de costos y un aumento en su productividad por proporcionar dichos servicios a sus pacientes. En el ámbito de la salud los hospitales, clínicas y centros de salud optaron por el uso de las TICs para automatizar procesos no complejos pero que, si se llegan a realizar de manera manual, causaría muchos contratiempos lo cual puede afectar a la disponibilidad del personal para atender a los pacientes que requieran de atención médica, los centros de salud optan por el uso de las TICs a través de la internet, debido a que este entorno permite a los pacientes el acceso a los servicios otorgados por el centro con el requerimiento de tener una computadora o dispositivo móvil con acceso a internet. Ramírez et al. (2021) comentan que, a nivel global, el sector de salud se tiene como punto prioritario el elevar la eficiencia y competitividad en las instituciones, tomando en cuenta cada rango de atención. Por lo que, se debe considerar los motivos por el cual se implementan las TICs para estos servicios, Saavedra (2021), comenta que el impacto de las tecnologías de información se debe a los tiempos que se dan para obtener la atención médica dada en estos centros de salud, a causa de las largas distancias y el tiempo que se toma en recorrer por parte de los pacientes para obtener el servicio médico solicitado, de igual forma, Bazán et al. (2022), afirman que el uso de dichas tecnologías en base a la salud representa un instrumento que optimiza el impacto de inclusiones en las comunidades, asimismo, permite un acceso a dichos servicios médicos de forma equitativa y eficiente dando la oportunidad para la atención y los costos reducidos para dar tratamientos

efectivos a los pacientes. Entonces, las tecnologías de la información posibilitan herramientas para el aumento de la eficacia y eficiencia en la atención médica, lo cual genere una ventaja en la competitividad. Otro aporte también sería el control constante de la información, la reducción del costo para la atención y el tiempo empleado para la espera de los pacientes, todos estos beneficios aumentan el valor en la calidad en referencia a la atención médica. Según Aguaiza et al. (2018), aplicar estas tecnologías respecto al tema de la salud requiere la inclusión del trabajo de múltiples profesionales y actores del negocio para obtener resultados eficientes, asimismo, se necesita del apoyo de distintas disciplinas además de las ciencias de la salud en el que incluyen las disciplinas de la ingeniería, las ciencias económicas, la administración, entre otros, otro motivo por el cual se emplea el uso de las tecnologías indica Saucedo et al. (2021), en el que, entre diversos aspectos por los cuales estas tecnologías aportan, destaca la reducción de errores dados en el registro de datos, establecer una comunicación óptima con todo el equipo del establecimiento y el fácil acceso que el sistema brinda respecto a la información clínica de los pacientes de dicho centro de salud. El presente artículo describe mediante hechos y documentos de distintos autores relacionados al uso de las tecnologías de la información y comunicación en base al sector salud, en ese contexto se planteó la pregunta ¿En qué medida este estudio comparativo determina cual tecnología de información en el sector salud tuvo mayor impacto?, por lo que, el objetivo de este artículo es identificar que tecnología de información y comunicación tuvo un mayor impacto en el sector salud tomando en cuenta que se realizará una comparativa entre diversos sistemas web en el entorno de la salud.

MATERIAL Y MÉTODOS

Hernández-Sampieri y Mendoza Torres (2018), indican que el enfoque cualitativo se basa en el análisis de hechos desarrollados por otros autores quienes obtuvieron resultados en base a una investigación en concreto, por lo que, la presente investigación es de enfoque cualitativo dado que, se realizará una comparación entre cinco investigaciones sobre las tecnologías de información y comunicación basados en el sector salud.

Arias y Corvinos (2021), indican que, el alcance descriptivo es el especificar las características de los objetos de estudio a investigar, asimismo, solo se realizan observaciones al fenómeno de investigación mas no se modifica o altera las variables dentro de dicho fenómeno, por ende, la presente investigación es de alcance descriptivo puesto que, no se va a realizar ningún cambio en los objetos de estudio que son las investigaciones ya completas sobre las TICs basados en el sector salud debido a que, solo se realizará una comparativa entre dichas tecnologías y no se aplicaran cambios en ello.

RESULTADOS

A continuación, se muestra la siguiente comparativa tomando en cuenta la metodología aplicada en la investigación, el año de la investigación, el o los autores, cual fue el objetivo de la investigación, las características del software a desarrollar y quienes tenían acceso a ello, esto se da con el propósito de identificar que tecnología de información y comunicación tuvo un mayor impacto respecto al entorno donde se desarrolló.

Tabla 1.

Cuadro comparativo de cinco TICs enfocados en el sector salud

	Sistema de información hospitalario	Sistema web Gestión de citas médicas	Sistema web para el control de análisis clínicos	Sistema web para la gestión de historias clínicas	Sistema informático para gestión de historias clínicas
Metodología	XP	SCRUM	RUP	XP	SCRUM
Año	2022	2021	2020	2022	2022

Autor(es)	Vargas Rioja Carlos Alberto Arrué Pajares Sebastián Daniel	Herrera Herrera Dennis Martin	Merino Farfán Elvis Hernán	Corilla Miranda Jersson Jorge	Mera Muguerza Augusto Christopher
Objetivo	Implementar un Sistema hospitalario para un centro médico	Mejorar la gestión de citas médicas en el centro de salud Nicrupampa	Determinar la influencia del sistema web en el control de análisis clínicos en el laboratorio del establecimiento de Salud Consuelo de Velasco	Mejorar la gestión de historias clínicas en el consultorio dental de Odontostetic	La mejora de gestión en el registro de historiales clínicos del Centro Asistencial Materno Infantil Pimentel
Características	<ul style="list-style-type: none"> - Administrar archivos y documentos - Facilitar el manejo de la información en base a los servicios médicos que incluye el control de citas médicas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Gestión de citas médicas - Registro, visualización y control de médicos generales o especialistas. - Gestión de pacientes - Gestión de medicamentos. - Se le envía un correo al paciente indicándole sobre la cita médica creada 	<ul style="list-style-type: none"> - gestión de la información general del paciente. - gestión del proceso de pago por servicio. - gestión de los pedidos de análisis. - Control de usuarios. 	<ul style="list-style-type: none"> - Registro de gastos. - Registro de historias clínicas. - Registro de consultas. - Registro de pagos. - Acceso al sistema vía correo electrónico. 	<ul style="list-style-type: none"> - Consulta y registro de atenciones médicas. - Visualización de historias clínicas por atender. - Visualizar receta médica para el despacho de medicamentos.
Accesibilidad	El sistema fue desarrollado para el uso del personal de un centro clínico entre los cuales se encuentran los de recursos humanos, médicos, logística, admisión y Tecnologías de información	El sistema fue creado para uso de los médicos, personal administrativo y pacientes	El sistema fue desarrollado para el uso exclusivo del personal administrativo del laboratorio del establecimiento de salud.	El sistema web fue desarrollado para el uso exclusivo del personal administrativo y médico del consultorio dental.	Sistema desarrollado para el uso del personal administrativo y médico del centro de salud.

Nota: elaboración propia.

Las siguientes investigaciones que se tomaron en cuenta para el desarrollo del presente artículo fueron de Vargas Rioja y Arrué Pajares (2022), Herrera Herrera (2021), Merino Farfán (2020), Corilla Miranda (2022), y Mera Murgueza (2022).

DISCUSIÓN

En este apartado se realiza una comparación de las investigaciones realizadas por distintos autores en base a las métricas planteadas y otros datos a considerar en el que, se encontró lo siguiente.

En el caso de Vargas y Arrué (2022), el proyecto tenía como objetivo implementar un HIS basado en HL7 para un centro de salud de categoría II-I o mayor, el sistema fue implementado para el uso del personal administrativo del centro médico, el sistema está enfocado en mejorar la gestión de información que disponga el centro de salud sobre sus pacientes, como el control de las citas médicas, el sistema fue desarrollado bajo el cumplimiento de los principios heurísticos de Nielsen, mencionan que esto no asegura la facilidad de entendimiento para su uso, no obstante el sistema fue desarrollado con éxito, siendo capaz de ser implementado en centros médicos de rango II-I o superior, no obstante se recomienda el uso de capacitaciones rápidas para que los usuarios destinatarios puedan adaptarse al sistema.

En el caso de Herrera (2021), el proyecto realizado tuvo como propósito la implementación de un sistema web que brindaba a los pacientes cortos tiempos de espera, una atención médica en el menor tiempo posible, asimismo, busca obtener una mayor satisfacción en los pacientes por la buena gestión de las citas médicas en el sistema dado que, el centro de salud donde se desarrolló dicho proyecto menciona sobre los pacientes quienes ingresaban al centro de salud sin orden alguno solicitaban el servicio médico al mismo tiempo generando retrasos y riesgo de salud en los pacientes, por lo que, el autor concluyó luego de la implementación de dicho sistema, mostró mejoras considerables en los procesos de negocio dentro del centro de salud, en el que, los indicadores impuestos en la investigación

marcaron resultados positivos al momento de implementar y poner a prueba la aplicación web.

En el caso de Merino (2020) cuyo objetivo de proyecto fue el de evaluar el rendimiento del control de análisis clínicos en el laboratorio del centro de salud Consuelo de Velasco a través del uso de un sistema web, desarrollado para el uso exclusivo del personal administrativo del laboratorio, el sistema abarca procesos como la gestión de la información general de los pacientes, el proceso de pago por los servicios otorgados y la solicitud de pedidos de análisis y funciones para gestionar los usuarios que tienen acceso al sistema. Si bien los resultados del sistema muestran un índice de mejora en el proceso de recepción de caja, toma de muestras, análisis de laboratorio y entrega de resultados. Esto puede deberse a que anteriormente en el Centro de Salud no contaban con un sistema que les ayudará al control de estos procesos anteriormente, no obstante, se debe elogiar que los resultados de los indicadores de tiempo muestran una mejora notable en comparación a los métodos tradicionales que emplea el Centro de Salud.

Respecto al caso de Corilla (2022), realizó la implementación de un sistema web con el propósito de manejar correctamente la información de los pacientes dentro del centro de salud mejorando los registros de citas y consultas médicas, e historiales clínicos, esto se debió a la falta de un sistema que les ayude con el tema del manejo de los registros de cada paciente, así como la falta de herramientas con la obtención de información sobre los pacientes en el centro de salud para dar el servicio de salud solicitado, asimismo, a causa de estos problemas, la Cirujano Dentista del nosocomio indicó que por la falta de una herramienta que ayude con el manejo de la información de sus pacientes, conllevó a la pérdida de los historiales clínicos o historiales duplicados de pacientes, motivo por el cual se llevó a cabo el desarrollo de dicho sistema en el que, llegó a la conclusión de hubo mejoras respecto a la calidad de atención al paciente en tiempos de espera reducidos, asimismo, en base a los resultados de cada indicador, demostró que hubieron reducciones en los tiempos de registro de citas y consultas médicas de los pacientes al implementar la aplicación web.

En el caso de Mera (2022) El sistema tenía el fin de mejorar la gestión en el registro de historiales clínicos dentro del centro de salud asistencial materno infantil Pimentel. el sistema fue desarrollado para el uso exclusivo del personal administrativo y médico del

Centro de Salud. presenta funciones como la consulta y registro de atenciones médicas, la visualización del historial clínico por atender, esta función destinada para los doctores al momento de atender a un paciente ingresante, y el visualizar las recetas médicas para el despacho de medicamentos, función destinada al procedimiento después de que el paciente haya culminado la cita médica y el doctor le haya recetado los medicamentos a adquirir para su tratamiento. El sistema muestra resultados mayormente a la eficiencia de tiempos enfocado al registro y actualización de historias clínicas, el tiempo empleado para rellenar una cita médica resulta de dos minutos aproximadamente en comparación a los antiguos métodos que demoraban cuatro minutos, y para la actualización de las historias clínicas, como resultado dio que se tomaba diez minutos al personal actualizarlas a través del sistema, lo cual es elogiado en comparación al antiguo método que tomaba más de treinta minutos en actualizar la historia clínica luego de que el paciente haya sido atendido.

Lo que se busca en esta investigación es cuál de las siguientes tecnologías explicadas dentro del artículo tuvo un mayor impacto, por lo que se realizó un análisis en base al propósito y necesidad de dichos trabajos, asimismo, se menciona cual fue la conclusión que estos investigadores llegaron con dichos proyectos, por lo que, en base a una mayor interacción con los pacientes es que la investigación de Herrera (2021), tuvo un mayor impacto dado que, mientras que los otros trabajos realizan un monitoreo o manejo de la información tanto de sus pacientes como de los empleados de dichos centros, esta tecnología además de realizar una gestión de las citas médicas dentro del centro de salud, al momento de crear dicha cita para un respectivo paciente registrado en el sistema, este último se le enviaba por correo la fecha y hora de la cita para mantenerlo al tanto del servicio de salud.

CONCLUSIONES

En síntesis, entre los sistemas seleccionados para la investigación, el sistema web de Herrera (2021), fue el que tuvo un mayor impacto respecto al uso de las TICs para el sector salud dado que esta investigación se enfocó en tener una mayor interacción con el paciente respecto a mantenerlo al tanto de la cita médica solicitada dentro del sistema.

En relación con el sistema, se ha notado todas las herramientas de TIC seleccionadas para esta investigación fueron desarrollados en el entorno web, esto se puede deber a la alta accesibilidad que facilitan este tipo de sistemas, la posibilidad realizar actualizaciones sin que surjan problemas de compatibilidad entre los usuarios, la disponibilidad de acceder al sistema a través de cualquier dispositivo con acceso a un navegador web.

Las métricas planteadas al momento de realizar la comparativa no necesariamente son las más resaltantes en esta investigación dado que, existen varios puntos a detallar dentro de estos sistemas seleccionados que pueden marcar una diferencia en determinar cuál de estas TICs tuvieron un gran impacto respecto al sector salud.

Se detectó que las herramientas estudiadas están limitadas a interactuar directamente con el personal de los centros de salud, mas no con los pacientes, al menos no de forma directa, si bien esto no es malo, no se aprovechan todas las posibilidades de integración de los procesos del sistema y mejorar la interacción entre institución y cliente.

RECOMENDACIONES

Es recomendable realizar una investigación más a detalle con otras tecnologías relacionadas con el sector de salud, puesto que existen TICs con aportes innovadores que posean características o funciones que la tecnología seleccionada no posea en sus requerimientos.

Desarrollar sistemas de entorno web en donde tenga la posibilidad de ser accesibles mediante el uso de un dispositivo móvil, para que así los miembros del personal administrativo puedan acceder al sistema en el instante en donde se tenga la urgencia de hacerlo.

Tomar en cuenta el uso de métricas como la constancia de actualizaciones que recibe el sistema, la disponibilidad de acceso al sistema, bajo que entornos está adaptado y los aportes innovadores que otorga la herramienta desarrollada.

Se recomienda el desarrollar sistemas en donde el paciente también pueda interactuar con el sistema para así tomar un rumbo de la automatización desde un punto más holístico, en donde el centro de salud pueda manejar su información a través del trabajo en la nube y el paciente pueda solicitar la visualización de sus resultados, historia clínica y recetas que requieran de tiempo para ser emitidas y entregadas al paciente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguaiza Tenelema, D. G., Santos Álvarez, M. y García Pena, M. (2018). El rol de las TICs en la reducción de la brecha para el acceso a la salud. *Revista de Ciencias Humanísticas y Sociales*, 3(2), 57-66.
- Arias Gonzáles, J. L. y Covinos Gallardo, M. (2021). *Diseño y metodología de la investigación*. Enfoques CONSULTING EIRL
- Bazán Díaz, L. S., Santa Cruz, L. y Tejada, E. (2022). eHealth and its impact on society as a health tool: A systematic review of the literature between the years 2010-2020. *20th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology*. 18-22 de julio.
- Belvís, R., Santos-Lasaosa, S., Irimia, P., Blanco, R. L., Torres-Ferrús, M., Morollón, N., ... y Ezpeleta, D. (2021). Aplicación de la telemedicina en la asistencia a pacientes con cefaleas: situación actual y recomendaciones del Grupo de Estudio de Cefaleas de la Sociedad Española de Neurología. *Neurología*. <https://doi.org/10.1016/j.nrl.2021.01.018>
- Centeno Francia, E. R. (2022). *Sistema web para la gestión del catastro de la Municipalidad de Lince, 2022*. [Tesis de pregrado]. Repositorio Universidad César Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/103197>
- Corilla Miranda, J. J. (2022). *Desarrollo de un sistema web para mejorar la gestión de historias clínicas en el consultorio dental de Odontostetic, Abancay-Peru 2021*. [Tesis de pregrado]. Repositorio Universidad Tecnológica de los Andes. <https://repositorio.utea.edu.pe/handle/utea/340>
- Espinosa Gonzalez, G. A., Montes Fernández, K. P. y Vidal Toro, M. C. (2021). *Impacto de las tecnologías de la información y la comunicación (tics) en los procesos administrativos en el servicio de urgencia de clinivida y salud ips SAS*. [Tesis de maestría]. Repositorio Universidad de la Guajira.

- Galle, R. y Erben, D. (2021). Las TIC vs. El ciclo de vida de los productos. *Revista del Instituto Internacional de Costos*, (18), 29-43.
- Hernández-Sampieri, R. y Mendoza Torres, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw Hill Interamericana.
- Herrera Herrera, D. M. (2021). *Implementación de un sistema web para la gestión de citas médicas en el Centro de Salud Nicrupampa del distrito de Independencia-Huaraz, 2019*. [Tesis de pregrado]. Repositorio Universidad Privada del Norte. <https://hdl.handle.net/11537/26956>
- Hurtado Monzón, N. (2021). *Sistema web para el proceso de producción en la Corporación Egui SAC*. [Tesis de pregrado]. Repositorio Universidad César Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/70857>
- Martínez, A. F. y Bermúdez, A. A. T. (2019). *Gobierno de las tecnologías de la información*. Universidad del Cauca.
- Membrado, C. G., Barrios, V., Cosín-Sales, J. y Gámez, J. M. (2021). Telemedicina, ética y derecho en tiempos de COVID-19. Una mirada hacia el futuro. *Revista Clínica Española*, 221(7), 408-410.
- Mera Muguersa, A. C. (2022). *Sistema informático para mejorar la gestión de las historias clínicas en el Centro Asistencial Materno Infantil Pimentel*. [Tesis de pregrado]. Repositorio Universidad Tecnológica del Perú. <https://hdl.handle.net/20.500.12867/5287>
- Merino Farfán, E. H. (2020). *Sistema web para el control de los análisis clínicos en el laboratorio del establecimiento de Salud Consuelo de Velasco I4-Piura*. [Tesis de pregrado]. Repositorio Universidad César Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/58983>
- Mollo-Torrico, J. P., Lázaro-Cari, R. R. y Crespo-Albares, R. (2023). Implementación de Nuevas Tecnologías de Información y Comunicación para la Educación Superior: Revisión sistemática. *Revista Ciencia & Sociedad*, 3(1), 16-30.

- Quispe-Juli, C. U. (2021). Consideraciones éticas para la práctica de la telemedicina en el Perú: desafíos en los tiempos de COVID-19. *Revista Cubana de Información en Ciencias de la Salud*, 32(2), 1-22.
- Ramírez Pérez, J. F., López Torres, V. G., Vidal Ledo, M. J., Ramírez Pérez, A. D. R. y Morejón Valdés, M. (2021). Las tecnologías de la información y la comunicación como factor de desempeño competitivo en instituciones de salud. *Revista Cubana de Información en Ciencias de la Salud*, 32(2), 1-30.
- Ramírez, J. F., López, V. G., Ramírez, A. R. y Morejón, M. (2021). Tecnologías de la Información y la Comunicación en Salud: Análisis de Componentes Principales en la evaluación del desempeño competitivo. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 15(30), 22-29.
- Reyes, M. y Quispe, C. (2021) Transformación Digital en la Industria 4.0 una Revisión de la Literatura. *Reserchgate*, 1-15.
- Reluz Tullume, J. L. (2022). *Tecnologías de la información y gestión administrativa en la municipalidad distrital de Illimo - Lambayeque - 2021*. [Tesis de magister]. Repositorio Universidad César Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/85125>
- Saavedra Grandez, S. G. (2021). Intervención de las TICs en redefinición de atención externa en Hospital II-2 Tarapoto en épocas de pandemia Covid 19. *Revista científica de sistemas e informática*, 1(1), 58-68.
- Saucedo, G., Friso, F. y Politi, M. (2021). Implementación y funcionamiento de un sistema de información clínica en una comunidad terapéutica. *Revista Científica de Sistemas e Informática*, 1(1), 5-20.
- Semblantes Quinche, W. D. (2021). *Desarrollo de un sistema web para el proceso de facturación, toma de lectura y consulta de planillas, en la Junta Administradora de agua potable Mollepamba de la parroquia Picaihua*. [Tesis de pregrado]. Repositorio Universidad Técnica de Ambato.
- Uchupe Gonzales, J. N. (2022). *Diseño e implementación de un sistema web para optimizar el proceso de ventas en la Empresa Mepesa SA, Lima-2021*. [Tesis de pregrado]. Repositorio Universidad Peruana de las Américas.

Vargas Rioja, C. A. y Arrué Pajares, S. D. (2020). *Implementación de un Sistema de Información Hospitalario (HIS) interoperable basado en HL7 para un Centro Médico de categoría II-1 o superior*. [Tesis de pregrado]. Repositorio Pontificia Universidad Católica del Perú. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/23141>

8. IMPACTO DE LA EDUCACIÓN EN LA DISMINUCIÓN DE EVENTOS NO DESEADOS EN UNA EMPRESA MINERA⁴⁴

Impact of Education on the Reduction of Undesirable Events in A Mining Company

Wilber Pastor Contreras⁴⁵

Heinz Miguel Chura Cahuana⁴⁶

Anibal Sucari León⁴⁷

Nancy Chambi Condori⁴⁸

Reynaldo Sucari León⁴⁹

Pares evaluadores: Red de Investigación en Educación, Empresa y Sociedad – REDIEES.⁵⁰

⁴⁴ Derivado del proyecto de investigación: Influencia de la capacitación en procedimientos escritos de trabajo seguro en la reducción de incidentes de trabajo en la contrata minera inversiones Dexpromin Alca S.R.L.

⁴⁵ Ingeniero de Minas, Universidad Nacional del Altiplano, M.Sc. Geotecnia y Geomecánica Minera, Universidad Nacional del Altiplano, Docente, Universidad Nacional del Altiplano, wpastor@unap.edu.pe

⁴⁶ Ingeniero de Minas, Universidad Nacional del Altiplano, M.Sc. Geotecnia y Geomecánica Minera, Universidad Nacional del Altiplano, Docente, Universidad Nacional del Altiplano, hm.chura@epg.unap.pe

⁴⁷ Ingeniero de Minas, Universidad Nacional del Altiplano, Maestro en Gestión de la Seguridad, Salud y Medio ambiente en Minería, Universidad Nacional de Huancavelica, Doctor en Ciencia Tecnología y Medio Ambiente, Universidad Nacional del Altiplano, Docente, Universidad Nacional del Altiplano, asucari@unap.edu.pe

⁴⁸ Licenciada en Educación Inicial, Universidad Nacional del Altiplano, Magister y Doctora en Administración de la Educación, Universidad Cesar Vallejo, Docente Universitario, Universidad Nacional del Altiplano, nchambi@unap.edu.pe

⁴⁹ Ingeniero Estadístico e informático, Universidad Nacional del Altiplano, Magister Scientiae en Informática, Universidad Nacional del Altiplano, Doctor en Administración de la Educación, Universidad Cesar Vallejo, Docente Universitario, Universidad Nacional Autónoma de Huanta, rsucari@unah.edu.pe

⁵⁰ Red de Investigación en Educación, Empresa y Sociedad – REDIEES. www.rediees.org

IMPACTO DE LA EDUCACIÓN EN LA DISMINUCIÓN DE EVENTOS NO DESEADOS EN UNA EMPRESA MINERA

*Wilber Pastor Contreras, Heinz Miguel Chura Cahuana, Anibal Sucari León, Nancy
Chambi Condori, Reynaldo Sucari León*

RESUMEN

La investigación se desarrolló en una empresa minera del Perú, ya que se reportaron constantemente eventos no deseados como: accidentes e incidentes de trabajo, según el análisis de los eventos no deseados, se evidencia que los trabajadores desconocen sobre los procedimientos escritos de trabajo seguro. La finalidad fue determinar el impacto de la educación en la disminución de eventos no deseados en una empresa minera. Siguiendo la metodología de un enfoque cuantitativo, tipo experimental con diseño cuasi experimental ya que se realizaron un pre test y un pos test en el grupo experimental, donde se realizó manipulación de la variable independiente. El principal resultado que se encontró fue que la educación genera un impacto positivo en la disminución de los eventos no deseados en incidentes de trabajo de 22 a 9, respecto a los accidentes leves de 4 a 2 y en accidentes incapacitantes de 3 a 1. Llegando a la conclusión de que la educación adicional en procedimientos escritos de trabajo seguro que se aplicó al grupo experimental logra una disminución del 60 % de incidentes, 50 % en accidentes leves y 66.66 % en accidentes incapacitantes, esto significa que el personal con más horas de educación tiene menor posibilidad de accidentarse en minería.

Palabras Clave: accidente; educación; impacto; incidente; minería; procedimientos.

ABSTRACT

The research was developed in a mining company in Peru, since undesirable events such as accidents and work incidents were constantly reported, according to the analysis of undesirable events, it is evident that workers are unaware of the written procedures for safe work. The purpose was to determine the impact of education on the reduction of undesirable events in a mining company. Following the methodology of a quantitative approach, experimental type with quasi-experimental design since a pre-test and a post-test were carried out in the experimental group, where the independent variable was manipulated. The main result found was that education has a positive impact on the decrease of undesired events in work incidents from 22 to 9, in minor accidents from 4 to 2 and in disabling accidents from 3 to 1. The conclusion was that the additional education in written safe work procedures applied to the experimental group achieved a decrease of 60% in incidents, 50% in minor accidents and 66.66% in disabling accidents, which means that personnel with more hours of education have less chance of accidents in mining.

Keywords: accident; education; impact; incident; mining; procedures.

INTRODUCCIÓN

La educación es importante para todas las áreas de una organización ya que fortaleza habilidades y conocimientos en los trabajadores y les permite estar siempre alerta a las situaciones de peligro y mantenerlas controladas evitando accidentes que pueda causarles grandes pérdidas a la compañía por incapacidades de los trabajadores (Guerra, 2019). Así mismo la educación es muy importante en una organización, para que sea competitiva en el mercado laboral, por lo existe la necesidad de la capacitación permanente ya sea a los empleados y empleadores (Fleitman, 2013). Por otra parte las capacitaciones son actividades que se considera en un plan anual de una empresa según a los requerimientos de la organización, con la finalidad de generar un cambio respecto a los conocimientos, actitudes, habilidades de los miembros de la empresa (Siliceo, 2004).

La formación a largo plazo se convierte en un factor que incrementa directamente al desarrollo de una empresa, ya que proporciona las herramientas básicas en términos de calidad, innovación, rendimiento y competitividad en el proceso que conduce al desarrollo de un producto o la prestación de un servicio. Si bien ejecutar un programa de capacitación requiere de un presupuesto, lo que en muchos casos crea un desequilibrio en las finanzas de la organización, es necesario estar atento al mercado o segmento elegido, ya que es la única forma de satisfacer las necesidades del cliente (Jamaica, 2015).

En la investigación los trabajadores manifiestan en un 31.3 % que el entrenamiento y capacitación es deficiente, malo y regular, por otra parte, el 68.7 % afirman que es óptimo y bueno, respecto a la evaluación de las competencias el 37.5 % de trabajadores consideran como regular, malo y deficiente, sin embargo el 62.6% afirman que es óptimo y bueno (Espinoza, 2020). Sin embargo la capacitación de los trabajadores en una organización permitió la reducción de los niveles de riesgo en las diferentes actividades de interior mina en un 73.72 % realizando la comparación de marzo del 2019 a diciembre del 2018, así mismo el plan de capacitación tiene efecto en poder determinar los niveles de riesgo en seguridad industrial (Kupa, 2019).

La capacitación de los trabajadores influyó directamente en el desempeño en el área de la gerencia mina, la conducta de los empleados fue afectado por una motivación externa ya que si se mejora el nivel comportamental tendría efecto en el desempeño (Sana, 2018).

Alentar a los profesionales de la industria a investigar sobre la prevención de riesgos a través de aspectos preventivos, incluida la capacitación continua sobre los riesgos existentes y potenciales, así como medidas preventivas como las evaluaciones médicas pre ocupacionales, anuales, así mismo las inspecciones técnicas y la utilización de los equipos de protección personal (Ruíz y Gallegos, 2018).

La seguridad y salud ocupacional es un tema que debe ser evaluados con frecuencia que se encuentre en la legislación nacional, la empresa de servicios no genera impacto en el medio ambiente de manera significativa ya que administra los recursos de manera óptima (Marquéz, 2017). Los incidentes y accidentes perjudicaron a la organización en los años 2015 y 2016, la ausencia de la capacitación resaltó en los reportes de incidentes, evidenciando la necesidad de conocer los peligros existentes en las actividades, con la finalidad de evitar y prevenir los incidentes se implementa un plan de capacitación para los diferentes áreas de la organización (Capcha, 2017).

Los resultados de la capacitación a corto plazo se evidencian en la empresa, motivo por el cuál la capacitación debe ser permanente, la investigación que se desarrolló en la empresa muestra la efectividad de las capacitaciones, orientadas a la reducción de los costos inmediatamente seguida de la ejecución de la capacitación durante los dos meses, motivo por el cual es importante que se ejecuten con una periodicidad de 60 días con el objetivo de mantener los indicadores de seguridad y fomentar la educación de los empleados (Bohórquez et al., 2016).

El aprendizaje permanente es importante con la finalidad de disminuir los eventos no deseados como accidentes laborales, la economía no debería ser excusa en la suspensión de las capacitaciones, evitar las sanciones e implementar planes de mejora para un aprendizaje global de la organización, así eliminar el desconocimiento a través de la capacitación constante y sistemática (Luengo et al., 2016).

La eficiencia respecto al desempeño de los trabajadores dependió significativamente gracias a la capacitación del programa de operadores de equipos pesados, generando un incremento en su nivel de rendimiento y conocimiento (Espinoza y Izquierdo, 2015). Por otra parte antes de generar el plan de emergencia, se precisó las áreas que presentan un riesgo alto como: grifos, almacén general, dispensador interior mina, actividades de interior mina, polvorines, talleres de mantenimiento (Veletto, 2013).

La capacitación debe tener un enfoque con estrategias de retroalimentación constante durante la preparación de los trabajadores, por otra parte el programa de capacitación debe contener temas de la actualidad, cambios de la organización, tecnología e innovación, con la finalidad de facilitar las necesidades técnicas según al puesto de cada trabajador mejorando la cultura de seguridad en la organización (Perez et al., 2011). Cabe mencionar que la ausencia de la capacitación en los trabajadores se considera como la causa principal que generan accidentes, el 92 % de los accidentes muestran como su causa principal el desconocimiento de políticas, procedimientos y técnicas, el 8 % por fue por diversas causas en los análisis de accidentabilidad en el año 2008 (Olguín et al., 2009).

La capacitación de los trabajadores, forma una temática principal que no debe ser descuidado los que encaminen las empresas (Xie et al., 2008). El uso de programas de capacitación internos empodera al personal de la empresa y les brinda las herramientas necesarias para capacitar a otros miembros de la organización. En este sentido, en primer lugar, se debe recalcar que la formación de personas es una actividad que no debe limitarse a un horario específico previsto para ello, sino que las empresas deben tener en cuenta que las personas que allí trabajan deben sentirse y ser parte de la cultura en todo momento, con el apoyo constante del medio ambiente, cada día es una oportunidad para una nueva conciencia, comprensión y aprendizaje, teniendo en cuenta los diversos beneficios para la empresa y sus empleados (Diez y Abreu, 2005).

El objetivo principal fue determinar el impacto de la educación adicional en la disminución de eventos no deseados en una empresa minera del Perú. Así mismo se propuso objetivos específicos: conocer la tendencia de los incidentes laborales reportados durante el año 2020 en la empresa minera, analizar el nivel de conocimiento en los trabajadores frente a los Procedimientos Escritos de Trabajo Seguro en la empresa minera, analizar la tendencia

de los incidentes laborales del año 2021 después de aplicar la educación adicional en Procedimientos Escritos de Trabajo Seguro en la empresa minera del Perú.

MATERIAL Y MÉTODOS

El trabajo se ejecutó en la Minera Yanaquihua S.A.C. que se ubicada en la región de Arequipa, provincia de Condesuyos y distrito de Yanaquihua, aproximadamente entre una altitud de 2000 a 2700 m.s.n.m.

El trabajo de investigación presenta un enfoque cuantitativo, tipo de investigación experimental y un diseño cuasi experimental longitudinal-comparativo.

GE: X(pre-test) ----- (C-extra) ----- X (post-test)

GC: Y(pre-test) ----- normal ----- Y(post-test)

La técnica utilizada fue la prueba mediante cuestionarios y los instrumentos que se utilizaron fue de tipo escritas, preguntas sobre el Procedimientos Escritos de Trabajo Seguro. Los datos fueron almacenados y procesados en el Excel, posteriormente se utilizó el software estadístico SPSS v. 25 aplicando la prueba “t” de student diferencia de medias con una significancia de 95% con la finalidad de validar los resultados.

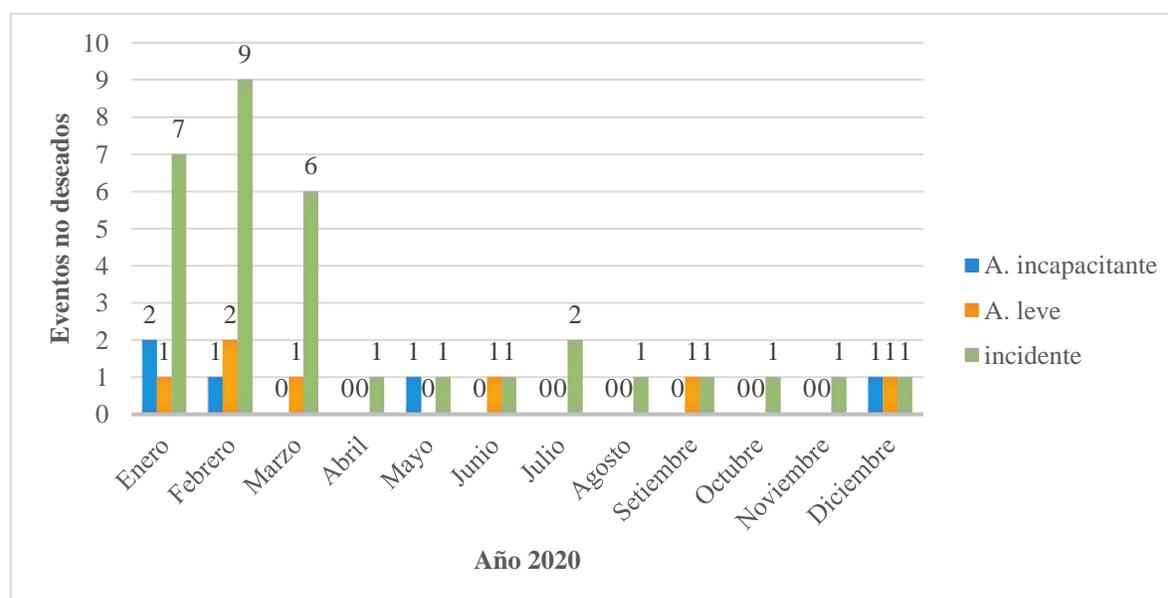
La población de estudio fue 150 trabajadores considerando las tres guardias A, B y C. La muestra fue de 50 trabajadores en el grupo experimental (guardia A) y 50 trabajadores en el grupo control (guardia B). El tipo de muestreo fue probabilístico ya que las tres guardias tienen la misma probabilidad de ser el grupo experimental, así mismo los grupos están formados con anterioridad con sus respectivas cantidades de trabajadores designados.

RESULTADOS

Respecto al conocimiento de la tendencia de los incidentes laborales reportados durante el año 2020 en la empresa minera, podemos evidenciar el reporte de los eventos no deseados en la figura 1.

Figura 1

Eventos no deseados trimestralmente - 2020



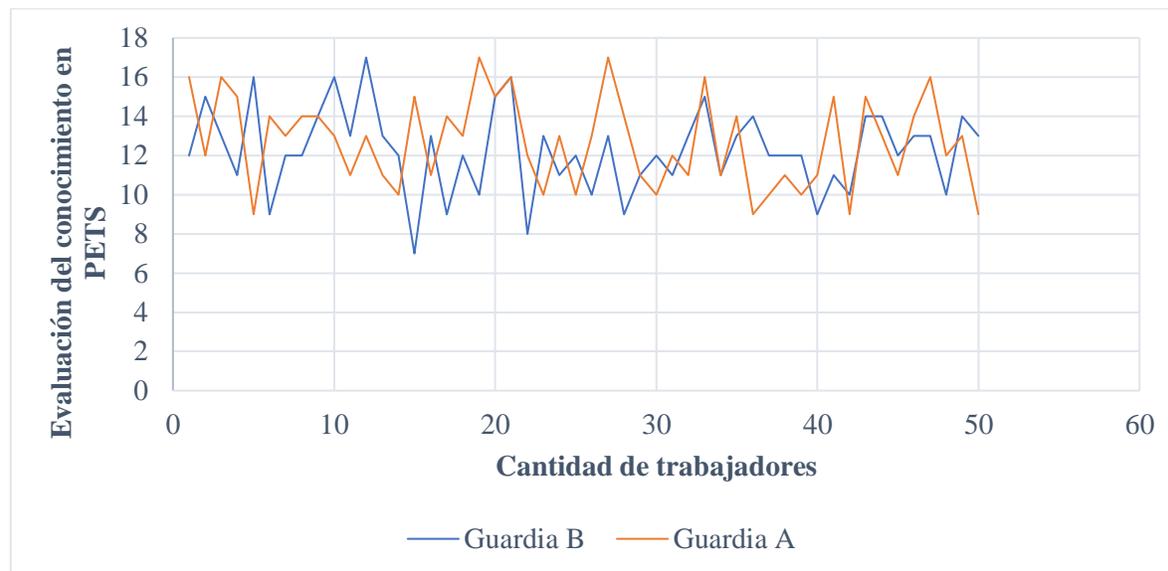
Nota: elaboración propia.

En la figura 1, se observa en los tres primeros meses la mayor cantidad de eventos no deseados reportados incidentes igual a 22, accidentes leves igual a 4 y accidentes incapacitantes igual a 3, el resto de los meses se evidencia una disminución justamente debido a que se produjo una reducción de mano de obra por el problema mundial de la COVID 19.

En el análisis del nivel de conocimiento en los trabajadores frente a los Procedimientos Escritos de Trabajo Seguro en la empresa minera. Donde se le aplicó una prueba escrita al grupo control y al grupo experimental en base a una calificación de 0 a 20 puntos.

Figura 2

Conocimiento en PETS grupo control y experimental enero de 2021



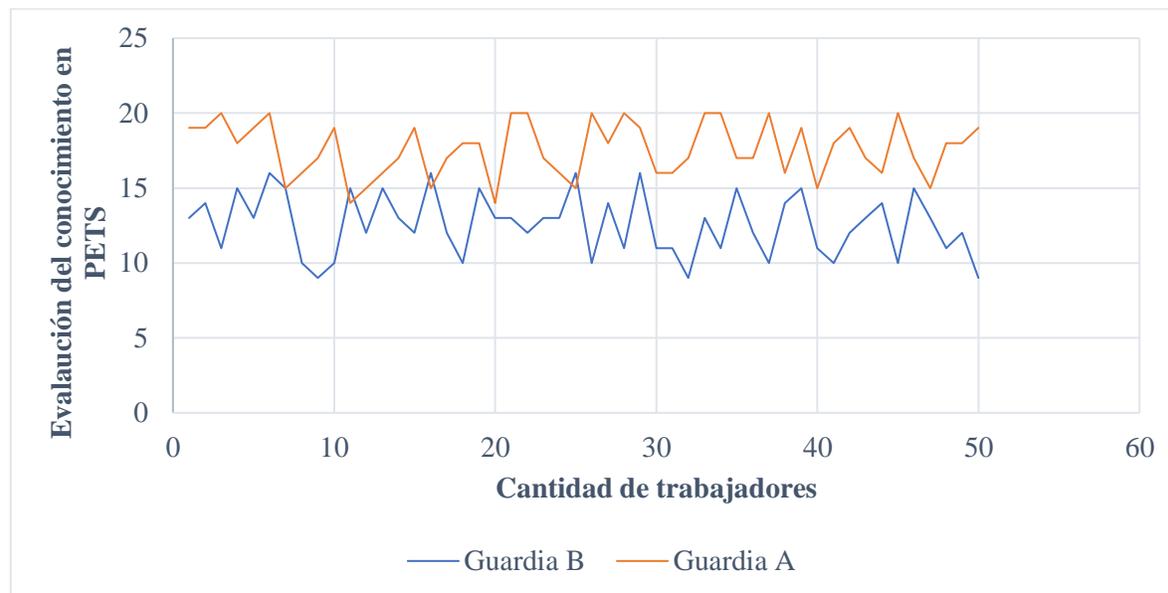
Nota: elaboración propia.

La figura 2 evidencia el nivel de conocimiento de los Procedimientos Escritos de Trabajo Seguro, encontrándose las calificaciones del examen en un intervalo de 07 a 17, ya sea el grupo control y el grupo experimental, dicho examen fue realizado en el primer mes del año 2021.

Posterior a dicha evaluación se inició con la educación adicional al grupo experimental, guardia “A” educación adicional en Procedimientos Escritos de Trabajo Seguro durante 3 meses.

Figura 3

Conocimientos en PETS grupos control y grupo experimental abril del 2021



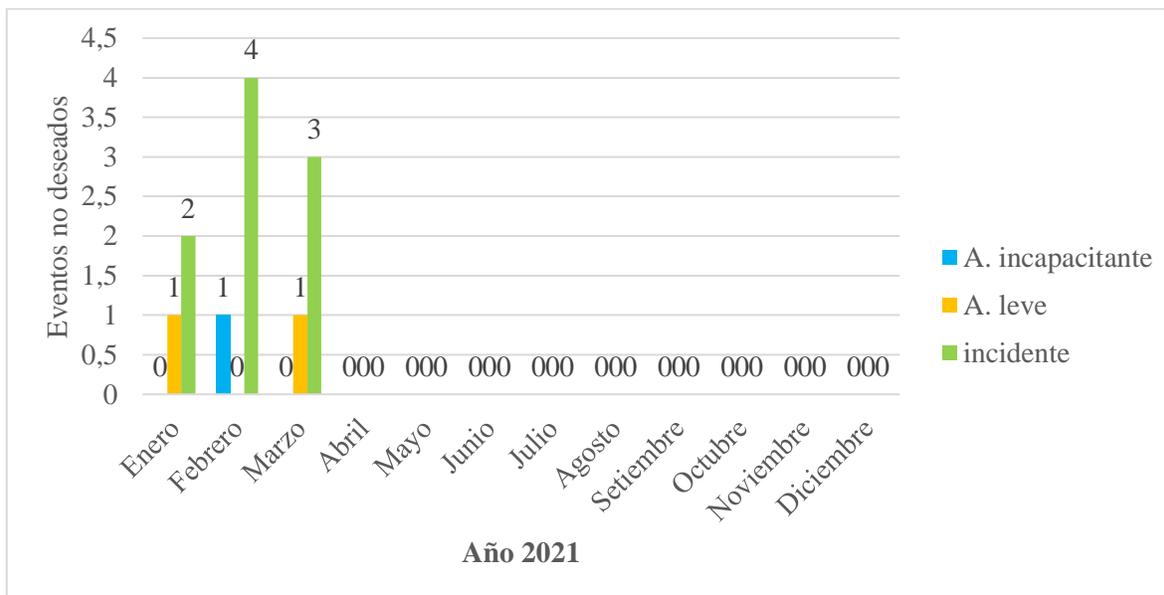
Nota: elaboración propia.

La figura 3 evidencia el nivel de conocimiento después de aplicar la educación adicional en Procedimientos Escritos de Trabajo Seguro al grupo experimental y se observa un incremento en sus calificaciones respecto al grupo control, el examen fue ejecutado a inicios del segundo trimestre del año 2021. Las calificaciones del grupo experimental guardia “A” se encuentran en un intervalo de 14 a 20 puntos, respecto a las calificaciones del grupo control guardia “B” se encuentran en un intervalo de 9 a 16 puntos.

Al realizar el análisis de la tendencia de los incidentes laborales del primer trimestre del 2021 después de aplicar la educación adicional en Procedimientos Escritos de Trabajo Seguro al grupo experimental guardia “A” en la empresa minera del Perú como se muestra en la figura 4.

Figura 4

Eventos no deseados primer trimestres - 2021



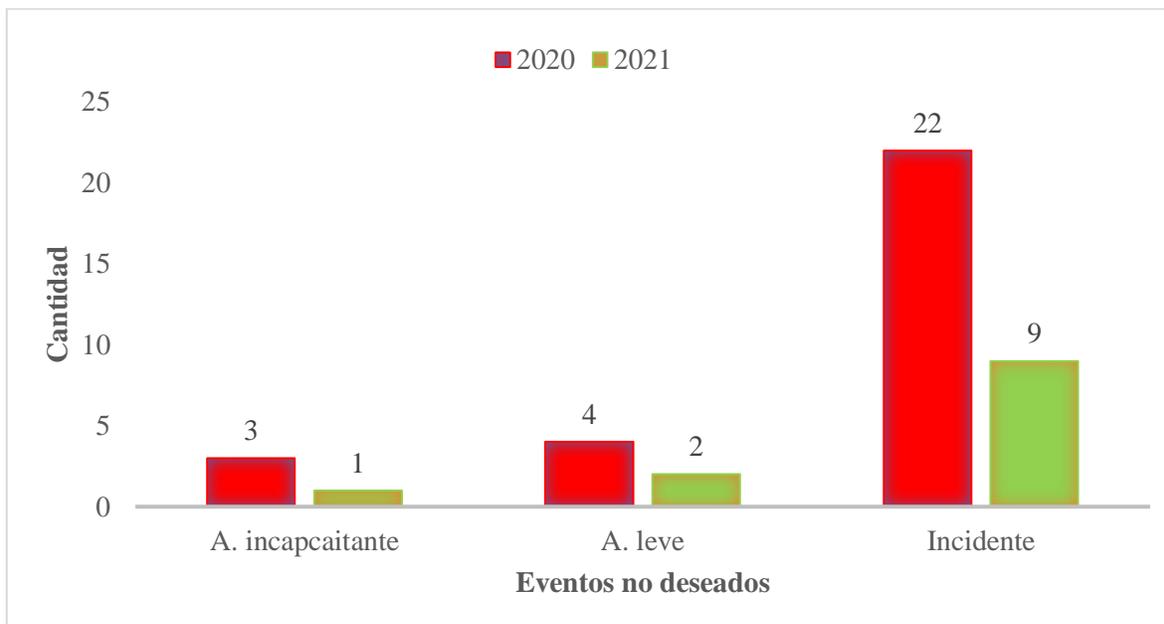
Nota: elaboración propia.

En la figura 4 podemos observar la cantidad de eventos no deseados que ocurrió en los primeros tres meses del año 2021, el más relevante fue en el mes de febrero que suman un total de 5 eventos no deseados entre incidente y accidente incapacitante. Se evidencia que la educación adicional que se le aplicó al grupo experimental tiene un impacto positivo ya que existe una reducción respecto al reporte de los tres primeros meses del año 2020.

Los resultados en la determinación del impacto de la educación adicional en Procedimientos Escritos de Trabajo Seguro en la disminución de eventos no deseados en una empresa minera del Perú, se pueden visualizar en la figura 5.

Figura 5

Impacto de la educación adicional en PETS frente a eventos no deseados



Nota: elaboración propia.

En la figura 5 observamos el impacto de la educación adicional en PETS frente a eventos no deseados, el primer impacto visible es la disminución de incidentes laborales de 22 a 9, accidentes leves de 4 a 2 y en accidentes incapacitantes de 3 a 1, realizando la comparación entre los primeros trimestres del año 2020 y 2021.

La educación adicional en los Procedimientos Escritos de Trabajo Seguro en el grupo experimental en la guardia “A” tiene un impacto positivo en la reducción de eventos no deseados como incidentes, accidentes leves y accidentes incapacitantes, por otra parte, se evidencia un incremento en el conocimiento de PETS por parte del grupo experimental.

DISCUSIÓN

Los resultados evidencian que los eventos no deseados en los tres primeros meses del año 2020 presentan (22) incidentes laborales, (4) accidentes leves y (3) accidentes

incapacitantes en la empresa minera. De forma similar (Marquez, 2017) manifiesta que la seguridad y salud ocupacional se deben analizar con una frecuencia dentro de la normativa legal. Del mismo modo (Veletto, 2013) señaló que se identificaron áreas críticas o de mayor vulnerabilidad para la implementación de planes de contingencia, tales como: almacenamiento general y auxiliar en mina, grifos de llenado y dispensadores en mina, ingeniería y operaciones subterráneas de mina, protección del almacén principal, polvorines auxiliares y taller de mantenimiento de equipos.

Al determinar el diagnóstico de conocimiento se evaluó sobre los Procedimientos Escritos de Trabajo Seguro, lográndose la calificación global “B” en proceso ya que los trabajadores del grupo experimental guardia A logró un calificativo de 12,68 puntos y el grupo control guardia B logró un calificativo de 12,24 puntos.

Los resultados de la educación adicional en Procedimientos Escritos de Trabajo Seguro que se le aplicó al grupo experimental guardia A, en la evaluación logró una calificación promedio de “AD” destacado con 17,60 puntos de un rango de 0 a 20, debido a que se aplicó una capacitación de 30 min/día a inicios de la jornada laboral. De forma similar (Perez et al., 2011) señala que es importante de un plan estratégico, con una retroalimentación permanente en los procesos de capacitación y selección de personal, con la finalidad de comprender los requisitos técnicos de cada ocupación de trabajo y el reentrenamiento del personal seleccionado, para así mejorar la cultura organizacional.

Los resultados evidencian una disminución de los eventos no deseados ya sea en accidentes incapacitantes de 3 a 1, accidentes leves de 4 a 2, incidentes de trabajo de 22 a 9 notándose un impacto positivo que genera la educación adicional en los Procedimientos Escritos de Trabajo Seguro. Así mismo (Kupa, 2019) concluyó que la capacitación permitió disminuir los niveles de riesgo en las diferentes actividades de una empresa minera subterránea en 73.72% durante el tercer mes del 2019 realizando una comparación con el último mes del 2018, cabe recalcar que la capacitación influye de manera positiva en la determinación de los niveles de riesgo de seguridad. Un caso similar (Espinoza y Izquierdo, 2015) afirman que se encontró mejoras en el rendimiento y conocimiento de los operadores de equipos pesados de línea amarilla excavadoras lo cual dependió exclusivamente de la capacitación.

CONCLUSIONES

Se logró determinar el impacto de la educación adicional en Procedimientos Escritos de Trabajo Seguro en la disminución de los eventos no deseados en una empresa minera, se logró demostrar el impacto positivo en la disminución de accidentes incapacitantes de 3 a 1, accidentes leves de 4 a 2 e incidentes de laborales de 22 a 9, debido a que el grupo experimental tiene más horas de capacitación en los Procedimientos Escritos de Trabajo Seguro.

Los eventos no deseados que se reportaron durante el 2020, presentan una tendencia de disminución de incidentes y accidentes de trabajo, ya que de enero a marzo del 2020 se reportaron eventos no deseados 3 accidentes incapacitantes, 4 leves y 22 incidentes laborales, posterior a estos eventos se declara la inmovilización social debido a la pandemia mundial del COVID 19, existió disminución de la cantidad de trabajadores en la empresa minera por lo tanto disminuye los eventos no deseados.

En el pre test que se realizó en el mes de enero del 2021, el nivel de conocimiento en Procedimientos Escritos de Trabajo Seguro ya sea en el grupo control y experimental no existe diferencia significativa, sin embargo, después de aplicar la educación adicional al grupo experimental en Procedimientos Escritos de Trabajo Seguro, se encuentra una diferencia significativa en la evaluación de conocimientos de los PETS entre el grupo control y experimental.

La tendencia de los eventos no deseados reportados en el 2021 después de aplicar la educación adicional en Procedimientos Escritos de Trabajo Seguro, se evidencia una disminución entre los tres primeros meses del año 2021 respecto al 2020 como se muestra en la comparación de: incidentes de 22 a 9, accidentes leves de 3 a 2 y accidentes incapacitantes de 3 a 1 evento no deseado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bohórquez Arévalo, L. E., Caro Ballestas, A. S. y Morales, N. D. (2016). Impact of Training Employees on Enterprise Productivity. *Dimensión Empresarial*, 15(1). <https://doi.org/10.15665/rde.v15i1.868>
- Capcha Aila, J. C. L. (2017). *Capacitación de personal y su influencia en el nivel de accidentes e incidentes de la empresa Molmar S.A. en el 2016*. [Tesis de maestría]. Repositorio Universidad Privada Telesup. <https://repositorio.utelesup.edu.pe/handle/UTELESUP/1452>
- Diez, J. y Abreu, J. L. (2005). Impacto de la capacitación interna en la productividad y estandarización de procesos productivos: un estudio de caso. *International Journal of Good Conscience*, 4(2), 97-144. <http://cies.org.pe/files/documents/investigaciones/empleo/por-que-las-empresas-no-inviertenmas-en-capacitacion-en-el-peru.pdf>
- Espinoza-Agüero, J. F. (2020). *Capacitación y entrenamiento en simulador camión y las competencias de los colaboradores de la Compañía Minera Miski Mayo, Sechura 2019*. [Tesis de maestría]. Repositorio Universidad César Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/48247>.
- Espinoza-Sánchez, H. T. y Izquierdo-Acosta, Á. E. (2015). *Propuesta de un programa de capacitación para optimizar rendimientos en operadores de excavadora, tajo la Quinua - minera Yanacocha - mayo 2015*. [Tesis de maestría]. Repositorio Universidad Privada del Norte. <https://hdl.handle.net/11537/7099>
- Fleitman, J. (2013). *Importancia de la capacitación para la competitividad*. 11. CIEMSA. <https://ciemsa.mx/assets/importancia-de-la-capacitación-para-la-competitividad.pdf>
- Guerra Molina, S. C. (2019). Diseño de un plan de capacitación en seguridad y salud en el trabajo para minimizar accidentes de trabajo en la empresa Starpark e la ciudad de Bogota [Corporación Universitaria UNITEC]. *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951-952. <https://hdl.handle.net/20.500.12962/912>

- Jamaica, F. (2015). Los beneficios de la capacitación y el desarrollo del personal de las pequeñas empresas. *Revista Universitaria*, 18. <http://hdl.handle.net/10654/7168>
- Kupa-Luque, R. J. (2019). *Diseño de un plan de capacitación de seguridad para reducir niveles de riesgo de accidentes en mediana minería*. [Tesis de pregrado]. Repositorio Universidad San Ignacio de Loyola. <https://hdl.handle.net/20.500.14005/8999>
- Luengo, C., Paravic, T. y Valenzuela, S. (2016). Causas de subnotificación de accidentes de trabajo y eventos adversos en Chile. *Revista Panamericana de Salud Publica/Pan American Journal of Public Health*, 39(2), 86-92. <https://www.scielosp.org/article/rpsp/2016.v39n2/86-92/es/>
- Marquez-Torres, C. antonio. (2017). *Plan de negocios para la creación de un centro de capacitación en el rubro minero - industrial Arequipa 2017*. [Tesis de pregrado]. Repositorio Universidad Católica de Santa María. <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/6452>
- Olguín Murrieta, J. A., Guerrero Rodriguez, J. de J. y Chávez Melendez, J. (2009). La relación entre la capacitación del personal, la ocurrencia de accidentes de trabajo y la competitividad en puertos Mexicanos. *Red Internacional de Investigadores En Competitividad*, 4(1), 2100-2119. <https://riico.net/index.php/riico/article/view/837/505>
- Perez, G., Pineda, U. y Arango, M. (2011). La capacitación a través de algunas teorías de aprendizaje y su influencia en la gestión de la empresa. *Revista Virtual Universidad Católica Del Norte*, (33), 1-22. <https://www.redalyc.org/pdf/1942/194218961006.pdf>.
- Ruíz Vargas, N. V. y Gallegos Torres, R. M. (2018). Risk factors associated with occupational accidents in manufacturing industry. *Horiz. Enferm*, 29(1), 42-55. <http://ojs.uc.cl/index.php/RHE/article/view/12860/11456%0Ahttp://fi-admin.bvsalud.org/document/view/mbxp3>
- Sana-Ayta, M. V. (2018). *Influencia de la inducción de la gerencia de recursos humanos en el desempeño laboral de los empleados de la gerencia mina - compañía minera Antapacay, Cusco 2018*. [Tesis de pregrado]. Repositorio Universidad Nacional de

- San Agustín de Arequipa. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/6225>
- Siliceo-Aguilar, A. (2004). *Capacitación y desarrollo de personal*. (4ª ed.). S. A. Editorial Limusa
- Veletto-Morello, D. H. (2013). *Implementación del plan de emergencia en minería subterránea E.E. IESA -Mina Huarón*. [Tesis de pregrado]. Repositorio Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/3944>
- Xie-Qian, P., Zhou-Li, A. y Yizhou-Zhou, J. (2008). *Modelo de Formación y Desarrollo a Implementar en las Universidades*. <https://www.eumed.net/libros-gratis/2008b/406/406.pdf>

9. INGENIERÍA FUNCIONAL Y APRENDIZAJE PROFUNDO EN BIOINFORMÁTICA PARA LA PREDICCIÓN DE ESTRUCTURAS DE PROTEÍNAS⁵¹

Functional Engineering and Deep Learning in Bioinformatics for the Prediction of Protein Structures

Jordan Piero Borda Colque⁵²

Fred Torres-Cruz⁵³

Leonel Coyla Idme⁵⁴

Juan Kenyhy Hancoo Quispe⁵⁵

Hugo Ticona Salluca⁵⁶

Pares evaluadores: Red de Investigación en Educación, Empresa y Sociedad – REDIEES.⁵⁷

⁵¹ Derivado del proyecto de investigación: Ingeniería Funcional y Aprendizaje Profundo en Bioinformática para la predicción de estructuras de proteínas.

⁵² Instituto de Investigación en Inteligencia Computacional y Ciencia de Datos, Departamento Académico de Ingeniería Estadística e Informática, Universidad Nacional del Altiplano de Puno, P.O. Box 291, Puno-Perú, <https://orcid.org/0000-0001-8488-1658>, jordanpieroborda@gmail.com

⁵³ Instituto de Investigación en Inteligencia Computacional y Ciencia de Datos, Departamento Académico de Ingeniería Estadística e Informática, Universidad Nacional del Altiplano de Puno, P.O. Box 291, Puno-Perú, <https://orcid.org/0000-0003-0834-6834>, ftorres@unap.edu.pe

⁵⁴ Instituto de Investigación en Inteligencia Computacional y Ciencia de Datos, Departamento Académico de Ingeniería Estadística e Informática, Universidad Nacional del Altiplano de Puno, P.O. Box 291, Puno-Perú, <https://orcid.org/0000-0003-3538-1061>, lcoyla@unap.edu.pe

⁵⁵ Instituto de Investigación en Inteligencia Computacional y Ciencia de Datos, Departamento Académico de Ingeniería Estadística e Informática, Universidad Nacional del Altiplano de Puno, P.O. Box 291, Puno-Perú, <https://orcid.org/0000-0002-2125-0530>, jkenyhqh@gmail.com

⁵⁶ Instituto de Investigación en Inteligencia Computacional y Ciencia de Datos, Departamento Académico de Ingeniería Estadística e Informática, Universidad Nacional del Altiplano de Puno, P.O. Box 291, Puno-Perú, <https://orcid.org/0000-0002-3800-8433>, hts.ez.v@gmail.com

⁵⁷ Red de Investigación en Educación, Empresa y Sociedad – REDIEES. www.rediees.org

INGENIERÍA FUNCIONAL Y APRENDIZAJE PROFUNDO EN BIOINFORMÁTICA PARA LA PREDICCIÓN DE ESTRUCTURAS DE PROTEÍNAS

*Jordan Piero Borda Colque, Fred Torres-Cruz, Leonel Coyla Idme, Juan Kenyhy Hancoco
Quispe, Hugo Ticona Salluca*

RESUMEN

La predicción de la estructura terciaria de proteínas es un desafío altamente complejo y de larga data en el campo de la bioinformática estructural. Los métodos tradicionales de predicción de estructuras se basan en la descomposición del proceso en múltiples subproblemas más manejables, que incluyen la predicción de estructuras locales, la estimación de mapas de contactos, el ensamblaje de fragmentos, el refinamiento y la evaluación de la calidad. En los últimos años, se han incorporado técnicas de aprendizaje profundo para mejorar la precisión en la predicción de estructuras de proteínas. Estas técnicas han demostrado ser particularmente exitosas en la resolución de subproblemas como la estimación de mapas de contactos y estructuras secundarias. La calidad de los mapas de contacto predichos, así como sus variantes, como los mapas de distancia y de orientación, ha mejorado significativamente el rendimiento en la predicción de estructuras terciarias. En la última competencia CASP, se presentaron modelos de redes neuronales profundas de extremo a extremo que mejoraron significativamente la calidad de las estructuras predichas, lo que indica que las técnicas de aprendizaje profundo son una herramienta prometedora para abordar este problema complejo. En este capítulo, se describe el progreso reciente en el desarrollo y aplicaciones de técnicas de aprendizaje profundo para la predicción de estructuras de proteínas, y se discuten posibles razones de su efectividad.

Palabras Clave: bioinformática; aprendizaje profundo; mapas de contacto; estructuras secundarias; estructuras terciarias; redes neuronales profundas.

ABSTRACT

Tertiary structure prediction of proteins is an arduous and long-standing challenge that has posed a major obstacle in the field of structural bioinformatics for many years. The conventional methods for predicting protein structures tend to break down the process into multiple, more manageable subproblems, such as the prediction of local structures, the estimation of contact maps, the assembly of fragments, the refinement of predicted structures, and the assessment of quality. In recent years, deep learning techniques have been integrated into the protein structure prediction pipeline to enhance its accuracy, and have proven to be particularly effective in resolving subproblems related to the estimation of contact maps and secondary structures. The quality of predicted contact maps, along with their various forms such as distance and orientation maps, has greatly improved the performance of the tertiary structure prediction process. Notably, end-to-end deep neural network models presented at the most recent CASP competition have made significant strides in enhancing the quality of predicted structures, highlighting the tremendous potential of deep learning techniques as a powerful tool to tackle this complex problem. This chapter aims to present the recent progress in the development and application of deep learning techniques for protein structure prediction, and to examine potential reasons for their remarkable effectiveness.

Keywords: bioinformatics, deep learning, contact maps, secondary structures, tertiary structures; deep neural networks.

INTRODUCCIÓN

Las proteínas son macromoléculas biológicas cruciales, compuestas por una o varias cadenas polipeptídicas que se pliegan en diversas estructuras tridimensionales en el espacio. Dado que las estructuras de las proteínas tienen un gran impacto en sus funciones y en sus interacciones con otras moléculas, se han diseñado y empleado diversos métodos experimentales para resolver sus estructuras, tales como la cristalografía de rayos X, la espectroscopia de resonancia magnética nuclear (RMN) y la microscopía crioelectrónica (crio-EM). No obstante, estos métodos suelen resultar costosos, lentos y laboriosos.

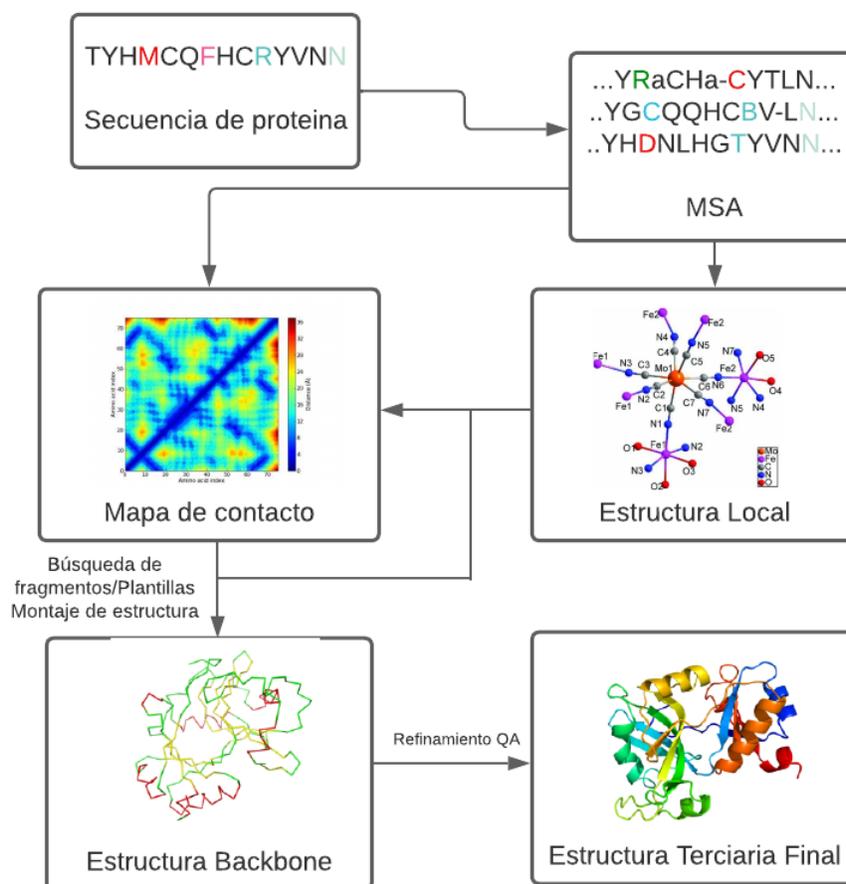
La determinación computacional de la estructura de la proteína, también conocida como predicción de la estructura terciaria de proteínas, proporciona información de bajo costo que complementa y respalda estos esfuerzos experimentales. El objetivo principal de la predicción de la estructura terciaria de proteínas es derivar las coordenadas tridimensionales de cada átomo pesado de una proteína dada a partir de su secuencia de aminoácidos. Su fundamento teórico se basa en la hipótesis termodinámica de que la estructura nativa de una proteína se puede determinar por su secuencia de aminoácidos en el entorno fisiológico estándar (Anfinsen, 1973). Aunque algunas proteínas muestran cambios en su plegamiento (Porter, 2018; Pauwels, 2007) y algunas se consideran intrínsecamente desordenadas (Oldfield, 2019; Lietaud, 2016), se podría afirmar que la mayoría de las proteínas siguen el paradigma anterior.

Durante décadas, se han realizado múltiples esfuerzos para predecir la estructura de las proteínas. La mayoría de los enfoques se pueden clasificar en dos tipos: el modelado basado en plantillas (TBM, por sus siglas en inglés) y el modelado libre (FM, por sus siglas en inglés) (Zhang, 2008). El TBM requiere de la proteína consultada que tenga proteínas homólogas con estructuras conocidas. El FM, también conocido como modelado ab initio, no requiere plantillas con estructuras muy similares. Conforme se proponen más algoritmos híbridos que combinan los dos tipos de enfoques de modelado, el límite entre TBM y FM se vuelve borroso (Yang, 2015; Pearce, 2021). El procedimiento adoptado por muchos enfoques para la predicción de la estructura de la proteína generalmente consta de varios módulos,

como la predicción de la estructura local, la predicción del mapa de contactos, el ensamblaje de fragmentos, el refinamiento y la evaluación de la calidad (ver Figura 1).

Figura 1

Procedimientos previos a la aplicación de redes neuronales



Nota: elaboración propia.

La figura 1 ilustra los procedimientos previos a la aplicación de redes neuronales profundas de extremo a extremo para la predicción de estructuras de proteínas, los cuales son considerados relativamente independientes. Para una secuencia de proteína específica, se emplean herramientas de alineación de secuencias para obtener su alineamiento múltiple de secuencias (MSA) a través de la búsqueda en bases de datos de secuencias. Posteriormente, se realizan predicciones de estructuras locales y mapas de contactos basados en el MSA, los

cuales pueden ser utilizados para ensamblar la estructura de la red troncal. El proceso de refinamiento es empleado para añadir las cadenas laterales y eliminar cualquier violación estructural y choques presentes. Finalmente, se aplica la evaluación de calidad (QA) para estimar la precisión de los señuelos y determinar la estructura terciaria final.

Las estructuras de las proteínas son una descripción geométrica de un fragmento continuo de polipéptido, que incluye las estructuras secundarias. Los mapas de contacto son una medida de la distancia euclidiana entre residuos en una proteína. Si se predice con precisión la estructura local y el mapa de contacto, la búsqueda de conformaciones correspondientes se reduce significativamente. Los fragmentos pueden ensamblarse mediante algoritmos heurísticos que siguen principios físicos o reglas empíricas, lo cual se considera un enfoque común. Sin embargo, las técnicas de aprendizaje profundo de extremo a extremo han introducido un nuevo enfoque. El aprendizaje profundo es un subcampo del aprendizaje automático y del aprendizaje de representación que extrae características de alto nivel y realiza predicciones simultáneamente (Rengio, 2013). Los modelos superficiales tradicionales dependen en gran medida de la ingeniería de características, mientras que los algoritmos de aprendizaje profundo se consideran modelos de extremo a extremo. El núcleo de las técnicas de aprendizaje profundo es la red neuronal artificial (ANN), que se inspira biológicamente en el cerebro humano (Alom, 2018). Desde el punto de vista del aprendizaje automático, la ANN puede considerarse como un perceptrón multicapa (MLP) con función de activación no lineal y retro propagación de errores. Las características aprendidas mediante transformaciones no lineales múltiples son más discriminantes y compactas en comparación con las características manuales. Desde que AlexNet ganó el ImageNet Challenge en 2012 (Krizhevsky, 2012), el aprendizaje profundo ha mostrado un rendimiento muy prometedor en el reconocimiento de voz, el reconocimiento de imágenes y el procesamiento del lenguaje natural (NLP) (Amodei, 2016). Con el desarrollo de técnicas de secuenciación de alto rendimiento, se acumulan rápidamente secuencias genéticas y de proteínas. El mayor conjunto de datos de secuencias de proteínas, BFD, contiene alrededor de 2500 millones de secuencias derivadas de metagenomas. En los últimos años, los investigadores han aplicado técnicas de aprendizaje profundo a la biología molecular, especialmente a la biología estructural. El éxito de RaptorX-Contact en la competencia Critical Assessment of protein Structure Prediction (CASP) mostró que el aprendizaje

profundo se desempeña mejor en la predicción del mapa de contactos de proteínas cuando se dispone de datos de secuencias de proteínas a gran escala (Alipanahi, 2015). Posteriormente, se propusieron métodos más profundos basados en el aprendizaje para una variedad de estructuras de proteínas basadas en secuencias. En comparación con los métodos tradicionales de aprendizaje automático, la mayor precisión de predicción lograda por los métodos basados en el aprendizaje profundo puede deberse a su poderosa capacidad de representación. En CASP13, AlphaFold, que aplicó redes neuronales profundas al mapa de contactos y la predicción del ángulo de torsión, mostró resultados prometedores. La red geométrica recurrente (RGN) de extremo a extremo también se propuso en CASP13 (AlQuraishi, 2019).

Los modelos de lenguaje de proteínas se utilizan para aprender información evolutiva a partir de tareas de predicción no supervisadas del tipo de aminoácidos (Rives, 2019). Las incrustaciones de secuencias de proteínas aprendidas se han demostrado más efectivas para muchas tareas de predicción de estructuras posteriores que las características derivadas directamente del perfilado de secuencias o del análisis de acoplamiento directo (DCA) (Weigt, 2009). En la última evaluación de predicción de estructuras CASP 14, se presentó un modelo integral, denominado AlphaFold2, que utiliza datos etiquetados y no etiquetados mediante aprendizaje autosupervisado y aumento de datos (Jumper, 2021). La mejora aportada por AlphaFold2 es significativa y demuestra que el aprendizaje profundo es una herramienta prometedora para la predicción de la estructura de proteínas en el futuro. En este capítulo, se revisan los avances recientes en modelos de aprendizaje profundo para la predicción de estructuras de proteínas basados en secuencias. En primer lugar, se presentan varias arquitecturas de redes neuronales profundas que se han utilizado ampliamente en la bioinformática estructural. A continuación, se discute el último modelo de lenguaje de proteínas y sus efectos en tareas de predicción de la estructura de proteínas. Posteriormente, se comparan y analizan en detalle los modelos de predicción de estructuras secundarias supervisados existentes, los modelos de predicción de mapas de contacto y los modelos de predicción de estructuras terciarias de extremo a extremo. Finalmente, se examina la posible dirección futura del aprendizaje profundo en el campo de la bioinformática estructural.

DESARROLLO

1. Arquitecturas de redes neuronales profundas

Las redes neuronales generalmente apilan múltiples módulos/capas. Cada uno de estos módulos podría modelarse como una función no lineal simple. En teoría, una red densa multicapa (es decir, MLP) puede aproximarse a cualquier función continua (Hornik, 1989). Sin embargo, esto es difícil de lograr en aplicaciones del mundo real porque los datos son limitados y las funciones de destino son complicadas. Por lo tanto, varias arquitecturas de redes neuronales más efectivas con un sesgo inductivo más fuerte están diseñadas para procesar datos que tienen un formato específico. Para los datos de secuencias de proteínas, las redes neuronales convolucionales (CNN), las redes neuronales recurrentes (RNN) y las redes neuronales basadas en la atención se encuentran entre las arquitecturas más populares. Los presentamos brevemente en esta sección.

1.1. Redes neuronales convolucionales

La arquitectura de las CNN está relacionada con el Neocognitron y la red neuronal de retardo de tiempo (TDNN) (Fukushima, 1980). Las CNN modernas utilizan la retropropagación para la optimización de la red (LeCun, 1989). Las CNN están diseñadas para datos con estructura, como secuencias (datos 1D), imágenes (datos 2D) y nubes de puntos (datos 3D). Por ejemplo, cualquier píxel en una imagen está más correlacionado con sus píxeles vecinos espacialmente y los píxeles en la misma vecindad pueden formar un patrón local. Estos patrones no están relacionados con sus ubicaciones en la imagen y pueden formar patrones más grandes o de mayor nivel. Las capas convolucionales y las capas de agrupación en las CNN captaron patrones de bajo y alto nivel más fácilmente que las MLP. La implementación de la convolución y la agrupación es similar a una ventana deslizante o un filtro. La diferencia entre ellos es la función para procesar los datos en la ventana. Tomando el procesamiento de imágenes como ejemplo, cuando un lote de imágenes que se representan como un tensor $I \in R^{(N*W*H*D_{in})}$ son entrada en una capa convolucional, el tensor de salida $O \in R^{(N*W*H*D_{out})}$ puede ser derivado de la siguiente manera:

$$O_{i,j} = \sum_{d=1}^{D_{in}} W_d * I_{i,d} + b_j \quad (1)$$

donde N denota el tamaño del lote, W y H denotan el tamaño de las imágenes, D_{in} y D_{out} denotan el número de canales de entrada y salida respectivamente, $i_{i,d}$ denota el canal d^{th} del i^{th} imagen de entrada, y $O_{i,j}$ denota el j^{th} Canal de la i -ésima imagen de salida. W_d es la d -ésima matriz de peso aprendible, b_j es el j -ésimo sesgo aprendible y $*$ Es el operador de correlación cruzada 2D válido. La operación de agrupación sustituye la función de suma ponderada con una función de máximo o promedio y, por lo general, tiene un paso mayor. Las CNN apilan múltiples capas convolucionales y capas de agrupación para aprender funciones. Cuando la red es más profunda, su capacidad crece, pero su rendimiento puede degradarse debido a problemas, como el sobreajuste y la desaparición de gradientes. Se propone una variedad de métodos para mitigar estos problemas, como abandono, normalización por lotes y mapa idéntico (Srivastava, 2014) (Ioffe, 2015). Estas técnicas también se utilizan en otros tipos de redes neuronales profundas.

1.2. Redes neuronales recurrentes

Los RNN son marcos efectivos para procesar datos de secuencia. En comparación con los MLP, los RNN tienen una celda de memoria para registrar el estado del paso del tiempo anterior. Un RNN simple se puede formular de la siguiente manera (Elman, 1990):

$$h_t = \sigma_h(W_h x_t + U h_{t-1} + b_h) \quad (2)$$

$$y_t = \sigma_y(W_y h_t + b_y) \quad (3)$$

Donde x_t , y_t y h_t Es la incrustación de entrada, la incrustación de salida, y vector de estado oculto en el paso de tiempo t , respectivamente. W , U y b son parámetros aprendibles y σ es la función de activación. Cuando las RNN se desarrollan a lo largo de secuencias largas, pueden considerarse redes neuronales profundas. Por lo tanto, las RNN también sufren la desaparición del gradiente. Para resolver este problema Para resolver el problema, se proponen las redes neuronales de memoria a corto plazo (LSTM), que añaden una célula de memoria e implementan el control de puerta (Hochreiter, 1997). Para cualquier vector de

entrada x_t en el paso t^{th} , el vector de salida h_t (es decir, el vector de estado oculto) y la célula de memoria c_t se obtienen como sigue:

$$f_t = \sigma_g(W_f x_t + U_f h_{t-1} + b_f) \quad (4)$$

$$i_t = \sigma_g(W_i x_t + U_i h_{t-1} + b_i) \quad (5)$$

$$o_t = \sigma_g(W_o x_t + U_o h_{t-1} + b_o) \quad (6)$$

$$\tilde{c}_t = \sigma_g(W_c x_t + U_c h_{t-1} + b_c) \quad (7)$$

$$c_t = f_t \circ c_{t-1} + i_t \circ \tilde{c}_t \quad (8)$$

$$h_t = o_t \circ \sigma_t(c_t) \quad (9)$$

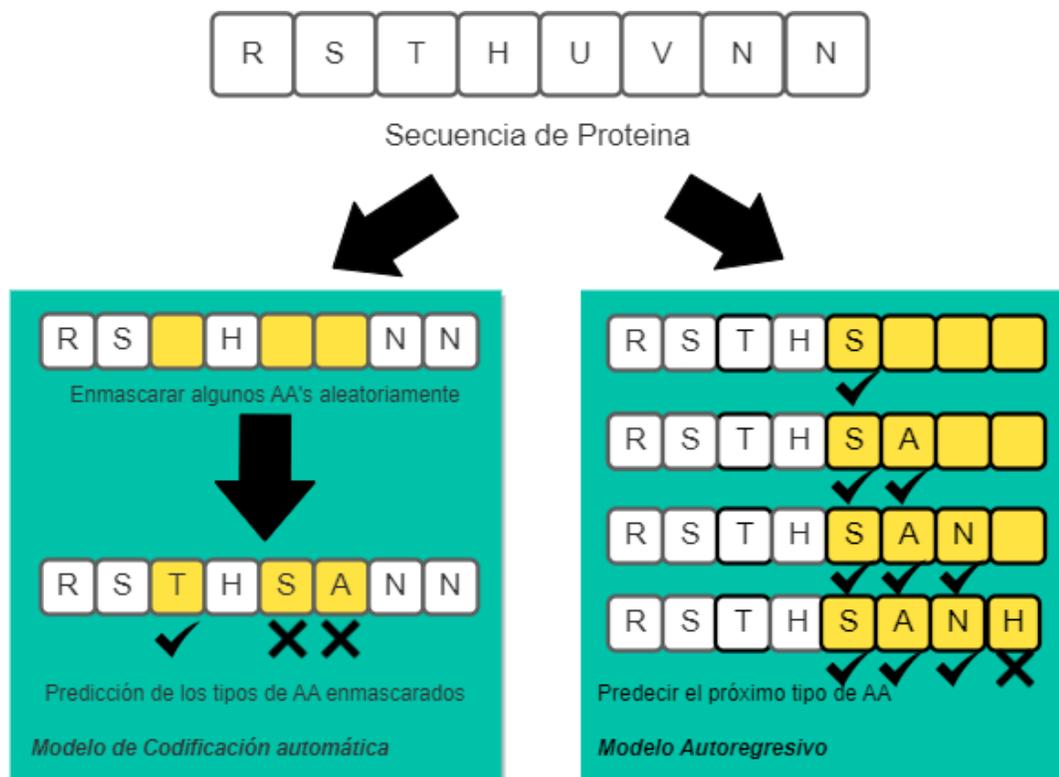
donde f_t , i_t , o_t y \tilde{c}_t son puerta de olvido, puerta de entrada, puerta de salida y entrada de célula respectivamente. W , U y b son parámetros aprendibles. σ_g , σ_c y σ_t son funciones sigmoideas, \tanh y \tanh , respectivamente. El operador \circ es el producto elemento-sabio. LSTM aprende la dependencia a largo plazo porque las células de memoria pueden almacenar información de muchos pasos temporales anteriores. Ha habido varias aplicaciones exitosas de las LSTMs, como el reconocimiento del habla, la traducción automática, el control de robots y la predicción de la estructura y función secundaria de las proteínas (Berner, 2019).

2. Representación de secuencias de proteínas basadas en secuencias únicas

Los modelos basados en una única secuencia aprenden la representación de proteínas a partir de una única codificación de la secuencia de proteínas. Los modelos lingüísticos que utilizan se clasifican en modelos autorregresivos (AR) y modelos de auto-codificación (AE). Como se muestra en la Figura 2, las tareas previas para los modelos de lenguaje de proteínas AR y AE son la predicción del siguiente AA y la predicción del AA enmascarado, respectivamente.

Figura 2

Tareas de pretexto para el modelado del lenguaje de las proteínas Auto Regresivas (AR) y Auto Codificación (AE)



Nota: elaboración propia.

Para una secuencia de proteína dada, los modelos AE enmascararán algunos aminoácidos (AAs) aleatoriamente y luego predecirá los tipos de AA enmascarados de acuerdo con los AAs conocidos restantes. Los modelos Auto Regresivos (AR) predecirán el siguiente tipo de AA según todos los AA anteriores de forma iterativa.

Tanto las RNN como las redes neuronales basadas en la atención pueden servir como codificador de los modelos AR, mientras que estas últimas pueden utilizarse además para los modelos AE debido a sus diferentes tareas de pretexto. Inicialmente, los modelos AR acceden a los contextos desde una sola dirección durante el entrenamiento. Posteriormente, se han propuesto modelos modificados, como XLNet, para permitir que los modelos AR aprendan de contextos bidireccionales en PLN, pero todavía hay mucho margen para seguir mejorando

el modelado de estos métodos de los datos de secuencias de proteínas (Yang, 2019). Por el contrario, los modelos AE aprenden de contextos bidireccionales pero pueden sufrir una discrepancia pre entrenamiento-ajuste debido a la introducción del token [MASK]. En la Tabla 1 resumimos parte de los modelos representativos de lenguaje proteico autosupervisado para la representación de secuencias de proteínas. El método TAPE introduce el Transformador en la representación de secuencias de proteínas.

Tabla 1.

Algunos modelos de lenguaje proteico autosupervisado para la representación de secuencias proteicas

Método	Input	Modelo de Lenguaje	Codificador	Datos Entrenados
TAPE	Secuencia Única	Codificación Automática	Transformer	Pfam
SeqVec	Secuencia Única	Auto Regresivo	ELMo	UniRef50
UniRep	Secuencia Única	Auto Regresivo	mLSTM	UniRef50
ESM-lb	Secuencia Única	Codificación Automática	Transformer	UniParc
ESM-MSA-lb	MSA	Codificación Automática	Transformer	UniRef50

Nota: elaboración propia.

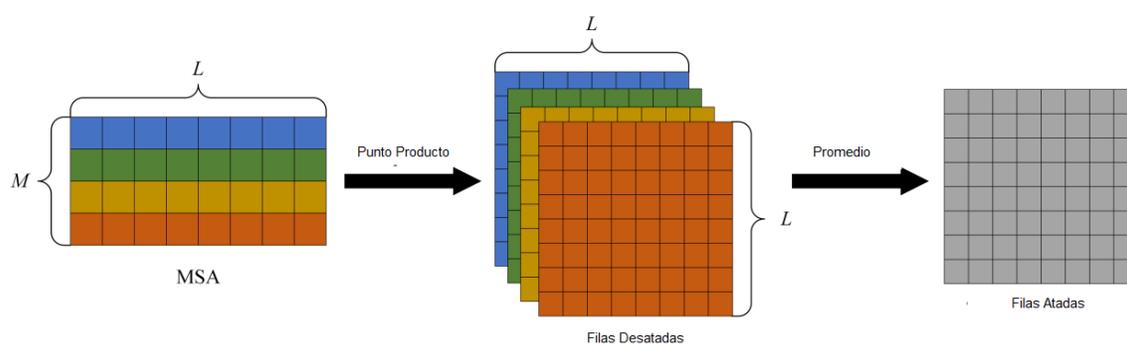
3. Representación de secuencias de proteínas basadas en MSA

La entrada de un modelo basado en MSA suele ser el MSA de la secuencia en lugar de la propia secuencia. La tarea previa de un modelo basado en MSA es predecir AA enmascarados aleatoriamente en el MSA. Cabe señalar que los AA enmascarados pueden predecirse no sólo a partir de los residuos en el de la misma secuencia, sino también del residuo en la misma posición de otras secuencias en el MSA (Rao, 2019). Si simplemente concatenamos todas secuencias de un MSA, el tamaño de la matriz de atención será $M \times L$, donde M es el número de secuencias en el MSA y L es la longitud de cada secuencia. La

complejidad espacial y temporal de la operación podría ser prohibitiva. En ESM-MSA-1b, se aplica una variante de la atención axial para reducir el coste computacional (Ho, 2019). Como se muestra en la Figura 3, la atención de fila desvinculada ayuda a reducir el coste de atención a $O(ML^2)$ y $O(M^2L)$. Además, la atención hace que diferentes secuencias compartan la misma matriz de atención y reduce aún más el coste de atención a $O(L^2)$, con lo que se aprovecha al máximo la información evolutiva de la MSA.

Figura 3

Atención de fila atada y desatada utilizada en el ESM-MSA-1b



Nota: elaboración propia. M es el número de secuencias en el MSA y L es la longitud de cada secuencia

4. Predicción de estructura secundaria

La predicción de la estructura secundaria (SSP) es importante para la predicción de la estructura terciaria. Las estructuras secundarias se pueden utilizar para la búsqueda de plantillas en algoritmos de enhebrado (Gront, 2012) (Zheng, 2019). Los primeros métodos de SSP se basaban en y se desarrollaron en los años 70 (Chou, 1974). Estos métodos consideran principalmente los tipos de AA del residuo único objetivo o de un triplete centrado en él. Por lo tanto, la precisión Q3 (la fracción de residuos predichos correctamente para predicción de 3 clases) generalmente no es muy alta, es decir, ~60% (Torrissi, 2020). La estrategia de ventana deslizante La estrategia de ventana deslizante se utiliza entonces para extraer fragmentos continuos más largos como entrada, basándose en la suposición de que la estructura secundaria del residuo objetivo está muy relacionada con los residuos que lo

rodean. Además, a medida que se determinan más estructuras de proteínas, los potentes modelos de aprendizaje automático aplicados a SSP de la introducción de información evolutiva mejoran la precisión del Q3 hasta más del 70% (Torrise, 2020). Las redes neuronales artificiales son actualmente, las redes neuronales artificiales son uno de los modelos de aprendizaje de aprendizaje automático para la SSP y mejoran aún más la precisión de la predicción.

4.1. *Redes neuronales utilizadas para la predicción de estructuras locales*

Los MLP (es decir, redes neuronales densas o redes neuronales totalmente conectadas) utilizados para SSP suelen contener una o dos capas ocultas. Los primeros enfoques basados en MLP aceptan como entrada una ventana deslizante de fragmentos de AA de codificación de un disparo y alcanzan una precisión de ~65% Q3 (Qian, 1988). Posteriormente, las características evolutivas fueron uno de los enfoques de codificación más populares. Por ejemplo, en PSIPRED, los PSSM normalizados se utilizaron como entrada del primer MLP y su precisión Q3 es del ~76% (Jones, 1999). Otros métodos similares también demostraron la eficacia de las características evolutivas (Rost, 1993; Cuff, 2000). Además de SSP, los MLP también se utilizan para otras propiedades locales de los esqueletos proteicos.

La versión inicial de SPIDER predice el ángulo θ (es decir, el ángulo formado por tres átomos $C\alpha$ consecutivos) y el ángulo τ (es decir, el ángulo diedro formado por cuatro átomos $C\alpha$ consecutivos). formado por cuatro átomos $C\alpha$ consecutivos) basado en un MLP con tres capas ocultas (Lyons, 2014), cuya entrada consiste en las estructuras secundarias predichas y la superficie accesible al disolvente predicha a partir de SPINE-X (Faraggi, 2012). La versión SPIDER2 predice además estructuras secundarias, superficie accesible al disolvente y ángulos de torsión (Heffernan, 2015).

En general, los MLP utilizan la estrategia de ventana deslizante para derivar entradas de longitud fija. El tamaño de la ventana deslizante es un hiper parámetro importante y necesita un ajuste cuidadoso (Chen, 2006). Las ventanas deslizantes demasiado grandes pueden llevar a un sobreajuste o introducir ruido, mientras que las ventanas deslizantes demasiado pequeñas pueden perder información útil. Las RNN están diseñadas para datos secuenciales y pueden aceptar secuencias de longitud variable. Los modelos basados en RNN

suelen utilizar RNN bidireccionales para extraer el contexto de ambos lados del residuo objetivo. SSpro y su versión mejorada Porter, que alcanzan una precisión de ~79% Q3, se componen de un conjunto de RNN bidireccionales de dos etapas (BRNNs) (Baldi, 1999; Pollastri, 2005). SPIDER3 cambia su arquitectura a LSTMs bidireccionales (BiLSTMs) desde MLPs y alcanza una precisión de ~84% Q3 (Wang, 2016). Las CNN se suelen utilizar para datos 2D, como imágenes, pero también se han aplicado a SSP y su rendimiento es bueno. SSP y funcionan tan bien como otras arquitecturas de redes neuronales (DeepCNF sustituye los MLP de campos aleatorios condicionales (CRF) con CNNs que pueden capturar relaciones complejas entre características de entrada y las etiquetas de salida. Los experimentos muestran que la mejora de DeepCNF se debe principalmente a las CNN profundas, que también se han aplicado en otros modelos (Wang, 2016).

5. Los enfoques de SSP de última generación se benefician de datos más grandes, redes más profundas y mejores características evolutivas

Al investigar la diferencia entre algunos enfoques no consensuados de SSP y sus versiones actualizadas, los resultados resumidos en la Tabla 2 sugieren que la mejora de la SSP puede estar relacionada con varios factores. Teniendo en cuenta que esta tabla pretende comparar diferentes versiones del mismo método no métodos diferentes entre sí. Tras introducir el perfil de secuencia de PSI-BLAST, HHblits y MMseqs2 (Steinegger, 2017), la mayoría de los métodos basados en el aprendizaje profundo pueden alcanzar más del 80% de precisión Q3 (Zhang, 2011). A continuación, estos enfoques utilizan más datos anotados para el entrenamiento y cambian.

Tabla 2.

Comparación entre PSI-PRED, Porter, SPIDER, NetSurfP y sus correspondientes versiones actualizadas.

Método	Número de Entrenamientos	Arquitectura	Codificador	Datos Entrenados
PSIPRED	~1100b	1-layer MLPs ^c	PSSM	76%
PSIPRED4	>1100b	2-layer MLPs	PSSM	84.2%
Porter	2171	BRNNs	PSSM	79%

Porter4.0	7522	BRNNs	PSSM	82.2%
SPIDER2	4590	3-layer MLPs	PSSM,PP ^d	82%
SPIDER3	4590	BiLSTMs	PSSM, PP, HMM ^e	84%
NetSurfP1.0	2085	1-layer MLPs	PSSM	81%
NetSurfP2.0	10337	HNNs	HMM, MMseqs2, onehot	85%

Nota: elaboración propia.

MLP poco profundas a redes neuronales más profundas, incluyendo MLP, RNN y redes neuronales híbridas (HNN) que se componen de diferentes tipos de capas. Por ejemplo, Netsurf2.0 implementa una HNN muy profunda que se compone de CNNs y RNNs y utiliza más de 10k secuencias de proteínas para el entrenamiento (Klausen, 2019). Consigue una mejora del 4% en la precisión Q3 en comparación con su versión MLP de una sola capa. Además, las mejores herramientas de MSA y la rápida acumulación de datos de secuencias de proteínas no anotadas también hacen que los perfiles de secuencias sean más precisos. más precisa. Al sustituir el perfil HMM utilizado en Netsurf2.0 por la representación del ESM-MSA-1b, la precisión Q8 (la fracción de residuos predichos correctamente para la predicción de 8 clases) aumenta en un 2% (Buchan, 2019). Los resultados indican que unas mejores características evolutivas de las redes neuronales auto supervisadas pueden ayudar a mejorar la SSP.

6. Predicción del mapa de contacto

Una de las aplicaciones más recientes y exitosas del aprendizaje profundo a la bioinformática estructural de proteínas es la predicción del mapa de contacto/distancia. Cuando los mapas de contacto/distancia se determinan con precisión, las estructuras de proteínas se pueden reconstruir directa o indirectamente con mejoras (por ejemplo, como un término de energía para algoritmos heurísticos) (Vassura, 2008; Nugent, 2012)

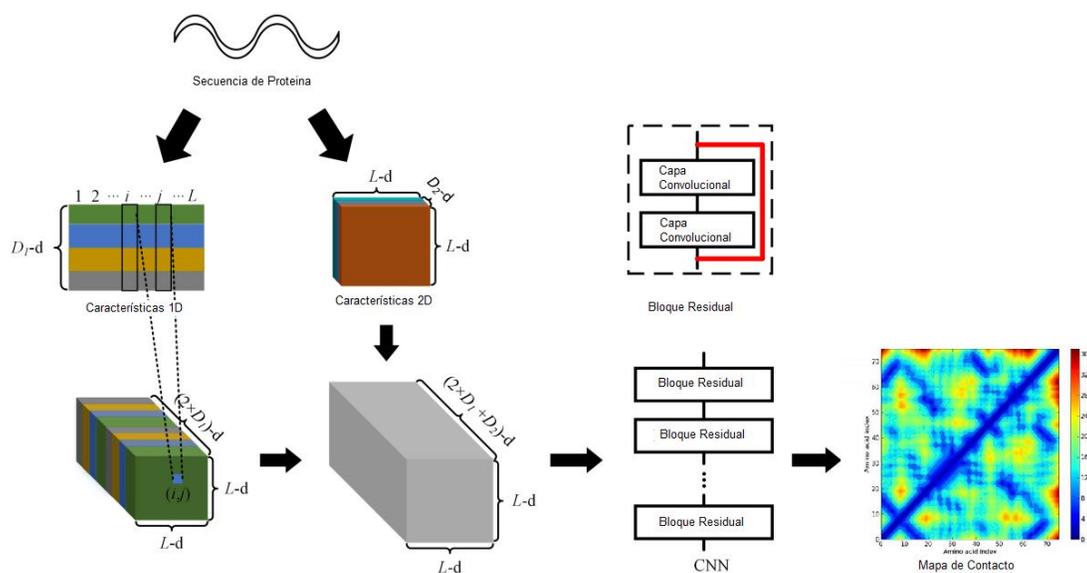
6.1. Redes neuronales utilizadas para la predicción de mapas de contacto

El principal objetivo de la predicción de mapas de contacto (CMP) es averiguar si cada par de residuos de una proteína está en contacto o no. La definición de contacto, que

también acepta el CASP, es que la distancia entre el C β de dos residuos AA (C α para la Glicina) es inferior a 8Å. CMP pueden clasificarse generalmente en dos tipos: modelos estadísticos y modelos de aprendizaje automático. Los métodos basados en la covarianza fueron uno de los primeros modelos estadísticos de éxito. Se basan en la premisa biológica de que cuando un residuo AA muta, el residuo con el que interactúa simultáneamente para mantener la estructura y la función de la proteína correspondiente (Kortemme, 2004). Así, dos residuos que interactúan coevolucionan y sus AA están altamente correlacionados. La correlación entre un par de residuos puede derivarse aproximadamente del MSA calculando la información mutua (MI) y el coeficiente de correlación de Pearson (PCC) (Gobel, 1994; Gloor, 2005). DCA es otro tipo de método estadístico utilizado para evitar introducir el ruido transitivo implicado en los métodos de covarianza tradicionales (Rives, 2021), que puede considerarse como los métodos CMP no supervisados. Los métodos supervisados de aprendizaje automático suelen basarse en la salida de DCA y los perfiles de secuencia. La mayoría de los primeros métodos son modelos superficiales como SVM y bosques aleatorios (Cheng, 2007; Li, 2011). Aunque los MLP también se han aplicado a CMP, sus arquitecturas son poco adecuadas para procesar datos coevolutivos 2D y son relativamente superficiales. Por ejemplo, MetaPSICOV es un MLP de dos etapas con una capa oculta (Jones, 2015), que extrae el contexto de un par de residuos mediante una estrategia de ventana deslizante debido a la arquitectura de los MLP. En cambio, las CNN están diseñadas para datos 2D, como imágenes, y pueden ser transferidos para predecir CMP de proteínas tratando las características coevolutivas como imágenes (Yang, 2018). Los núcleos convolucionales son similares a las ventanas y pueden extraer características multiescala apilando múltiples capas convolucionales. En la Figura 4 se muestra el proceso básico de los métodos CMP basados en CNN. El uso de redes neuronales más profundas o el aprendizaje conjunto ayuda a aumentar la capacidad de los modelos. Por ejemplo, DNCON2 utilizó un conjunto de cinco CNN con diferentes umbrales de distancia y SPOT-Contact combina ResNet y BiLSTMs (Hanson, 2018; Adhikari, 2018).

Figura 4

Proceso básico de predicción de mapas de contacto de proteínas basado en CNN,



Nota: elaboración propia.

Las características 1D (por ejemplo, PSSM) y 2D (por ejemplo, características coevolutivas) se extraen de una secuencia de proteínas de longitud L . El número de tipos de características 1D y 1D es D_1 y D_2 , respectivamente. de características 1D y características 1D es D_1 y D_2 , respectivamente. A continuación, las características 1D se concatenan en 2D y se vuelven a concatenar con características 2D. Por último, se crea una red neuronal residual (es decir, una CNN con mapas idénticos) para predecir el mapa de contacto a partir de las características concatenadas de entrada. basándose en las características concatenadas de entrada.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La predicción de la estructura de las proteínas ha experimentado un notable avance gracias a las técnicas de aprendizaje profundo. El éxito de estas técnicas está estrechamente relacionado con varios factores, como la rápida acumulación de datos de secuencias y arquitecturas de redes eficaces. En particular, se han desarrollado diversas arquitecturas de red para la predicción de la estructura de proteínas, como las redes neuronales convolucionales (CNN), las redes neuronales recurrentes (RNN) y las redes más recientes basadas en la atención, como BERT y Transformers.

Para entrenar estos grandes modelos, se han utilizado técnicas de aprendizaje y aumento de datos. Sin embargo, existen aún desafíos por resolver en este campo, como la presencia de choques estéricos en las estructuras predichas que requieren refinamiento, así como la falta de interpretabilidad en las principales redes neuronales profundas actuales, las cuales funcionan como cajas negras.

Es necesario realizar mayores esfuerzos para abordar estos problemas, ya que se espera que muchas tareas futuras se beneficien de estructuras de proteínas predichas con alta precisión. Por ejemplo, el acoplamiento de proteínas, la predicción del sitio de unión proteína-ligando y la predicción de la función de las proteínas son solo algunas de las diversas aplicaciones que pueden mejorar nuestra comprensión general de las estructuras y sus complejas funciones. En consecuencia, se requiere una investigación continua en este campo para mejorar la calidad y precisión de las predicciones de estructura de proteínas y, por ende, avanzar en nuestra comprensión del mundo molecular.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anfinsen, C. B. (1973). Principles that govern the folding of protein chains. *Science*, 181(4096), 223-230.
- Porter, L. L. y Looger, L. L. (2018). Extant fold-switching proteins are widespread. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 115(23), 5968-5973.
- Pauwels, K., Van Molle, I., Tommasen, J. y Van Gelder, P. (2007). Chaperoning Anfinsen: The steric foldases. *Molecular Microbiology*, 64(4), 917-922.
- Oldfield, C. J., Uversky, V. N., Dunker, A. K. y Kurgan, L. (2019). Introduction to intrinsically disordered proteins and regions. N. Salvi (ed.). *Intrinsically Disordered Proteins*. Academic Press, (pp. 1-34).
- Lieutaud, P., Ferron, F., Uversky, A. V., Kurgan, L., Uversky, V. N. y Longhi, S. (2016). How disordered is my protein and what is its disorder for? A guide through the “dark side” of the protein universe. *Intrinsically Disordered Proteins*, 4(1), e1259708.
- Zhang Y. (2008). Progress and challenges in protein structure prediction. *Current Opinion in Structural Biology*, 18(3), 342-348.
- Yang, J., Yan, R., Roy, A., Xu, D., Poisson, J. y Zhang, Y. (2015). The I-TASSER suite: Protein structure and function prediction. *Nature Methods*, 12(1), 7-8.
- Pearce, R. y Zhang, Y. (2021). Toward the solution of the protein structure prediction problem. *Journal of Biological Chemistry*, 297(1), 100870.
- Bengio, Y., Courville, A. y Vincent, P. (2013). Representation learning: A review and new perspectives. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 35(8), 1798–1828.
- Alom, M. Z., Taha, T. M., Yakopcic, C., Westberg, S., Sidike, P., Nasrin, M. S., Van Eesn, B. C., Awwal, A. A. S. y Asari, V. K. (2018). *The history began from*

- AlexNet: A comprehensive survey on deep learning approaches.* arXiv.
<https://doi.org/10.48550/arXiv.1803.01164>
- Krizhevsky, A., Sutskever, I. y Hinton, G. E. (2012). ImageNet classification with deep convolutional neural networks. *International Conference on Neural Information Processing Systems*, Lake Tahoe, Nevada. Curran Associates Inc., 1097-1105.
- Amodei D, et al. (2016). Deep speech 2: End-to-end speech recognition in English and Mandarin. *Proceedings of The 33rd International Conference on Machine Learning*, M. F. Balcan y K. Q. Weinberger (eds.), PMLR, 173-182.
- Alipanahi, B., DeLong, A., Weirauch, M. T. y Frey, B. J. (2015). Predicting the sequence specificities of DNA- and RNA-binding proteins by deep learning. *Nature Biotechnology*, 33(8), 831-838.
- AlQuraishi M. (2019). End-to-end differentiable learning of protein structure. *Cell Systems*, 8(4), 292-301.
- Rives, A., Meier, J., Sercu, T., Goyal, S., Lin, Z., Liu, J., Guo, D., Ott, M., Zitnick, C. L., Ma, J. y Fergus, R. (2021). Biological structure and function emerge from scaling unsupervised learning to 250 million protein sequences. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 118(15), 1-12.
- Weigt, M., White, R. A. Szurmant, H., Hoch, J. A. y Hwa, T. (2009). Identification of direct residue contacts in protein-protein interaction by message passing. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106(1), 67-72.
- Jumper J, et al. (2021). Highly accurate protein structure prediction with AlphaFold. *Nature*, 96(7873), 583-589.
- Hornik, K., Stinchcombe, M. y White, H. (1989). Multilayer feedforward networks are universal approximators. *Neural Networks*, 2(5), 359-366.
- Fukushima K. (1980). Neocognitron: A self-organizing neural network model for a mechanism of pattern recognition unaffected by shift in position. *Biological Cybernetics*, 36, 193-202.

- LeCun Y, Boser, B., Denker, J. S., Henderson, D., Howard, R. E., Hubbard, W. y Jackel, L. D. (1989). Backpropagation applied to handwritten zip code recognition. *Neural Computation*, 1, 541-551.
- Srivastava, N., Hinton, G., Krizhevsky, A., Sutskever, I. y Salakhutdinov, R. (2014). Dropout: A simple way to prevent neural networks from overfitting. *Journal of Machine Learning Research*, 15, 1929-1958.
- Ioffe, S. y Szegedy, C. (2015). Batch normalization: Accelerating deep network training by reducing internal covariate shift. *23 International Conference on Machine Learning*, B. Francis y B. David (eds.), PMLR, (pp. 448-456).
- Elman, J. L. (1990). Finding structure in time. *Cognitive Science*, 14, 213-252.
- Hochreiter, S. y Schmidhuber, J. (1997). Long short-term memory. *Neural Computation*, 9(8), 1735-1780.
- Berner, C., et al. (2019). *Dota 2 with large scale deep reinforcement learning*. arXiv.
- Yang, Z., Dai, Z., Yang, Y., Carbonell, J., Salakhutdinov, R. R. y Le, Q. V. (2019). XLNet: Generalized autoregressive pretraining for language understanding. *Proceedings of the 33rd International Conference on Neural Information Processing Systems, NeurIPS*, H. M. Wallach, H. Larochelle, A. Beygelzimer, F. d'Alché-Buc, E. Fox y R. Garnett (eds.). Curran Associates. (pp. 5754-5764).
- Rao, R., Bhattacharya, N., Thomas, N., Duan, Y., Chen, P., Canny, J., Abbeel, P. y Song, Y. (2019). Evaluating protein transfer learning with TAPE. *Proceedings of the 33rd International Conference on Neural Information Processing Systems, NeurIPS*, H. M. Wallach, H. Larochelle, A. Beygelzimer, F. d'Alché-Buc, E. Fox y R. Garnett (eds.). Curran Associates. (pp. 9686-9698).
- Gront, D., Blaszyk, M., Wojciechowski, P. y Kolinski, A. (2012). BioShell threader: Protein homology detection based on sequence profiles and secondary structure profiles. *Nucleic Acids Research*, 40, 257-262.

- Zheng, W., Zhang, C., Wuyang, Q., Pearce, R., Li, Y. y Zhang, Y. (2019). LOMETS2: Improved meta-threading server for fold-recognition and structure-based function annotation for distant-homology proteins. *Nucleic Acids Research*, 47(1), 429-436.
- Chou, P. Y. y Fasman, G. D. (1974). Conformational parameters for amino acids in helical, beta-sheet, and random coil regions calculated from proteins. *Biochemistry*, 13(2), 211-222.
- Torrissi, M., Pollastri, G. y Le, Q. (2020). Deep learning methods in protein structure prediction. *Computational and Structural Biotechnology Journal*, 18, 1301-1310.
- Qian, N. y Sejnowski, T. (1988). Predicting the secondary structure of globular proteins using neural network models. *Journal of Molecular Biology*, 202(4), 865-884.
- Jones, D. T. (1999). Protein secondary structure prediction based on position-specific scoring matrices. *Journal of Molecular Biology*, 292(2), 195-202.
- Rost, B. y Sander, C. (1993). Prediction of protein secondary structure at better than 70% accuracy. *Journal of Molecular Biology*, 232(2), 584-599.
- Cuff, J. A. y Barton, G. J. (2000). Application of multiple sequence alignment profiles to improve protein secondary structure prediction. *Proteins*, 40(3), 502-511.
- Lyons, J., Dehzangi, A., Heffernan, R., Sharma, A., Paliwal, K., Sattar, A., Zhou, Y. y Yang, Y. (2014). Predicting backbone Calpha angles and dihedrals from protein sequences by stacked sparse auto-encoder deep neural network. *Journal of Computational Chemistry*, 35(28), 2040-2046.
- Faraggi, E., Zhang, T., Yang, Y., Kurgan, L. y Zhou, Y. (2012). SPINE X: Improving protein secondary structure prediction by multistep learning coupled with prediction of solvent accessible surface area and backbone torsion angles. *Journal of Computational Chemistry*, 33(3), 259-267.
- Heffernan, R., Paliwal, K., Lyons, J., Dehzangi, A., Sharma, A., Wang, J., Sattar, A., Yang, Y. y Zhou, Y. (2015). Improving prediction of secondary structure, local backbone angles, and solvent accessible surface area of proteins by iterative deep learning. *Scientific Reports*, 5, 11476.

- Chen, K., Kurgan, L. y Ruan, J. (2006). Optimization of the sliding window size for protein structure prediction. *Proceedings of the 2006 IEEE Symposium on Computational Intelligence in Bioinformatics and Computational Biology*, Toronto, IEEE.
- Baldi, P., Brunak, S., Frasconi, P., Soda, G. y Pollastri, G. (1999). Exploiting the past and the future in protein secondary structure prediction. *Bioinformatics*, *15*(11), 937-946.
- Pollastri, G. y McLysaght, A. (2005). Porter: A new, accurate server for protein secondary structure prediction. *Bioinformatics*, *21*(8), 1719-1720.
- Wang, S., Peng, J., Ma, J. y Xu, J. (2016). Protein secondary structure prediction using deep convolutional neural fields. *Scientific Reports*, *6*, 18962.
- Wang, S., Li, W., Liu, S. y Xu, J. (2016). RaptorX-Property: A web server for protein structure property prediction. *Nucleic Acids Research*, *44*(1), 430-435.
- Steinegger, M. y Soding, J. (2017). MMseqs2 enables sensitive protein sequence searching for the analysis of massive data sets. *Nature Biotechnology*, *35*(11), 1026-1028.
- Zhang, H., Zhang, T., Chen, K., Kedariseti, K. D. Mizianty, M. J., Bao, Q., Stach, W. y Kurgan, L. (2011). Critical assessment of high-throughput standalone methods for secondary structure prediction. *Briefings in Bioinformatics*, *12*(6), 672-688.
- Klausen, M. S., et al. (2019). NetSurfP-2.0: Improved prediction of protein structural features by integrated deep learning. *Proteins-Structure Function and Bioinformatics*, *87*(6), 520-527.
- Buchan, D. W. A. y Jones, D. T. (2019). The PSIPRED protein analysis workbench: 20 years on. *Nucleic Acids Research*, *47*(1), 402-407.
- Vassura, M., Margara, L., Di Lena, P., Medri, F., Fariselli, P. y Casadio, R. (2008). Reconstruction of 3D structures from protein contact maps. *IEEE/ACM Transactions on Computational Biology and Bioinformatics*, *5*(3), 357-367.
- Nugent, T. y Jones, D. T. (2012). Accurate de novo structure prediction of large transmembrane protein domains using fragment-assembly and correlated mutation

- analysis. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109(24), 1540-1547.
- Kortemme, T., Joachimiak, L. A., Bullock, A. N., Schuler, A. D., Stoddard, B. L. y Baker, D. (2004). Computational redesign of protein-protein interaction specificity. *Nature Structural & Molecular Biology*, 11(4), 371-379.
- Gobel, U., Sander, C., Schneider, R. y Valencia, A. (1994). Correlated mutations and residue contacts in proteins. *Proteins*, 18(4), 309-317.
- Gloor, G. B., Martin, L. C., Wahl, L. M. y Dunn, S. D. (2005). Mutual information in protein multiple sequence alignments reveals two classes of coevolving positions. *Biochemistry*, 44(19), 7156-7165.
- Cheng, J. L. y Baldi, P. (2007). Improved residue contact prediction using support vector machines and a large feature set. *BMC Bioinformatics*, 8, 113.
- Li, Y. Q., Fang, Y. y Fang, J. (2011). Predicting residue-residue contacts using random forest models. *Bioinformatics*, 27(24), 3379-3384.
- Jones, D. T., Singh, T., Kosciolok, T. y Tetcher, S. (2015). MetaPSICOV: Combining coevolution methods for accurate prediction of contacts and long-range hydrogen bonding in proteins. *Bioinformatics*, 31(7), 999-1006.
- Yang, J. y Shen, H. B. (2018). MemBrain-contact 2.0: A new two-stage machine learning model for the prediction enhancement of transmembrane protein residue contacts in the full chain. *Bioinformatics*, 34(2), 230-238.
- Hanson, J., Paliwal, K., Litfin, T., Yang, Y. y Zhou, Y. (2018). Accurate prediction of protein contact maps by coupling residual two-dimensional bidirectional long short-term memory with convolutional neural networks. *Bioinformatics*, 34(23), 4039-4045.
- Adhikari, B., Hou, J. y Cheng, J. (2018). DNCON2: Improved protein contact prediction using two-level deep convolutional neural networks. *Bioinformatics*, 34(9), 1466-1472.

10. LA REFORMA UNIVERSITARIA EN EL PERÚ Y LA CALIDAD ACADÉMICA EN LAS ESCUELAS DE POSGRADO⁵⁸

University Reform in Peru and Academic Quality in Postgraduate Schools

José Luis Pineda Tapia⁵⁹

Marisol Rojas Barreto⁶⁰

Deyna Lozano Ccopa⁶¹

Edwin Huayhua Huamani⁶²

Pares evaluadores: Red de Investigación en Educación, Empresa y Sociedad – REDIEES.⁶³

⁵⁸ Derivado de la ponencia “La Reforma Universitaria en el Perú y la Calidad Académica en las Escuelas de Posgrado” (2021).

⁵⁹ Ingeniero Químico, Universidad Nacional del Altiplano-Puno-Perú, Doctor en Ciencias y Tecnologías Medioambientales, Universidad Nacional de San Agustín Arequipa - Perú, Profesor principal, Universidad Nacional de Juliaca - Perú, correo electrónico: jpineda@unaj.edu.pe.

⁶⁰ Licenciada en Biología, Universidad Nacional del Altiplano-Puno-Perú, Magister en Ecología, Universidad Nacional del Altiplano-Puno - Perú, Profesora Auxiliar, Universidad Nacional del Altiplano-Puno-Perú, correo electrónico: mrojas@unap.edu.pe.

⁶¹ Licenciada en Educación, Universidad Nacional del Altiplano-Puno-Perú, Magister en Investigación, Universidad Nacional del Altiplano-Puno-Perú, Profesora, Universidad Nacional de Juliaca-Perú, correo electrónico: d.lozano@unaj.edu.pe.

⁶² Físico, Universidad Nacional San Antonio de Abad del Cusco-Perú, Magister en Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional del Altiplano-Puno-Perú, Profesor Auxiliar, Universidad Nacional de Juliaca-Perú, correo electrónico: ehuahua@unaj.edu.pe.

⁶³ Red de Investigación en Educación, Empresa y Sociedad – REDIEES. www.rediees.org

LA REFORMA UNIVERSITARIA EN EL PERÚ Y LA CALIDAD ACADÉMICA EN LAS ESCUELAS DE POSGRADO

José Luis Pineda Tapia, Marisol Rojas Barreto, Deyna Lozano Ccopa, Edwin Huayhua Huamaní.

RESUMEN

La educación superior constituye un eje fundamental en el desarrollo de un país, Dolors (1999) considera uno de los instrumentos principales con que cuentan los poderes públicos en su intento de asegurar el desarrollo de sus países. En Perú actualmente existe un discreto nivel académico de los Posgrados, siendo necesario reorientar los objetivos y estrategias de la oferta educativa para brindar un servicio de calidad. Esta investigación tuvo el objetivo de realizar un análisis de la Reforma Universitaria en el Perú y su relación con la calidad académica en las Escuelas de Posgrado, siendo de carácter cualitativo-explicativo, en base a la información elaborada por la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria (SUNEDU) y los censos universitarios. Los resultados permitieron identificar la relación entre la calidad académica y las reformas implementadas. Los esfuerzos realizados por los entes rectores, que implementaron el modelo de Licenciamiento y el cumplimiento de las CBC's, con la finalidad de mejorar la calidad de la educación superior. Asimismo, en respuesta a las exigencias de la Ley Universitaria se identificó un incremento en la demanda de estudios de posgrado, con un alto porcentaje de nivel académico discreto, por causas diversas como estructuras débiles, intereses económicos y políticos. también, se identificó un 84 % de estos estudios corresponden a las ciencias sociales, con un mínimo porcentaje de las áreas de ingeniería y ciencias de la salud.

Palabras Clave: reforma universitaria; posgrado; calidad académica; licenciamiento.

ABSTRACT

Higher education constitutes a fundamental axis in the development of a country, Dolors (1999) considers one of the main instruments available to public authorities in their attempt to ensure the development of their countries. In Peru, there is currently a discreet academic level of Postgraduates, making it necessary to reorient the objectives and strategies of the educational offer to provide a quality service. This research had the objective of carrying out an analysis of the University Reform in Peru and its relationship with academic quality in Graduate Schools, being of a qualitative-explanatory nature, based on information prepared by the National Superintendence of Higher University Education (SUNEDU) and university censuses. The results allowed us to identify the relationship between academic quality and the reforms implemented. The efforts made by the governing bodies, which implemented the Licensing model and compliance with the CBC's, in order to improve the quality of higher education. Likewise, in response to the requirements of the University Law, an increase in the demand for postgraduate studies was identified, with a high percentage of discrete academic level, for various reasons such as weak structures, economic and political interests. Also, 84% of these studies were identified as being in the social sciences, with a minimum percentage in the areas of engineering and health sciences.

Keywords: university reform; postgraduate; academic quality; licensing.

INTRODUCCIÓN

La educación superior constituye un elemento insustituible para el desarrollo social, la producción, el crecimiento económico, el fortalecimiento de la identidad cultural, el mantenimiento de la cohesión social, la lucha contra la pobreza y la promoción de la cultura de paz (Declaración sobre la Educación Superior, Unesco, La Habana, 1996). Según la UNESCO, el desarrollo de la educación superior y de la investigación son elementales en el desarrollo cultural, socioeconómico y en la sostenibilidad ecológica de los individuos, comunidades y naciones. De forma reiterativa se afirma que la educación es esencial para el desarrollo de los países, sin embargo, muchos gobiernos priorizan otros intereses.

El 09 de julio del 2014, se promulgó la nueva Ley Universitaria N° 30220 en el Perú, con el objeto de normar la creación, funcionamiento, supervisión y cierre de las universidades. Además de promover el mejoramiento continuo de la calidad educativa de las instituciones universitarias como entes fundamentales del desarrollo nacional, de la investigación y de la cultura (El Peruano, 2014). La Reforma de la Educación Universitaria, se fundamentó principalmente en la creación de un órgano supervisor (SUNEDU), así como el establecimiento de un modelo de licenciamiento de las universidades. El diseño del modelo de licenciamiento se enmarca en la Política de Aseguramiento de la Calidad de la Educación Superior Universitaria. En dicho sistema, el licenciamiento opera como un mecanismo de protección del bienestar individual y social al no permitir la existencia de un servicio por debajo de las Condiciones Básicas de Calidad – CBC's (SUNEDU, 2015).

La Ley Universitaria N° 30220 con el fin de lograr la calidad en la educación superior universitaria, establece en el artículo N° 82⁶⁴, que para el ejercicio de la docencia en pregrado es obligatorio poseer el grado de Maestro, y para el cumplimiento de lo establecido, las universidades en su calidad de empleadores tuvieron la necesidad de implementar acciones como la presentación de planes de adecuación ante la SUNEDU; asimismo, los docentes que

⁶⁴ **Artículo 82.** Requisitos para el ejercicio de la docencia universitaria, como docente ordinario y contratado es obligatorio poseer:

82.1 El grado de Maestro para la formación en el nivel de pregrado.

82.2 El grado de Maestro o Doctor para maestrías y programas de especialización.

82.3 El grado de Doctor para la formación a nivel de doctorado.

no contaban con el grado académico de Maestro a la fecha de la promulgación de la ley, tuvieron que iniciar y cursar estudios de posgrado, en el plazo determinado por la nueva ley.

La condición V del modelo de Licenciamiento Institucional exige que el 25% de docentes universitarios deberán cumplir con un régimen laboral a tiempo completo; las universidades son las responsables de garantizar la disponibilidad de docentes de acuerdo a la oferta académica. Este requerimiento, ha evidenciado la falta de docentes con los requisitos necesarios según la normativa, dando lugar a una gran demanda de estudios de posgrado por parte de los docentes.

La nueva Ley Universitaria estableció 5 años para la adecuación de los docentes a partir de su promulgación; sin embargo, debido a la pandemia que aqueja el país, dicho plazo se extendió hasta noviembre del 2021 (D. L. 1496)⁶⁵. La gran demanda de estudios de posgrado ha generado la reducción del número de créditos en los estudios de maestría, el surgimiento de la educación virtual y a distancia; aperturando estudios de manera presencial los fines de semana, de forma poco adecuada, lo que propicia un bajo nivel académico en los estudios de posgrado.

DESARROLLO

La presente investigación es de naturaleza cualitativa, con un diseño descriptivo, por lo que, la metodología adoptada consideró un análisis documental de carácter explicativo en base a la información de la SUNEDU y los censos universitarios desarrollados en el país hasta la fecha. La misma que se realizó en la Universidad Nacional de Juliaca teniendo como referencia los estudios de mercado para la creación de nuevos programas a nivel de pregrado, lo cual sirvió para poder analizar la situación actual de las universidades tanto a nivel de pre

⁶⁵ **Artículo 4.- Ampliación del plazo de adecuación de los docentes de las universidades públicas y privadas**

Amplíese el plazo de adecuación de docentes de las universidades públicas y privadas a los requisitos de la Ley N° 30220, Ley Universitaria, establecido en la Tercera Disposición Complementaria Transitoria de la referida Ley, hasta el 30 de noviembre de 2021; de lo contrario, son considerados en la categoría que les corresponda o concluye su vínculo contractual, según corresponda.

y postgrado, en cuanto al cumplimiento de la normativa y la oferta académica a nivel posgrado.

Los principales problemas de la educación superior universitaria en el Perú:

El principal problema en la educación universitaria en el Perú es el bajo nivel académico en las escuelas de posgrado (Flores, 2017). Los docentes universitarios de las diferentes facultades en la actualidad se sienten desmotivados por la falta de capacitación especializada, lo cual involucra a que se presenten niveles muy bajos de exigencia en la formación de posgrado. Por otro lado, la mala formación de los estudiantes en el pregrado conlleva a una mala preparación en el posgrado.

Según Rivera (2016) el problema universitario no es jurídico de leyes, sino socioeconómico y político. Este último aspecto conduce a la relación entre la universidad y lo ideopolítico. Con la Reforma de Córdova se instauraron los principios de libertad de pensamiento, de cátedra y de libre expresión más el derecho a la participación estudiantil en los órganos de gobierno.

El Modelo de Licenciamiento Institucional en el Sistema Universitario Peruano

A nivel internacional, se percibe una baja calidad en las universidades peruanas: solo una universidad peruana figura entre las 500 mejores universidades del mundo en el QS World University Rankings 2015-2016 (Gallegos, 2017).

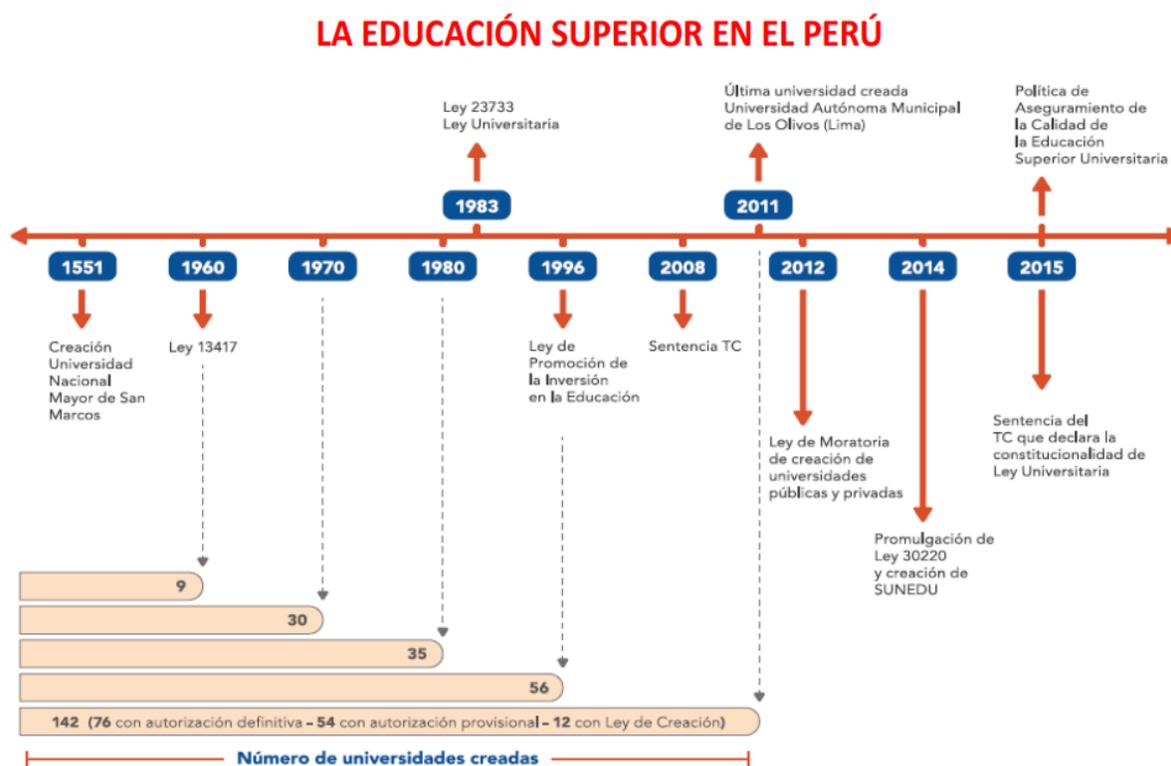
Además, según este ranking, de las 92 universidades peruanas sólo hay cuatro entre las 100 mejores de América Latina para el año 2019: Universidad Peruana Cayetano Heredia (puesto 34), Universidad de Ciencias Aplicadas (puesto 61), Universidad Nacional Mayor de San Marcos (puesto 77) y Pontificia Universidad Católica del Perú (puesto 89). Con respecto a los problemas de Calidad de la Educación Superior Universitaria en el Perú, la Comisión Consultiva encargada de brindar aportes y recomendaciones para la elaboración de la Política de Aseguramiento de la Calidad de la Educación Superior Universitaria distingue tres dimensiones relevantes: (i) el deficiente papel de la universidad en la promoción de

ciudadanía, (ii) el escaso desarrollo de la ciencia y tecnología en la universidad peruana, y (iii) la desconexión entre la formación universitaria y el desarrollo de competencias adecuadas para el empleo (SUNEDU, 2015).

Para revertir esta situación negativa entre el 2015 y 2020, ha mostrado un comportamiento muy similar, el estado peruano ha continuado con la implementación de la Ley Universitaria N° 30220. En tal sentido se dio énfasis a una Política de Aseguramiento de la Calidad, cuyos avances se esquematizan en la siguiente figura:

Figura 1.

Proceso de aseguramiento de la calidad en la educación superior en el Perú.



Nota: tomado de SUNEDU 2016-2019

En el marco de la Política de Aseguramiento de la Calidad, el objetivo general del licenciamiento es que todas las universidades cumplan con las CBC's establecidas como un umbral mínimo de calidad para ofrecer el servicio educativo superior universitario, tal como se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 1*Condiciones básicas de calidad*

Condición	Nº de Indicadores
Condición I. Existencia de objetivos académicos; grados y títulos a otorgar y planes de estudio correspondientes.	8
Condición II. Oferta educativa a crearse compatible con los fines propuestos en los instrumentos de planeamiento.	7
Condición III. Infraestructura y equipamiento adecuado al cumplimiento de sus funciones (aulas, bibliotecas, laboratorios, entre otros).	15
Condición IV. Líneas de investigación a ser desarrolladas.	8
Condición V. Verificación de la disponibilidad de personal docente calificado con no menos del 25% de docentes a tiempo completo.	4
Condición VI. Verificación de los servicios educacionales complementarios básicos (servicio médico, social, psicopedagógico, deportivo, entre otros).	8
Condición VII. Existencia de mecanismos de mediación e inserción laboral (Bolsa de trabajo u otros).	4
Condición VIII. CBC complementarla: transparencia de universidades.	1
Total	55

Nota: tomado de SUNEDU 2016-2019.

La verificación de las CBC tiene como fin conseguir los siguientes objetivos específicos:

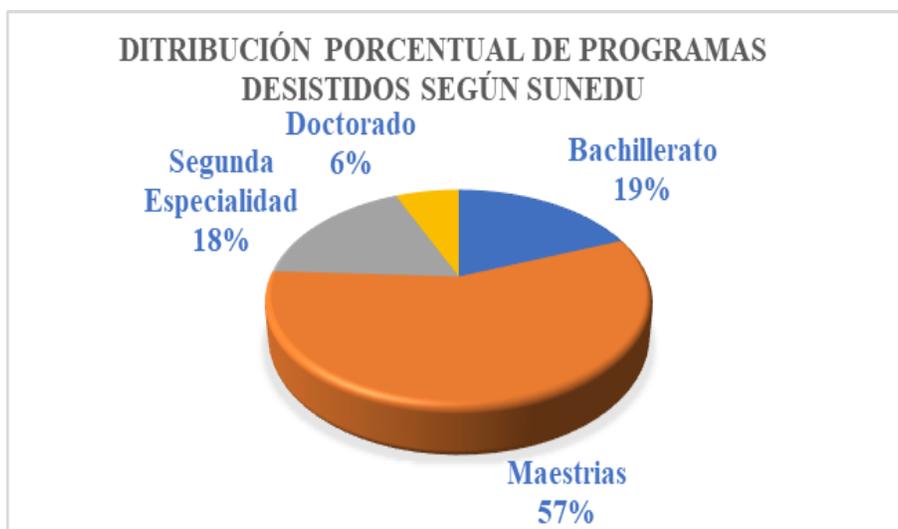
- Proteger a los usuarios del servicio de educación superior universitaria, brindándoles información confiable y útil para la toma de decisiones.
- Contribuir en la generación y desarrollo del sistema de información de educación superior universitaria, que ayude a las universidades en sus planes de desarrollo y al MINEDU en la formulación de políticas públicas.
- Asegurar la capacidad de las universidades para desarrollar nuevos programas educativos de calidad.

- Promover la eficacia, eficiencia e innovación en la educación superior universitaria

Martín Benavides, Superintendente de la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria (SUNEDU), destacó que uno de los beneficios del licenciamiento de las universidades es precisamente el ordenamiento y el sinceramiento de la oferta académica. 807 programas de estudio serían impartidos en 26 de los 54 centros superiores y que, hasta octubre del 2018, contaban con licenciamiento. Estos programas de estudios universitarios dirigidos a alumnos de pre y posgrado dejaron de funcionar después que las universidades fueron supervisadas por la SUNEDU, indicando de que estas no reúnen las Condiciones Básicas de Calidad para continuar su funcionamiento. De este universo de programas, la mayoría eran para obtener maestrías (459), bachillerato (153), segunda especialidad (143) y doctorado (52). (La república, 2018).

Figura 2

Distribución porcentual de programas desistidos según SUNEDU.



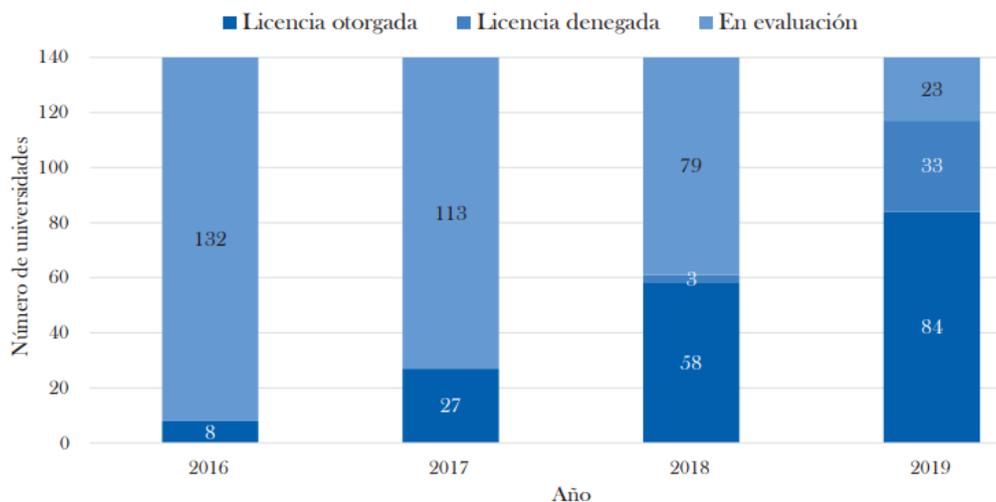
Nota: elaboración propia.

Entre el 15 de diciembre del 2015 y el 15 de diciembre del 2017, 141 universidades y cuatro escuelas de posgrado presentaron su Solicitud de Licenciamiento Institucional – SLI ante la SUNEDU. Al 20 de agosto del 2020, 92 universidades y dos Escuelas de Posgrado recibieron su Licencia de Funcionamiento para ofrecer el servicio educativo superior

universitario, después de que la SUNEDU verificara el cumplimiento de las CBC. Hasta agosto del 2019, la totalidad de universidades existentes presentaron su solicitud de licenciamiento, de las cuales 84 obtuvieron su Licencia Institucional.

Figura 3

Evolución del estado de licenciamiento de las universidades, 2016-2019.



Nota: Se consideran a todas las universidades. Información actualizada al 31 de diciembre del 2019.
Fuente: Sunedu, 2016-2019.

Nota: elaboración propia.

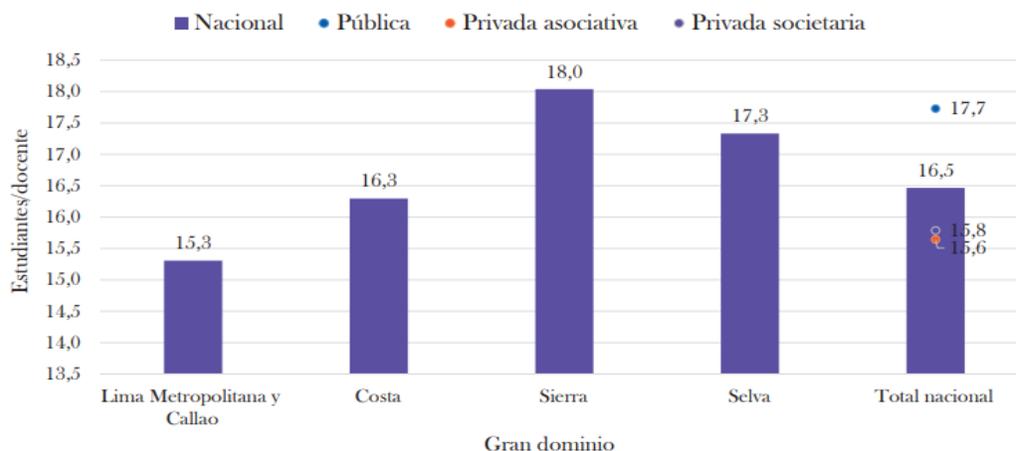
Oferta y demanda de los programas de posgrado

En relación a la variación de la oferta y la demanda de los programas de posgrado, se han definido dos grupos específicos:

- i) La demanda de docentes en la universidad peruana con grado de Maestro y/o Doctor

Figura 4

Promedio de estudiantes por puesto docente, tipo de gestión, según gran dominio, Licenciamiento Institucional.



Nota: Se cuenta con información de 94 universidades. Se toma en cuenta a los estudiantes de pregrado y posgrado. No se toman en consideración los puestos de jefatura de prácticas u otro tipo de auxiliares de docencia.

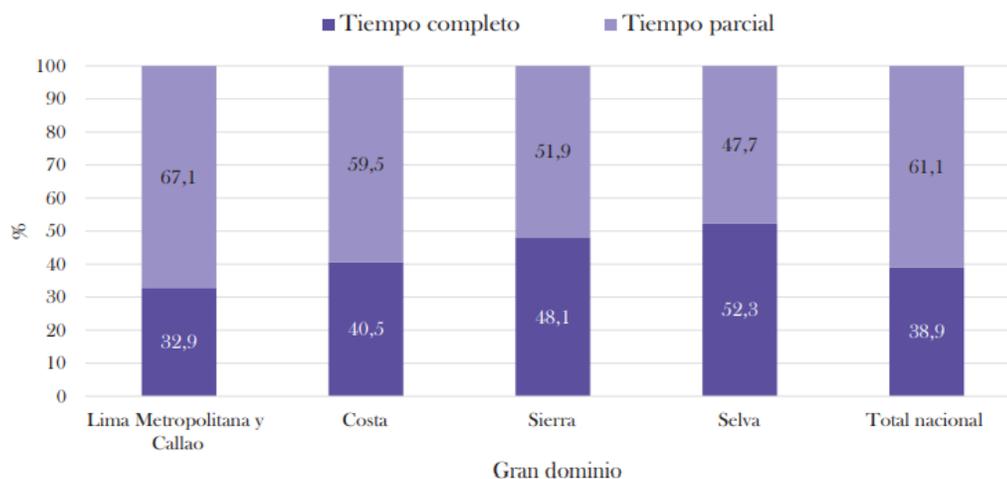
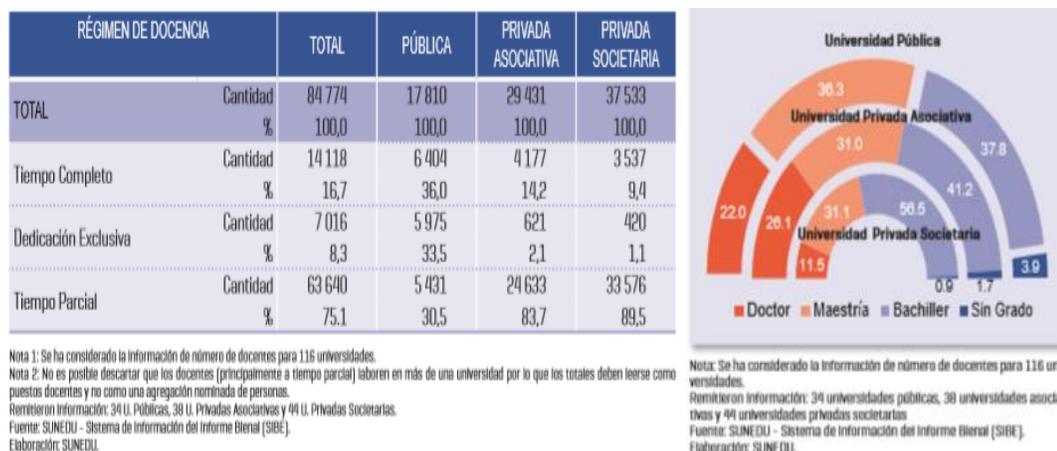
Fuente: Sunedu, 2015-2019.

Nota: elaboración propia.

En base a la información de 116 universidades, en la siguiente figura se presenta la cantidad de docentes en diferentes regímenes (tiempo completo y parcial), según la ley universitaria, así como los grados académicos que han alcanzado y son reconocidos por la SUNEDU. Los cuales esta distribuidos en las diferentes universidades, tanto de Lima metropolitana, así como las del interior del país (costa, sierra y selva), consolidando el total nacional.

Figura 5

Porcentaje de puestos docentes por régimen de dedicación, según gran dominio y total nacional, Licenciamiento Institucional



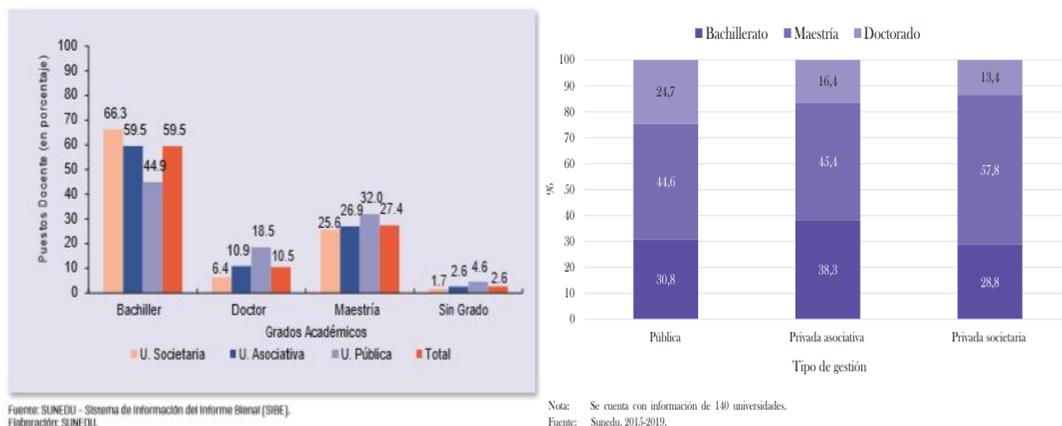
Nota: Se cuenta con información de 140 universidades.
 Fuente: Sunedu, 2015-2019.

Nota: elaboración propia.

- ii) La demanda de estudios de posgrado por parte de los docentes, en cumplimiento del artículo 82 de la Ley Universitaria.

Figura 6

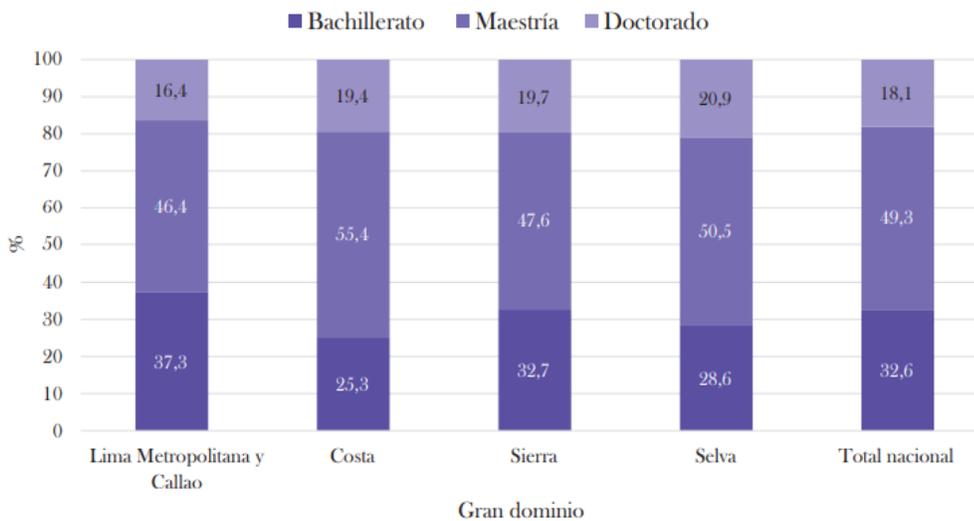
Porcentaje de puestos docente, por grado académico, según tipo de gestión, Licenciamiento Institucional.



Nota: elaboración propia.

Figura 7

Porcentaje de puestos docentes, por grado académico, según gran dominio y total nacional, Licenciamiento Institucional.



Nota: Se cuenta con información de 140 universidades.
Fuente: Sunedu, 2015-2019.

Nota: elaboración propia.

- iii) Incremento de la oferta por parte de las universidades, según la reducción del número de créditos

Tabla 2

Programas académicos de las universidades con Licencia Institucional

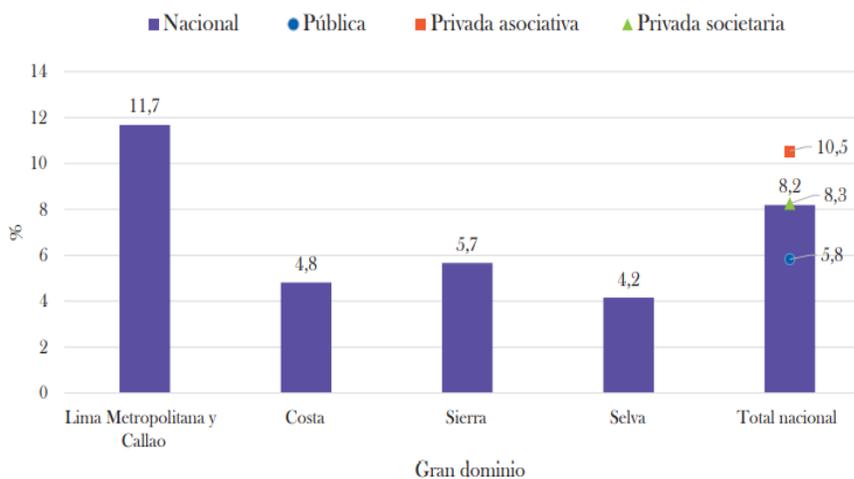
UNIVERSIDAD	PROGRAMAS DE PREGRADO		PROGRAMAS DE MAESTRÍA		PROGRAMAS DE DOCTORADO		TOTAL DE PROGRAMAS
	EXISTENTES	NUEVOS	EXISTENTES	NUEVOS	EXISTENTES	NUEVOS	
Pontificia Universidad Católica del Perú	57	6	16	12	123	5	219
Universidad de Lima	11	1	3	2	0	1	18
Universidad del Pacífico	9	0	12	7	0	1	29
Universidad Peruana Cayetano Heredia	21	3	43	20	8	2	97
Universidad de Ingeniería y Tecnología	5	6	0	7	0	0	18
Universidad para el Desarrollo Andino	5	0	0	0	0	0	5
Universidad de Ciencias y Artes de América Latina	4	8	0	3	0	0	15
Universidad Femenina del Sagrado Corazón	17	0	12	0	2	0	31
Universidad Ricardo Palma	19	0	17	1	3	0	40
Universidad de Piura	25	0	26	5	2	3	61
Universidad Nacional Agraria la Molina	12	0	27	1	7	1	48
Universidad Nacional Autónoma de Huanta	0	3	0	0	0	0	3
Universidad Antonio Ruiz de Montoya	20	1	10	3	0	0	34
Universidad de San Martín de Porres	28	0	76	0	14	0	118
Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza	26	0	12	0	1	0	39
Universidad Nacional José María Arguedas	3	3	0	0	0	0	6
Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas	69	8	22	0	0	0	99
Universidad San Ignacio de Loyola S.A	51	3	23	5	3	1	86
Universidad Marcelino Champagnat	17	0	15	0	2	0	34
Universidad Católica San Pablo	9	0	3	0	0	0	12
Universidad Privada del Norte	36	1	16	0	2	0	55

Fuente: SUNEDU - Resoluciones del Consejo Directivo de SUNEDU de otorgamiento de licencia institucional a universidades.
Elaboración: SUNEDU.

Nota: elaboración propia.

Figura 8

Porcentaje de puestos ocupados por docentes con grado de doctor obtenido en el extranjero, por tipo de gestión, según gran dominio y total nacional, Licenciamiento Institucional.



Nota: Se cuenta con información de 140 universidades.
Fuente: Smedu, 2015-2019.

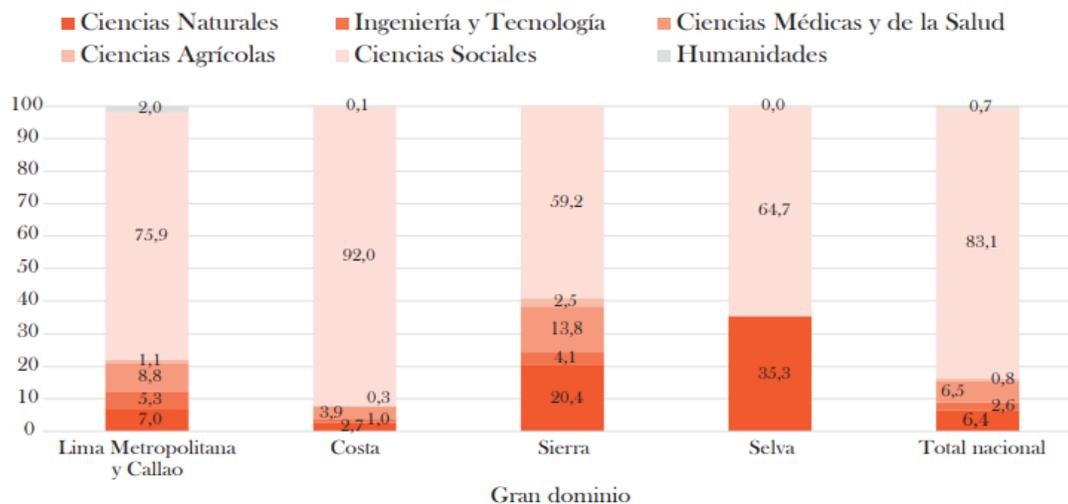
Nota: elaboración propia.

A Nivel Nacional en el año 2017, se registraron 2592 diplomas de doctorados; de los cuales, 754 fueron emitidos por universidades con sede en Lima Metropolitana y Callao; 1502, por universidades con sede en la costa; 319, en la sierra; y 17, en la selva. En la Fig. N° 9 se observa que, a Nivel Nacional, la concentración del número de profesionales formados en ciencias sociales es considerable (83,1% del total), seguido por las ciencias médicas y de la salud (6,5%) y las ciencias naturales (6,4%). De igual manera, en todos los dominios geográficos predominan los títulos en programas de ciencias sociales, especialmente en las universidades con sede en la costa (92,0%) en Lima y Callao (75,9%). Es importante advertir que existe una mayor diversidad relativa en las áreas del conocimiento de los doctores tanto en la sierra como en Lima Metropolitana y Callao, en contraste con lo que se observa en la costa y, especialmente, en la selva. Además de los grados de Doctor en ciencias sociales, en las universidades con sede en Lima y Callao, se registran doctorados en las áreas de ciencias médicas (8,8%), ciencias naturales (7,0%) e ingeniería (5,3%), y en menor proporción en humanidades (2,0%) y ciencias agrícolas (1,1%).

Las universidades con sedes a nivel nacional.

Figura 9

Porcentaje de doctorados registrados, por área del conocimiento, según gran dominio y total nacional, 2021



Fuente: Se consideran los diplomas incluidos en el "Registro nacional de grados y títulos" actualizado al 03 de noviembre del 2019. Se agrupan las universidades según ubicación de la sede principal.

Fuente: Sunedu, 2019.

Nota: elaboración propia.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El reto de mejorar la pertinencia y calidad de los programas de estudio refleja la tendencia de diversificación de las instituciones y diferenciación en la calidad de los programas en otros países de la región (Aponte, 2008). En el Perú, al igual que en otros países, la búsqueda de la mejora de la Calidad en la Educación Superior Universitaria y en las Escuelas de Posgrado, se evidencia con la implementación del Modelo de Licenciamiento Institucional y el Cumplimiento de Condiciones Básicas de Calidad (SUNEDU).

La necesidad de los países de ampliar la cobertura y el acceso a través del crecimiento del sector privado y los proveedores transnacionales han conducido a la inserción de programas virtuales de bajo costo y de menor calidad. Y, a la falta de organismos reguladores, se limita a reglamentar los programas a distancia, por lo que es necesario actualizar y ampliar dichos programas de estudio (IESALC UNESCO, 2008).

En el Perú, existe un gran número de universidades, producto de una masificación ocurrida a partir de la década del 90. Las universidades privadas tuvieron dos momentos de

crecimiento, entre los años 80 al 95, tratando de asimilar la demanda no cubierta por las universidades nacionales, en la última década se experimentó un brusco incremento (Nava, 2005). El impacto de la masificación y comercialización es un proceso de urgencia para el desarrollo de los recursos humanos que necesita la actividad económica, el gobierno y los servicios efectivos a los distintos sectores de la sociedad (Aponte, 2008). Una masificación descontrolada conlleva a la implementación de servicios de baja calidad.

El problema en el Perú es el bajo nivel académico por la falta de capacitación de los profesores lo que conlleva a una baja calidad de los estudiantes (Mabres, 2008) y esto se enfoca mucho más en las universidades públicas y sobretodo en las universidades de la sierra; en concordancia se puede observar que según el II Informe Bienal de la Realidad de la Educación Universitaria elaborado por SUNEDU, en promedio se tiene 16,5 estudiantes/docente, lo cual supera la relación establecida por SINEACE y lo recomendado por las universidades de Reino Unido del tercio superior, que van de 10,3 a 15,3 lo cual indica una demanda de docentes a Nivel Nacional.

En esta misma línea, en las Figuras N° 4 y N° 5 se observa que al año 2015 la Ley Universitaria N° 30220 indica que las universidades deban tener el 25% de sus docentes a tiempo completo y a dedicación exclusiva; por lo que, a la actualidad las universidades han incrementado en un 38,9% de docentes a tiempo completo, lo que ratifica la gran demanda en las universidades.

El artículo N° 82 de la Ley Universitaria especifica que, para el ejercicio de la docencia a nivel superior universitario, los docentes deben contar con el grado académico de Maestro y/o Doctor. En el año 2015 se observa que el total de docentes en las universidades públicas con grado de Maestro era del 32% y con grado de Doctor un 18,5%; a diferencia del 2017, se observa un notable incremento en la obtención del grado de Maestro y/o Doctor, pues se evidencia 44,6% docentes con grado de Maestro y 24,7% con grado de Doctor. El comportamiento es más notorio en las universidades privadas, en donde, las universidades asociativas al 2015, tiene 26,9% de maestros y 10,9% de doctores, incrementándose al 2017, a 45,4% de maestros y 16,4% de doctores. Asimismo, en las universidades societarias, el incremento fue de 25,6% a 57,8 % en el caso de maestros y de 6,4% a 13,4% en el caso de doctores.

Este incremento en el número de docentes con grado de maestría y doctorado, presenta un efecto reactivo, siendo el resultado de las exigencias establecidas en el proceso de la Reforma Universitaria implementado en el Perú a partir de la promulgación de la Ley Universitaria N° 30220, lo cual no garantiza el Aseguramiento de la Calidad en las Escuelas de Posgrado, por el contrario, la reducción del número de créditos⁶⁶ exigidos en esta Nueva Ley ha conllevado a la oferta de programas de maestría de corta duración y un efecto contrario en la oferta de un servicio académico de calidad, sobre todo en el ámbito privado, en tal sentido, Aranda (2014) señala que el Sistema Universitario de Posgrado Privado no tiene un buen posicionamiento en América Latina debido a problemas estructurales.

La calidad en educación de posgrado en el Perú es de un bajo nivel de enseñanza, el cual no es el adecuado para la formación de profesionales que sean reconocidos a nivel nacional y mundial según el Consejo Nacional de Educación y tal como lo cita Arones (2015). El número de posgraduados se ha incrementado en el bajo nivel de calidad de las tesis de maestría según Sanabria (2014), a partir de ello se reporta que el 66% de tesis no fueron aceptables en la Maestría de Gerencia de Servicios de Salud. Por lo tanto, muchos de los programas de posgrado se cierran por la mala implementación del Modelo de Licenciamiento Institucional como parte de la Reforma Universitaria (figura N° 2).

En las universidades se observa una alta demanda de docentes para los estudios de posgrado tomando en cuenta que existe un incremento en el número de estudiantes, lo cual ha permitido que un gran porcentaje de programas de posgrado carezcan de calidad, un 84% de estos estudios corresponden a las ciencias sociales como se observa en la Figura N° 9, lo cual evidencia que los estudios semipresenciales son de baja calidad tomándose más en cuenta los ingresos económicos sin importar el nivel académico ofertado.

En base al análisis realizado para el cumplimiento de los objetivos planteados, se ha llegado a las siguientes conclusiones:

⁶⁶ **Artículo. 43:** Estudios de Posgrado

43.2 Maestrías: Estos estudios pueden ser:

43.2.1 Maestrías de Especialización: Son estudios de profundización profesional.

43.2.2 Maestrías de Investigación o académicas: Son estudios de carácter académico basados en la investigación.

Se debe completar un mínimo de cuarenta y ocho (48) créditos y el dominio de un idioma extranjero,

- El problema de la universidad peruana es el del bajo nivel académico donde los docentes universitarios de las facultades se sienten desmotivados por la falta de una capacitación especializada en pre y posgrado, como resultado, se obtienen bajos niveles de exigencia en la formación de posgrado. Por otro lado, la mala formación de los estudiantes en el pregrado conlleva a una mala preparación en el posgrado.
- El incremento del número de docentes con grado de Maestro y/o Doctor, fue el resultado de las exigencias establecidas en el proceso de la Reforma Universitaria implementado en el Perú a partir de la promulgación de la Ley Universitaria N° 30220, lo cual no garantiza el Aseguramiento de la Calidad en las Escuelas de Posgrado.
- La baja calidad de formación de profesionales en el posgrado se evidencia en el bajo nivel de las tesis de maestría y doctorado.
- La alta demanda de docentes en las universidades dio lugar al incremento de estudios de posgrado, cuyo objetivo se centra en contar con un mayor número de estudiantes.
- El modelo de licenciamiento implementado en el Sistema Universitario Peruano, permitió identificar un número considerable de programas de baja calidad que han desistido en su oferta a nivel de pre y posgrado; sin embargo, a la fecha hay un número de programas que continúan ofertando el servicio educativo.
- Un gran porcentaje de programas de posgrado carecen de calidad, y un 84 % de estos estudios corresponden a las ciencias sociales, dando lugar a un mínimo porcentaje de programas de posgrado en ofertas académicas relacionadas a las áreas de ingeniería y ciencias de la salud.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aponte, E. y Molina, A. (2006). Research and Knowledge Creation in the Caribbean for Endogenous Development and Building Autonomous Knowledge societies: The University of Puerto Rico and Beyond. En *Universities as Centres of Research and Knowledge Creation: An Endangered Species*. Brill.
https://doi.org/10.1163/9789087904807_009
- Aranda, A., Castro, T., Fuentes, R. y Prado, P. (2014). *Planeamiento Estratégico del Sistema Universitario de Posgrado Privado*. [Tesis de maestría]. Repositorio PUCP.
<http://hdl.handle.net/20.500.12404/14212>
- Aronés, C., Garnique, P., Letona, J. y Tomandl, J. (2015). *Calidad en las Empresas del Sector Educación Posgrado Peruano*. [Tesis de maestría]. Repositorio PUCP.
<http://hdl.handle.net/20.500.12404/14848>
- Baca, A. M., León, M. E., Mayta, J. y Bancayán, C. (2014). Aseguramiento de la calidad de la formación universitaria en el Perú. *Revista Electrónica Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 17(3), 35-47.
<http://dx.doi.org/10.6018/reifop.17.3.204151>
- Agencia Sueca de Cooperación Internacional para el Desarrollo. (2002). *The UNESCO Forum on Higher Education, Research and Knowledge: a WCHE Follow-up Activity*. UNESCO.
- Ley N° 30220 de 2014. La presente ley tiene por objeto normar la creación, funcionamiento, supervisión y cierre de las universidades. 9 de julio de 2014.
- La República. (10 de octubre de 2018). Sunedu: 807 programas de estudio cerraron por baja calidad. *La República*. <https://larepublica.pe/sociedad/1335573-sunedu-807-programas-estudio-cerraron-baja-calidad-ministerio-educacion-universidades>
- Dolors, B. M. (1999). El papel de la educación superior en el crecimiento y desarrollo de los países iberoamericanos. *Scripta Nova Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*. 45(39). <https://www.ub.edu/geocrit/sn-45-39.htm>

- El-Khawas, E. (2001). *Accreditation in the USA: Origins, Developments and Future Prospects*. Improving the Managerial Effectiveness of Higher Education.
- Flores, S. y Cesar, J. (2017). *Licenciamiento v acreditación universitaria para el aseguramiento de la calidad educativa en la Universidad Nacional de Ucayali*. [Tesis de pregrado]. Repositorio Universidad Nacional de Ucayali - Perú.
- Gallegos, A. (2017). Educación superior y licenciamiento: El caso de las universidades del Perú. *Revista Espacios*, 38(60).
<https://www.revistaespacios.com/a17v38n60/a17v38n60p35.pdf>
- Instituto Internacional para la Educación Superior en América Latina y el Caribe. (2008). *La educación superior en América Latina y el Caribe: diez años después de la Conferencia Mundial de 1998*. Pontificia Universidad Javeriana Cali, Colombia.
- Mabres, A. (2008). Problemas y perspectivas de las universidades peruanas. *Notas para el debate*, 12, 39-46.
- Minaña, C. y Rodríguez, J. (2011). Calidad, evaluación y acreditación en la educación superior: a propósito de un proyecto de reforma en Colombia. *Pensamiento Jurídico*, (31), 155-185.
- MINEDU. (n. f.). *Reforma Universitaria: 10 beneficios de la ley universitaria*.
<http://www.minedu.gob.pe/reforma-universitaria/10-beneficios-ley-universitaria.php>
- Nava, H. (2005). *Evaluación y acreditación de la Educación Superior. El caso del Perú*. IESALC/UNESCO. <https://hdl.handle.net/20.500.12799/286>
- Orellana-Cuellar, L., Ipenza-Macedo, D. y Coronado-Quispe, J. (2016). Calidad de enseñanza universitaria: relación estudiante/docente. *Anales de la Facultad de Medicina*, 77(1), 65-66. <https://dx.doi.org/10.15381/anales.v77i1.11557>
- Bridgestock, L. (06 de febrero de 2017). QS World University Rankings. (2016). *Top Universities*. <https://www.topuniversities.com/university-rankings-articles/world-university-rankings/qs-world-university-rankings-201516-out-now>

- Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria. (2015). *El Modelo de Licenciamiento y su Implementación en el Sistema Universitario Peruano*. SUNEDU.
- Rivera, J. (2016). La problemática universitaria actual y una propuesta de solución. *Revista de Instituto de Defensa Legal*, (249).
- Rojas, J. E. (2011). Reforma universitaria en el Ecuador. *Etapas de transición Innovación Educativa*, 11(57), 59-67.
- Sanabria-Rojas, H. A., Tarqui-Mamani, C. B. y Zárate-Cárdenas, E. E. (2011). Calidad de las tesis de maestría en temas de salud pública: Estudio en una universidad pública de Lima, Perú. *Educación Médica*, 14(4), 215-220.
http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1575-18132011000400004&lng=es&tlng=es.

11. MARCO DE COHERENCIA Y GESTIÓN ESCOLAR EN INSTITUCIONES EDUCATIVAS POLIDOCENTES DEL NIVEL PRIMARIA, UGEL ANDAHUAYLAS⁶⁷

Framework of Coherence and School Management in Politeaching Educational Institutions at the Primary Level, Ugel Andahuaylas

Jubenal Mendoza Valenzuela⁶⁸

Esther Reyna Merino Ascue⁶⁹

Juan Solano Gutierrez⁷⁰

José Pardo Gómez⁷¹

Kenyo Solano Perales⁷²

Pares evaluadores: Red de Investigación en Educación, Empresa y Sociedad – REDIEES⁷³

⁶⁷ Derivado del proyecto de investigación: Marco de coherencia y gestión escolar en Instituciones Educativas polidocentes del nivel primaria, UGEL Andahuaylas

⁶⁸ Licenciado En educación primaria, Magister en administración mención gerencia de la educación, Docente de la universidad nacional José María Arguedas de Andahuaylas, correo electrónico: jmendoza@unajma.edu.pe

⁶⁹ Licenciado En administración de empresas, Magister en gestión pública, docente de la universidad nacional José María Arguedas de Andahuaylas, correo electrónico: ermerino@unajma.edu.pe

⁷⁰ Licenciado En educación primaria, Magister en administración mención gerencia de la educación, Doctor en ciencias de la educación, correo electrónico: jsolano@unajma.edu.pe

⁷¹ Lic. En educación primaria, Magister en lingüística andina y educación, correo electrónico: jpardo@unajma.edu.pe

⁷² Ingeniero de sistemas e informática, Magíster Scientiae en Informática con Mención en: Gerencia de Tecnologías de Información y Comunicaciones, correo electrónico: ksolanop@utea.edu.pe

⁷³ Pares evaluadores: Red de Investigación en Educación, Empresa y Sociedad – REDIEES

MARCO DE COHERENCIA Y GESTIÓN ESCOLAR EN INSTITUCIONES EDUCATIVAS POLIDOCENTES DEL NIVEL PRIMARIA, UGEL ANDAHUAYLAS

*Jubenal Mendoza Valenzuela, Esther Reyna Merino Ascue, Juan Solano Gutierrez,
José Pardo Gómez, Kenyo Solano Perales.*

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo determinar la relación existente entre el marco de coherencia y la gestión escolar en las Instituciones Educativas polidocentes del nivel primaria del distrito de Talavera, UGEL Andahuaylas – 2022”. Con respecto a la metodología se trata de una investigación de alcance descriptiva, con un diseño no experimental de tipo descriptivo correlacional, de corte transversal. La población estuvo conformada de 129 docentes, con una muestra de 98 docentes seleccionados de manera probabilística, aleatorio simple. El recojo de información se realizó mediante un cuestionario que permite medir el nivel de percepción de los docentes sobre el marco de coherencia y gestión escolar con 39 y 28 ítems respectivamente. Para el procesamiento y análisis de los datos obtenidos se utilizó el Microsoft Excel y el SPSS versión 25.

Se concluye que existe un nivel bueno en la implementación del marco de coherencia y la gestión escolar respectivamente, en tanto hay una correlación directa y significativa entre las variables de estudio; lo que implica que la puesta en práctica del marco de coherencia evidencian el reconocimiento de la interdependencia de los diferentes aspectos que conforman la institución educativa: focalización de la dirección, cultivo de culturas colaborativas, profundización del aprendizaje, aseguramiento de la rendición de cuentas y liderazgo para el logro de coherencia; lo cual tiene relación con la gestión escolar en las Instituciones Educativas del nivel primaria.

Palabras Clave: coherencia; focalizar la dirección; cultura colaborativa; aprendizaje profundo; Rendición de cuentas; Liderazgo y gestión escolar.

ABSTRACT

The objective of this study was to determine the relationship between the coherence framework and school management in multi-teaching Educational Institutions at the primary level of the district of Talavera, UGEL Andahuaylas - 2022". Regarding the methodology, it is a research of descriptive scope, with a non-experimental design of a descriptive correlational type, cross-sectional. The population consisted of 129 teachers, with a sample of 98 teachers selected in a probabilistic, simple random manner. The collection of information was carried out through a questionnaire that allows measuring the level of perception of teachers about the framework of coherence and school management with 39 and 28 items respectively. For the processing and analysis of the data obtained, Microsoft Excel and SPSS version 25 were used.

It is concluded that there is a good level in the implementation of the coherence framework and school management respectively, while there is a direct and significant correlation between the study variables; which implies that the implementation of the coherence framework demonstrates the recognition of the interdependence of the different aspects that make up the educational institution: focus of the management, cultivation of collaborative cultures, deepening of learning, assurance of accountability and leadership. for the achievement of coherence; which is related to school management in Educational Institutions at the primary level.

Key Words: coherence; focus management; collaborative culture; deep learning; accountability; leadership and school management.

INTRODUCCIÓN

Referido al tema, se realizaron investigaciones, una de ellas por Sardon (2017) quien investigó sobre liderazgo transformacional utilizado por el director y la gestión escolar en Instituciones Educativas primarias que aplican el enfoque ambiental; en cuyo estudio concluye que existe una correlación positiva moderada entre el liderazgo transformacional y la gestión escolar obtenida en la prueba estadística, $r = 0.681$. Por otro lado, Cuglievan y Rojas (2008) quienes en su estudio sobre, la gestión escolar en el marco de la autonomía: una mirada desde el cotidiano a cinco Instituciones Educativas estatales de Lima; llegaron a la conclusión: que si bien la concepción de la escuela peruana (y, por ende, los roles y funciones de sus actores) está cambiando desde disposiciones normativas, esta nueva concepción aún no se practica en los espacios escolares y las aulas, de manera suficiente y adecuada.

La creación de la coherencia, en otras palabras, es el proceso continuo de hacer y rehacer el significado en nuestra propia mente y cultura. La RAE define *coherencia* como “Conexión, relación o unión de unas cosas con otras” (Fulland y Quinn, 2017, p. 11).

En el campo educativo el concepto de coherencia lo entendemos como la pieza clave para lograr aprendizajes profundos en nuestro sistema educativo.

Partiendo de esta reflexión, podemos entender por qué la coherencia es tan difícil de lograr en condiciones de sobrecarga, fragmentación y cambio de políticas. Pero es posible de lograr, siguiendo la ruta de la coherencia a través de la acción y la interacción decidida, involucrando capacidad, claridad, precisión de la práctica, transparencia, seguimiento del progreso y corrección continua. Para todo esto es necesario la mezcla adecuada de presión y apoyo, una presión que permita lograr el progreso dentro de culturas enfocadas.

Para aproximarnos a una conceptualización académica y precisa sobre marco de coherencia institucional, lo que se ha hallado al revisar la literatura son aproximaciones desde distintos puntos de vista.

Los primeros textos revisados son de naturaleza descriptiva y este tiende a la identificación de rasgos críticos que determinan a la coherencia institucional: es esta la relación significativa entre las distintas características, dimensiones, procesos y políticas que

componen la cultura escolar, elaborada con la intencionalidad de mejorar los aprendizajes de los alumnos. La segunda parte de la revisión está más cerca a ser empírica, en el sentido de ser comprobable, y establece las condiciones para comprobar si una institución educativa es coherente o no. Finalmente, en la siguiente definición: una institución educativa es coherente si las decisiones que se adoptan acerca de las dimensiones, procesos y políticas, constitutivos de su cultura, están relacionadas entre sí (si es posible con una relación estadísticamente significativa) y tienen la intención de mejorar los aprendizajes del alumnado. Desde este punto de vista, Newman et al. (2001) ofrecen una definición más funcional, puesto que identifican las principales decisiones que hay que adoptar para que un centro sea coherente.

De estas definiciones se desprenden tres ideas fuerza en torno a la coherencia institucional:

1. Las dimensiones de la cultura escolar (aspectos, procesos, políticas).
2. Las relaciones que se tienen que establecer entre las dimensiones, aspectos, procesos y políticas de la cultura escolar.
3. La exigencia de que esas relaciones tienen una intencionalidad muy clara: influir en la mejora de los aprendizajes del alumnado.

El Marco de Coherencia nos presenta cinco componentes tal como lo plantea Fullan y Quinn (2017):

- a) Focalización de la dirección, que es la capacidad de desarrollar y sostener una dirección focalizada frente a las exigencias competitivas y complejas, tanto interna como externamente.
- b) Cultivo de culturas colaborativas, que consiste en la implantación de una cultura de crecimiento, basado en el liderazgo que sepa cómo conquistar a todos y focalizar su inteligencia, talento y compromiso de forma colectiva para abrir un nuevo camino; que reconozcan que lo que atrae a la gente es un trabajo significativo en colaboración con otros; que usen al grupo para cambiar al grupo mediante la creación de trabajo colaborativo profundo, horizontal y vertical en todas sus organizaciones que formen a muchos líderes que, a su vez, formen a otros, contribuyendo así a la sustentabilidad de la organización.

- c) Profundización del aprendizaje, Es la profundización del conocimiento adquirido, tanto en la pedagogía, como en el liderazgo, que gracias a la ciencia cognitiva y la investigación sobre el aprendizaje ha dado las herramientas para hacer del aprendizaje algo positivo. En síntesis, se entrelazan la pedagogía y lo digital para presentar nuevas formas principales de contribución y aprendizaje más profundo.
- d) Aseguramiento de la rendición de cuentas, donde el acatamiento de cuentas interna se da cuando los individuos y grupos toman naturalmente la responsabilidad personal, profesional y colectiva para la mejora continua y el triunfo de todos los alumnos (Hargreaves y Shirley, 2009). La rendición de cuentas externa ocurre cuando los guías del sistema tranquilizan al público con perspicacia, controles e intervención selectiva exponiendo que su sistema está rindiendo según las expectativas y requisito de la sociedad.
- e) Liderazgo para el logro de coherencia, es la práctica del liderazgo con un objetivo claro y la puesta en acción de los impulsores correctos, posibilitando el establecimiento de condiciones favorables para el logro de la coherencia.

Por otro lado, Rojas (2012) define la gestión educativa como el proceso encaminado a dirigir y mantener la institución educativa, administrativa y pedagógicamente de manera democrática, equitativa y eficiente, de tal manera que los estudiantes se desarrollen de manera responsable; construyendo una democracia sólida. Los directivos tienen que aprender a anticipar los hechos, superando todo obstáculo consensuando con la comunidad educativa, logrando compromisos y aspiraciones que desean todos.

Según López (2005), la gestión educativa debe considerarse como una acción para poner en práctica las decisiones tomadas en dar solución a los tipos de problemas. La Gestión educativa es aquel que coordina y articula los planes desarrollados por el equipo de trabajo que facilita el sentido pedagógico con la participación continua de toda la comunidad educativa. Actualmente el término gestión tiene un significado amplio, mientras la administración tiene un sentido de direccionar a los administrados, tal como lo expresa Casassus (2000); por esta razón las instituciones educativas en la actualidad no solo requieren ser administrados, sino también necesitan ser gestionados pedagógica y administrativamente.

Al abordar estos dos conceptos: gestión y administración; se define como un todo a la gestión y a la administración como una parte del todo; cada uno de ellos tiene que ver con el manejo institucional y la distribución equitativa de los recursos. Por lo tanto, ambos son necesarios para una buena gestión.

Según la UNESCO (2011), en el Perú, la gestión educativa en todos sus ámbitos fortalece el crecimiento interno y externo de manera significativa de una institución, y da un paso importante para hacer conciencia en el sistema educativo y generar un cambio. Dentro de las instituciones educativas se fomenta una serie de reglas donde se basan en el orden institucional, y por otra parte en la organización interna, basándose en la mejora de la misma; una parte significativa para esta realización es demandar los recursos básicos de las instituciones. El termino gestión es una palabra muy amplia debido a que no solo implica pedir algo, sino que lleva una serie de pasos que se deben cumplir, se aplica en todas las instituciones sea educativa como empresarial. La gestión involucra cambios debido a que es una manera de ordenación, donde se debe cambiar no solo lo interno sino también lo externo, el cambio debe ser desde lo económico hasta lo general, debido a que la organización trata continuamente en un entorno versátil. No se debe olvidar que el campo de la gestión es muy amplio puesto que se categoriza en cuatro ámbitos: educativa, institucional, escolar y pedagógica.

Es así como, en el marco del Sistema Educativo Peruano (SEP), la definición de gestión escolar vigente es la siguiente: Conjunto de procesos administrativos y estrategias de liderazgo que buscan lograr el desarrollo integral de las y los estudiantes y garantizar su acceso a la educación básica hasta la culminación de su trayectoria educativa. Esto se alcanza a través de la gestión de las condiciones operativas, de la gestión de la práctica pedagógica y de la gestión del bienestar escolar. Las funciones de la gestión escolar según Salvador (2016) son:

- a) **Planificación** Es el proceso de identificar y definir objetivos organizacionales y proponer medios para lograrlos. Implica la evaluación del futuro y la previsión en función de él. Unidad, continuidad, flexibilidad y valoración son los aspectos principales de un buen plan de acción.

b) Organización Es el proceso para ordenar y distribuir el trabajo, la autoridad y los recursos entre los integrantes de una organización, de tal manera que estos puedan alcanzar las metas de la organización. Diferentes metas requieren diferentes estructuras para poder realizarlos.

c) Ejecución: Dirigir implica dirigir, mandar, guiar, influir y motivar a los empleados para que realicen tareas esenciales. La dirección llega al fondo de las relaciones de los gerentes con cada una de las personas que trabajan con ellos

d) Control, El control en el proceso administrativo que consiste en evaluar y medir la ejecución de los planes, con el fin de detectar y prever desviaciones para establecer las medidas correctivas necesarias.

El problema que se observa en las Instituciones Educativas polidocentes del nivel primaria del distrito de Talavera es la escasa aplicación del marco de coherencia o impulsores correctos (Focalización de la dirección, cultivo de culturas colaborativas, profundización del aprendizaje, aseguramiento de la rendición de cuentas, liderazgo para el logro de coherencia), cuyo hecho repercute en la gestión escolar, específicamente en las deficiencias de la planificación, organización, dirección y control; en el bajo nivel de logro de los objetivos y cumplimiento de metas de aprendizaje de los estudiantes.

En la presente investigación, responde a la siguiente interrogante como problema general: ¿qué relación existe entre el marco de coherencia y la gestión escolar?

Como objetivo general se planteó: determinar la relación que existe entre el marco de coherencia y la gestión escolar

Como hipótesis general, se ha planteado que: existe una relación significativa entre el marco de coherencia y la gestión escolar de las Instituciones Educativas polidocentes del nivel Primaria del distrito de Talavera UGEL Andahuaylas - 2021.

MATERIAL Y MÉTODOS

De acuerdo a lo propuesto por Hernández y Mendoza (2014), la presente investigación corresponde al enfoque cuantitativo, de alcance descriptivo, diseño no

experimental de corte transversal, de tipo descriptivo correlacional; porque trata de identificar la correspondencia que existe entre la variable marco de coherencia y gestión escolar. La población estuvo constituida por 129 profesores que trabajan en las Instituciones Educativas poli docentes del nivel primaria que se ubican en el Distrito de Talavera, Andahuaylas, Apurímac - 2021, las cuales son: Institución Educativa N° 54177, Institución Educativa N° 54178, Institución Educativa N° 54180, Institución Educativa N° 55006-17, Institución Educativa N° 55005-3, 54216 Pampamarca, Institución Educativa N° 54221 de Luispata y la Institución Educativa N° 55006-2 San José de Cluni. La muestra estuvo compuesta por 98 docentes, seleccionados de manera probabilística, aleatorio simple. Para la recolección de datos se ha hecho uso de dos cuestionarios denominados: “Cuestionario para medir el marco de coherencia” que consta de 39 ítems; y “Cuestionario para medir la gestión escolar” que consta de 28 ítems; los instrumentos se elaboraron en base a la teoría y las dimensiones de las dos variables, el marco de coherencia, Fullan y Quinn (2017): tales como: focalización de la dirección, cultivo de culturas colaborativas, profundización del aprendizaje, aseguramiento de la rendición de cuentas, liderazgo para el logro de coherencia y como segunda variable la gestión escolar tales como: planificación, organización, ejecución, control. La aplicación se realizó a través de Google forms, debido al contexto generado por COVID-19. Además, se procedió a verificar la fiabilidad a través del estadístico Alfa de Cronbach obteniendo un valor de 0,989; el cual, de acuerdo a Palella y Martins (2012), tiene muy alto nivel de confiabilidad.

RESULTADOS

Tras la aplicación de los instrumentos de investigación, se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 1
Marco De Coherencia

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Muy bajo	5	5,2	5,2	5,2
	Bajo	14	14,4	14,4	19,6
	Regular	15	15,5	15,5	35,1
	Bueno	32	33,0	33,0	68,0

Muy bueno	31	32,0	32,0	100,0
Total	97	100,0	100,0	

Nota: Esta tabla muestra los niveles de percepción de los docentes sobre el marco de coherencia. Elaboración propia.

En cuanto al nivel de percepción de los docentes de las Instituciones Educativas poli docentes del nivel primaria del distrito de Talavera; sobre la implementación del marco de coherencia, el 33% y 32% de los docentes encuestados señalan que el nivel de aplicación del marco de coherencia en la gestión escolar del equipo directivo es bueno y muy bueno, lo que implica que en las instituciones educativas mencionadas la gestión escolar del equipo directivo promueven los impulsores correctos (focalización de la dirección, cultivo de culturas colaborativas, profundización del aprendizaje, Aseguramiento de la rendición de cuentas, liderazgo para el logro de coherencia). Así mismo el 15,5% indica que existe un regular nivel; el 14,4% y 5,2% califican como bajo y muy bajo nivel (respectivamente) la aplicación del marco de coherencia en la gestión escolar lo cual se constituye como preocupante dado que la suma porcentual (19,6%) evidencia que en algunas instituciones educativas no se evidencia la aplicación del marco de coherencia en la gestión escolar. Dado el primer análisis, se concluye que existe un buen nivel de implementación del marco de coherencia por parte del equipo directivo en las Instituciones Educativas poli docentes del nivel primaria del distrito de Talavera.

Tabla 2
Gestión Escolar

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Muy bajo	13	13,4	13,4	13,4
	Bajo	3	3,1	3,1	16,5
	Regular	13	13,4	13,4	29,9
	Bueno	31	32,0	32,0	61,9
	Muy bueno	37	38,1	38,1	100,0
	Total	97	100,0	100,0	

Nota: Esta tabla muestra los niveles de percepción de los docentes sobre gestión escolar. Elaboración propia.

Tal como se aprecia en la tabla 2, se presentan los resultados de la variable gestión escolar, donde se observa que el 38,1% y 32% de los docentes encuestados, indican que el

nivel de gestión escolar realizado por el equipo directivo; es bueno y muy bueno respectivamente, lo que implica que el equipo directivo realiza una gestión escolar eficiente debido a que cumple oportunamente con las funciones de: planificación, organización, ejecución y control, permitiendo cumplir oportunamente los objetivos y metas de aprendizaje de los estudiantes. Por otro lado, es preocupante que 13.4% califique con un nivel regular, el 3% bajo y el 13,4% muy bajo nivel la gestión escolar, dando a entender que en algunas instituciones educativas del ámbito de estudio no existe una gestión escolar eficiente. Dado el primer análisis se concluye que existe un buen nivel de implementación de la gestión escolar (70,1%) por parte del equipo directivo en las Instituciones Educativas polidocentes del nivel primaria del distrito de Talavera.

Tabla 3

Marco de coherencia y gestión escolar

			Gestión Escolar
Rho de Spearman	Marco de coherencia	Coefficiente de correlación	,848**
		Sig. (bilateral)	,000
		N	97

***. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).*

Nota: Nivel de correlación de las variables marco de coherencia y gestión escolar. Elaboración propia.

Tal como se muestra en la tabla N° 3, el nivel de correlación de las variables de investigación: marco de coherencia y gestión escolar, es significativa conforme se observa el coeficiente de correlación de 0,848 y el nivel de significancia 0,000 que es menor a 0,005; por ello se concluye que existe una correlación directa y significativa entre el marco de coherencia y gestión escolar en las Instituciones Educativas poli docentes del nivel primaria del distrito de Talavera. Lo que implica que la aplicación del marco de coherencia o impulsores correctos (focalización de la dirección, cultivo de culturas colaborativas, profundización del aprendizaje, Aseguramiento de la rendición de cuentas, liderazgo para el logro de coherencia) tienen relación o repercusión en la buena gestión escolar; en consecuencia, en el logro de las metas y objetivos de aprendizaje de los estudiantes.

conforme se observa el coeficiente de correlación de 0,848. Lo cual significa que el equipo directivo de las Instituciones Educativas poli docentes del nivel primaria del distrito de Talavera, ponen en práctica el marco de coherencia o los impulsores correctos concretizando focalización de la dirección, cultivo de culturas colaborativas, profundización del aprendizaje (investigación y conocimiento profundo sobre el aprendizaje), Aseguramiento de la rendición de cuentas y el ejercicio del liderazgo para el logro de coherencia; de manera adecuada en el proceso de gestión escolar; cuyo hecho repercute de manera positiva en la planificación, organización, ejecución y control; centrados en el logro de metas y objetivos de aprendizaje de los estudiantes.

Por otro lado, tenemos a Cuglievan y Rojas (2008), quienes en su investigación sobre, la gestión escolar en el marco de la autonomía: una mirada desde el cotidiano en cinco Instituciones Educativas estatales de Lima; concluyen: que si bien la concepción de la escuela peruana; así como, los roles y funciones de sus actores, están cambiando desde disposiciones normativas, esta nueva concepción aún no ingresa a los espacios escolares, ni de manera suficiente ni adecuada a las aulas. Contrario a este resultado en la presente investigación se ha podido encontrar que los docentes encuestados califican como bueno el nivel de gestión escolar en las Instituciones Educativas poli docentes del distrito de Talavera Andahuaylas, ya que un 38,1% y 32% le atribuyen el nivel muy bueno y bueno respectivamente; lo cual significa que el equipo directivo realiza una gestión escolar eficiente debido a que cumple oportunamente con las funciones de: planificación, organización, ejecución y control. Este resultado evidencia que actualmente el sistema educativo peruano y las instancias descentralizadas (DRE, UGEL, IE), conforme al planteamiento de Fullan y Quinn (2017), ponen en práctica una gestión vinculado al marco de coherencia debido a que aplican los impulsores correctos (focalización de la dirección, cultivo de culturas colaborativas, profundización del aprendizaje, Aseguramiento de la rendición de cuentas, liderazgo para el logro de coherencia.), permitiendo promover una gestión escolar eficiente.

CONCLUSIONES

Analizando la relación de las variables de investigación: marco de coherencia y gestión escolar se observa que existe una relación directa y significativa, conforme se observa el coeficiente de correlación de Spearman 0,848 y el nivel de significancia 0,000 que es menor a 0,005. Lo cual significa que el equipo directivo de las Instituciones Educativas poli docentes del nivel primaria del distrito de Talavera, ponen en práctica el marco de coherencia o los impulsores correctos (focalización de la dirección, cultivo de culturas colaborativas, profundización del aprendizaje, Aseguramiento de la rendición de cuentas, liderazgo para el logro de coherencia), de manera adecuada en el proceso de gestión escolar; cuyo hecho repercute de manera positiva en la planificación, organización, ejecución y control; centrados en el logro de metas y objetivos de aprendizaje de los estudiantes.

El nivel de percepción de los docentes de las Instituciones Educativas poli docentes del nivel primaria del distrito de Talavera; sobre la implementación del marco de coherencia es bueno; ya que, se observa que el 33% y 32% de los docentes encuestados, perciben como bueno y muy bueno respectivamente; lo cual, evidencia que el equipo directivo operativiza de manera práctica el marco de coherencia, establecido como fundamento teórico en la gestión escolar del sistema educativo peruano. Aunque se pondera la aplicación del marco de coherencia en el nivel bueno, existe un acumulado de 19,6% de docentes que perciben como muy bajo (5.4%) y bajo nivel (14,2%) la aplicación del marco de coherencia.

El nivel de gestión escolar, conforme a la percepción de los docentes encuestados es bueno; ya que el 32% y 38,1% respectivamente, percibe como bueno y muy bueno la gestión escolar en las Instituciones Educativas poli docentes del nivel primaria del distrito de Talavera durante el año 2022. Lo cual evidencia que el equipo directivo promueve una gestión escolar eficiente, enfocado en la mejora constante de los niveles de aprendizaje de los estudiantes y el cumplimiento oportuno de las funciones de: planificación, organización, ejecución y control. Aunque se pondera la gestión escolar en el nivel bueno, existe un acumulado de 16,4% de docentes que perciben como bajo (3%) y muy bajo (13,4%), la gestión escolar que realiza el equipo directivo.

El nivel de correlación entre el marco de coherencia y las dimensiones de la variable de gestión escolar (planificación, organización, ejecución y control), de manera general se observa que existe una relación directa y significativa con cada una de ellas, corroborado por el coeficiente de correlación de la siguiente manera: marco de coherencia y planificación 0,720; marco de coherencia y organización 0,768; marco de coherencia y ejecución 0,765; marco de coherencia y control 0,847, lo cual ratifica la relación alta y significativa entre las variables de estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cuglievan, G. y Rojas, V. (2008). *La gestión escolar en el marco de la autonomía: una mirada desde el cotidiano a cinco instituciones educativas estatales de Lima*. GRADE. <http://biblioteca.clacso.edu.ar/Peru/grade/20100406115943/analisis-7.pdf>
- Casassus, J. (1999). *Marcos conceptuales de la gestión educativa: En busca del sujeto*. UNESCO Orealc.
- Casassus, J. (2000). Poder, lenguaje y calidad de la educación. En *Boletín del Proyecto Principal N° 50*. Abril. UNESCO.
- Fullan, M. y Quinn, J. (2017). *Coherencia*. Corwin. https://pmb.parlamento.gub.uy/pmb/opac_css/index.php?lvl=notice_display&id=90279
- Hargreaves y Shirley (2009) La Cuarta Vía de liderazgo y cambio en América Latina: perspectivas en Chile, Colombia y Brasil. *Pensamiento Educativo. Revista de Investigación Educativa Latinoamericana*, 50(2), 5-27. <https://doi.org/10.7764/PEL.50.2.2013.2>
- Hernández, R. y Mendoza, C. P. (2018). *Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Mc Graw Hill Education.
- Fiske, E. B. (2000). *Informe Final. Foro Mundial sobre la Educación*. UNESCO. http://iin.oea.org/cursos_a_distancia/lectura%2017_disc.dakar.pdf
- Lopez, C. (2005). Diez factores para una Educación de Calidad para Todos en el Siglo XXI. *Revista Electrónica Iberoamericana sobre Calidad, Eficacia y Cambio en Educación*, 4(2). <http://www.rinace.net/arts/vol4num2e/art5.pdf>
- Moura Castro, C. (1997). ¿Qué rumbo debe tomar el mejoramiento de la educación en América Latina? *Propuesta educativa*, (17). <https://publications.iadb.org/es/publicacion/15917/que-rumbo-debe-tomar-el-mejoramiento-de-la-educacion-en-america-latina>

- Parella, S. y Martins, F. (2012). *Metodología de la investigación cuantitativa*. Editorial Pedagógica de Venezuela. <https://issuu.com/originaledy/docs/metodologc3ada-de-la-investigacic3b>
- Sardón, D. L. (2017). Liderazgo transformacional y gestión escolar en instituciones educativas. *Revista de Investigación Altoandin*, 19(3), 295-304. <http://dx.doi.org/10.18271/ria.2017.294>
- Salvador, C. M. (2016). *La gestión administrativa en Instituciones Educativas de Ventanilla*. [Tesis de maestría]. Repositorio Universidad César Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/14462>
- UNESCO. (1990). *Declaración Mundial sobre la Educación para Todos*. http://www.unesco.cl/medios/biblioteca/documentos/ept_jomtien_declaracion_mundial.pdf

12. MODELO TPACK Y LAS ACTITUDES DE LOS ESTUDIANTES HACIA LAS MATEMÁTICAS⁷⁴

TPACK Model and Students' Attitudes Towards Mathematics

Carlos Alfonso Toquica Muñoz⁷⁵

Pares evaluadores: Red de Investigación en Educación, Empresa y Sociedad – REDIEES.⁷⁶

⁷⁴ Derivado del proyecto de investigación: Didáctica basada en el modelo TPACK, una propuesta para mejorar la actitud de los estudiantes hacia las matemáticas

⁷⁵ Licenciado en Informática. Especialista en tecnologías de la información aplicadas a la educación. Magister en tecnologías de la información aplicadas a la educación. Doctorando en educación de la Universidad Metropolitana de Educación, Ciencia y Tecnología. UMECIT. Docente de Tecnología e Informática, correo electrónico: carlostoquica@umecit.edu.pa
<https://orcid.org/0000-0003-1397-9484>

⁷⁶ Red de Investigación en Educación, Empresa y Sociedad – REDIEES. www.rediees.org

MODELO TPACK Y LAS ACTITUDES DE LOS ESTUDIANTES HACIA LAS MATEMÁTICAS

Carlos Alfonso Toquica Muñoz

RESUMEN

No es una opción evitar hacer uso de la tecnología en el siglo XXI, ésta ha logrado permear los diferentes ámbitos sociales, entre ellos la educación. Las metodologías en donde el estudiante desempeña un rol activo en su proceso de aprendizaje han ido en aumento, mientras que el profesor desempeña un rol de guía para que el estudiante alcance los objetivos de la clase con recursos y estrategias didácticas previamente planificadas. En esta misma línea, la investigación en educación continúa buscando la mejor forma de enseñar integrando la tecnología en las prácticas educativas. El objetivo de esta investigación es establecer la correlación entre el evento didáctica basada en el modelo TPACK y el evento actitudes de los estudiantes hacia las matemáticas. La muestra de este estudio estuvo conformada por 34 profesores que enseñan matemáticas y 142 estudiantes del grado quinto de básica primaria de una institución educativa pública en la ciudad de Bogotá, Colombia. Se elaboraron y validaron dos instrumentos para la recolección de información, uno para los profesores y otro para los estudiantes. Se encontró una correlación inversa de -0.386 según el coeficiente de Rho. Spearman. Concluyendo que es necesario integrar el conocimiento tecnológico con el conocimiento pedagógico y el conocimiento disciplinar para que los estudiantes conozcan las ventajas de la tecnología en su aprendizaje y posiblemente mejoren las actitudes hacia la disciplina.

Palabras Clave: actitudes; matemáticas; TPACK

ABSTRACT

It is not an option to avoid making use of technology in the 21st century, it has managed to permeate the different social spheres, including education. Methodologies where the student plays an active role in his learning process have been increasing, while the teacher plays a guiding role so that the student achieves the objectives of the class with previously planned didactic resources and strategies. Along the same lines, research in education continues to search for the best way to teach by integrating technology into educational practices. The objective of this research is to establish the correlation between the didactic event based on the TPACK model and the student attitudes towards mathematics event. The sample for this study consisted of 34 teachers who teach mathematics and 142 students in the fifth grade of primary school from a public educational institution in the city of Bogotá, Colombia. Two instruments for the collection of information were elaborated and validated, one for the teachers and the other for the students. An inverse correlation of -0.386 was found according to the Rho coefficient. Spearman. Concluding that it is necessary to integrate technological knowledge with pedagogical knowledge and disciplinary knowledge so that students know the advantages of technology in their learning and possibly improve attitudes towards discipline.

Keywords: attitudes; mathematics; TPACK.

INTRODUCCIÓN

La evolución ligera y constante de la tecnología es producto del ingenio y creatividad del hombre para mejorar procesos en los ámbitos sociales, entre ellos la educación. Con la necesidad de encontrar una fórmula para integrar la tecnología en las prácticas educativas de manera acertada, investigadores han trabajado en este propósito para favorecer los procesos de enseñanza y aprendizaje.

Este artículo, tienen como propósito evidenciar los resultados encontrados entre la didáctica basada en el modelo TPACK que están implementando los profesores de básica primaria de una institución educativa pública de la ciudad de Bogotá y las actitudes de los estudiantes hacia las matemáticas.

Comenzando, nos ubicamos en el aporte realizado en 1986 Lee Shulman, quien consideró que además del conocimiento de una disciplina los profesores debían integrar el conocimiento pedagógico, originando el conocimiento pedagógico de contenido (PCK, por sus siglas en inglés), en palabras de Shulman (1987 como se citó en Ardoni et al., 2004) “es el conocimiento que va más allá del tema de la materia per se y que llega a la dimensión del conocimiento del tema de la materia para la enseñanza” (p. 9). La unión (función) se centra en mejorar las formas de enseñar y que los estudiantes comprendan mejor y más fácil el contenido de la disciplina.

Años más tarde Mishra y Koehler (2006) emprendieron la búsqueda por ayudar a los profesores para integrar de manera exitosa la tecnología en las prácticas educativas. Estos autores reconocieron el hecho de que en la época cultural de Shulman la tecnología no tenía el impacto de ahora. No obstante, en pleno siglo XXI la tecnología sigue siendo transparente en muchos escenarios educativos en donde predominan metodologías tradicionales para la enseñanza de las matemáticas.

Resultado de las investigaciones realizadas por Mishra y Koehler surge el modelo TPACK, cautelosamente dicen que “otros autores han argumentado que el conocimiento sobre la tecnología no puede tratarse como libre del contexto y que una buena enseñanza requiere una comprensión de como la tecnología se relaciona con la pedagogía y la

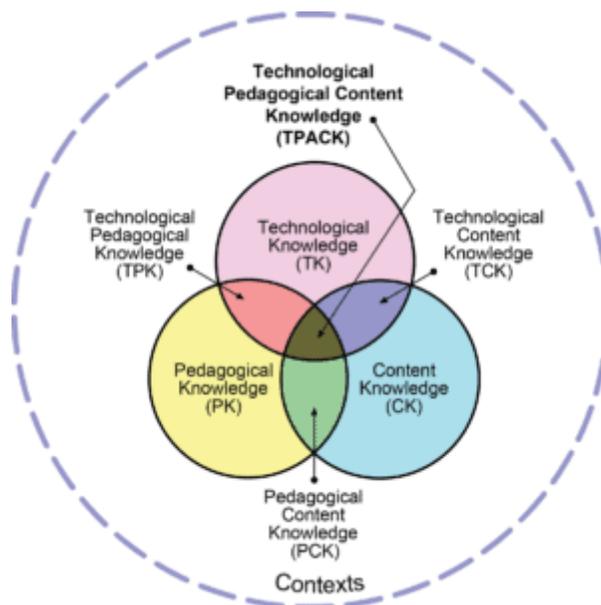
disciplina” (Hughes, 2005; Keating y Evans, 2001; Lundeberg, Bergland, Klyczek y Hoffman, 2003; MargerumLeys y Marx, 2002; Neiss, 2005 ; Zhao, 2003 como se citó en Mishra y Koehler, 2006, p. 1026).

MODELO TECNOLÓGICO PEDAGÓGICO DE CONTENIDO

La diferencia de Mishra y Koehler con los otros autores está en los conocimientos que surgen de las relaciones entre el conocimiento tecnológico (TK, por sus siglas en inglés al igual que los otros tipos de conocimiento), el conocimiento pedagógico (PK), y el conocimiento disciplinar (CK). Es decir, conocimiento de contenido pedagógico (PCK), conocimiento de contenido tecnológico (TCK) y conocimiento tecnológico pedagógico (TPK) y la integración en el conocimiento tecnológico pedagógico del contenido (TPACK). Estos tipos de conocimiento se representan gráficamente (ver figura 1).

Figura 1.

Representación gráfica del modelo TPACK



Nota: tomado de Mishra (2018).

El conocimiento tecnológico (TK) implica tener habilidades para manejar tecnología, el conocimiento pedagógico (PK) involucra las técnicas o métodos de enseñanza para el aprendizaje y el conocimiento disciplinar (CK) es el objeto de estudio a enseñar.

Al cruzarse estos tipos de conocimiento se origina el conocimiento de contenido pedagógico (PCK) implica los métodos que permiten organizar los contenidos para una mejor enseñanza y comprensión, el conocimiento de contenido tecnológico (TCK) proporciona la relación entre la disciplina y la tecnología, el conocimiento tecnológico pedagógico (TPK) identifica las herramientas tecnológicas precisas para adecuar la enseñanza en función de mejorar el aprendizaje de los estudiantes.

La combinación de los seis tipos de conocimiento descritos ha dado origen al modelo *Technological Pedagogical Content Knowledge* (TPACK). Dicen Alban, Moran y Moran (2017) “La aplicación de las TIC de manera descontextualizada, no reflejan el propósito de su creación (potencializar el proceso educativo), porque las TIC en sí, son medios tecnológicos y necesitan de una debida planificación metodológica para aplicarlas en clases” (p. 51). Para integrar la tecnología en su referente más cercano las TIC en las prácticas educativas requiere planear y gestionar el proceso educativo desde la fase inicial (planeación), desarrollo y evaluación.

ACTITUDES HACIA LAS MATEMÁTICAS

Para esta investigación se adapta un constructo teórico para definir las como (investigador, s. f.) las acciones manifestadas por el estudiante en la que toma una postura positiva o negativa frente a la percepción del aprendizaje de una disciplina conformada por el componente cognitivo, afectivo y conductual. Estas actitudes influyen en el proceso de aprendizaje del estudiante hacia la disciplina (las matemáticas).

El componente cognitivo hace referencia a las ideas y creencias que ponen a favor o en contra de las matemáticas a la persona, el componente afectivo implica los sentimientos de aceptación o rechazo hacia las matemáticas y el componente conductual conduce a la toma de decisiones observables (Gallego, 1999).

MATERIAL Y MÉTODOS

Esta investigación se realizó en base a la comprensión holística consolidada en el sintagma para la comprensión del fenómeno desde diferentes perspectivas y bajo el método holopráxico de la investigación holística, (Hurtado, 2010) “permite visualizar en forma sencilla las diferentes actividades metodológicas que el investigador debe desarrollar en cada uno de sus objetivos específicos” (p.80). En este caso se caracteriza estadísticamente mediante el software SPSS versión 27 las actitudes hacia las matemáticas y la didáctica basada en el modelo TPACK, posteriormente se realiza una correlación entre los dos eventos (variables).

La muestra estuvo conformada por 34 profesores y 142 estudiantes de grado quinto de básica primaria de la IED Confederación Brisas del Diamante en sus sedes Primaria Las Manitas y Villas del Diamante de la Localidad de Ciudad Bolívar de la ciudad de Bogotá D.C., Colombia, no fue necesario realizar muestreo por que el investigador pudo acceder a la muestra en su totalidad y por la colaboración para acceder al campo de los directivos (rector y coordinadores), profesores y estudiantes participantes en la investigación con los respectivos consentimientos.

Los datos fueron recolectados mediante dos cuestionarios tipo escala elaborados con rigurosidad por el investigador y validados por seis expertos doctores en áreas afines con la investigación. El instrumento escala de medición de la didáctica basada en el modelo TPACK aplicado a profesores con un índice de validez de 0.95 y nivel de confiabilidad de Alfa de Cronbach de 0.96 el instrumento escala de actitudes hacia las matemáticas de los estudiantes de grado quinto de básica primaria aplicado a los estudiantes con un índice de validez de 0.96 y nivel de confiabilidad de Alfa de Cronbach de 0.99. La aplicación de estos instrumentos fue realizada por el investigador bajo rigurosas condiciones éticas y profesionales.

RESULTADOS

Los resultados obtenidos a partir de la estadística descriptiva del evento (variable) actitudes de los estudiantes hacia las matemáticas de acuerdo con el baremo configurado para determinar la frecuencia en cada categoría.

Como se observa en la figura 2, los resultados se encuentran dispersos. Aunque en el análisis estadístico indica que la actitud de los estudiantes hacia las matemáticas es alta por la mediana obtenida (31,08 de 50 puntos posibles).

Figura 2.

Resultados categorizados de la actitud de los estudiantes

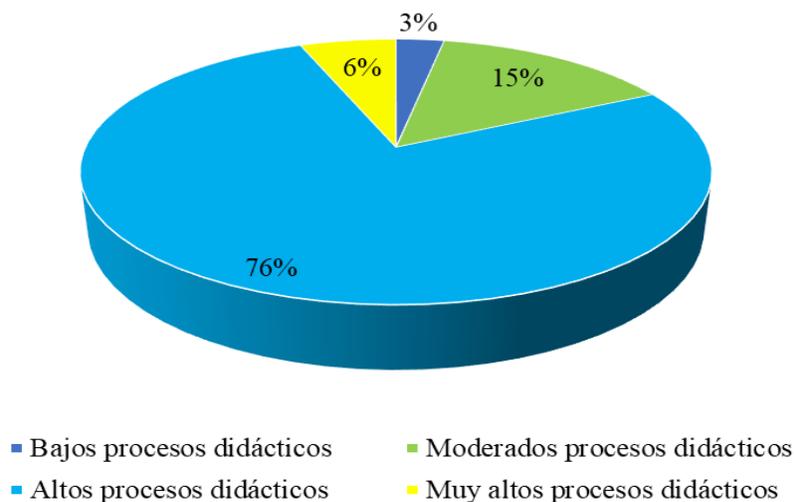


Nota: Elaboración propia a partir de los resultados en el software SPSS versión 27

Entre tanto, los resultados obtenidos a partir de la estadística descriptiva del evento (variable) didáctica basada en el modelo TPACK de acuerdo con el baremo configurado para determinar la frecuencia en cada categoría. Como se observa en la figura 3, estadísticamente el 76% del 100% de los profesores cuentan con altos procesos didácticos y el 6% del 100% tiene muy altos procesos didácticos.

Figura 3.

Resultados categorizados de la didáctica basada en el modelo TPACK



Nota: Elaboración propia a partir de los resultados en el software SPSS versión 27

Una vez que se ha identificado la categoría en que se encuentran las actitudes de los estudiantes hacia las matemáticas y la categoría en que se ubican los procesos didácticos basados en el modelo TPACK de los profesores que enseñan matemáticas, se indaga estadísticamente por la relación entre los dos eventos (variables) mediante el coeficiente de Rho Spearman. La correlación se encontró con un nivel de significancia de 2.4% y un coeficiente de -0.386. Es decir, que los eventos se relacionan inversamente.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los resultados encontrados en la actitud hacia las matemáticas de los estudiantes son altas, sin embargo, se encuentran dispersos y se refleja en el 47,2% con actitud muy baja, baja y regular. Estos resultados son similares al estudio de Segarra y Julia (2021), al encontrar en sus resultados una actitud positiva hacia las matemáticas en estudiantes de grado quinto de básica primaria, aunque con un mayor porcentaje (86%).

Los procesos didácticos implementados por los profesores de básica primaria que enseñan matemáticas son altos. Sin embargo, el análisis permite identificar debilidad al momento de integrar el conocimiento tecnológico con el contenido y la pedagogía. El estudio de la percepción del modelo realizado por Cabero, Roig y Mengual (2017) similarmente encontró que la tecnología no se debe integrar de manera independiente en el aula, esta se debe relacionar con el conocimiento pedagógico y de contenido.

De la relación inversa encontrada entre los dos eventos y teniendo en cuenta que las actitudes hacia las matemáticas de los estudiantes son altas y los procesos didácticos de los profesores son altos. Luego de analizar a profundidad los resultados obtenidos, con cautela se podría decir que la didáctica basada en el modelo TPACK se está implementando de manera parcial por los profesores que enseñan matemáticas en básica primaria y que los estudiantes desconocen las bondades de la tecnología para su proceso de aprendizaje.

Por lo tanto, la tecnología no está desempeñando un papel fundamental en la didáctica empleada para la enseñanza de las matemáticas y los estudiantes presentan actitudes altas hacia la disciplina ya que no saben que existe tecnología que pueda potencializar las actitudes hacia el aprendizaje acorde a las dinámicas del siglo XXI. Las decisiones de los profesores en la didáctica que implementan y los recursos que utiliza afecta la actitud hacia las matemáticas de los estudiantes (Jiménez et al.,2017).

Finalmente, la investigación cumplió el objetivo de establecer el índice de correlación entre el evento didáctica basada en el modelo TPACK y las actitudes de los estudiantes hacia las matemáticas. De lo que se concluye que las actitudes de los estudiantes de grado quinto de básica primaria hacia las matemáticas son altas, sin embargo, desconocen las ventajas de la tecnología para su proceso de aprendizaje, lo que podría mejorar las actitudes hacia la disciplina.

Los procesos didácticos de los profesores que enseñan matemáticas son altos, sin embargo, la didáctica basada en el modelo TPACK se implementa de forma parcial, ya que los profesores dominan los conocimientos tecnológicos, pedagógico y disciplinar e integran el conocimiento pedagógico de contenido, pero las dificultades se identifican al integrar el conocimiento tecnológico al conocimiento del contenido y al conocimiento de las disciplinas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albán, J., Morán, F. y Morán, F. (2017). Formación del docente y su adaptación al modelo TPACK. *Revista Ciencias Pedagógicas e Innovación*, 5(1). <https://doi.org/10.26423/rcpi.v5i1.154>
- [Ardoni, G. y Trinidad, R. \(2004\). El conocimiento pedagógico del contenido. *Educación Química*, 15\(2\), 2-6. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2004.2.66192>](#)
- Cabero, J., Roig, R. y Mengual, A. (2017). Conocimientos tecnológicos , pedagógicos y disciplinares de los futuros docentes según el modelo TPACK. *Digital Education Review*, 32, 73-84. <http://bit.ly/40rxY3p>
- Gallego, R. (1999). *Competencias cognoscitivas: Un enfoque epistemológico, pedagógico y didáctico* (2ª ed.). Colección Aula Abierta.
- Hurtado, J. (2010). *Metodología de la investigación: guía para una comprensión holística de la ciencia* (4ª ed.). Quirón Ediciones.
- Jiménez Espinosa, A., Bohórquez Rodríguez, H. H., Castro Torres, M. y Puentes Blanco, R. A. (2017). Actitudes de estudiantes de cuarto y quinto, frente al aprendizaje de las matemáticas. *Educación y Ciencia*, (20), 225-245. <https://doi.org/10.19053/0120-7105.eyc.2017.20.e8917>
- Mishra, P. (2018). *El diagrama TPACK se actualiza - Punya Mishra's Web*. <http://bit.ly/3TSOiI0>
- Mishra, P. y Koehler, M. J. (2006). Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. *Teachers College Record*, 108(6), 1017-1054. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9620.2006.00684.x>
- Segarra, J. y Julià, C. (2021). Actitud hacia las matemáticas de los estudiantes de quinto grado de educación primaria y autoeficacia de los profesores. *Ciencias Psicológicas*, 15(1), 1-14. <https://doi.org/10.22235/cp.v15i1.2170>

13. PREDICCIÓN DE INTERACCIONES DE PROTEÍNAS CON MACHINE LEARNING: UNA HERRAMIENTA AVANZADA PARA LA INVESTIGACIÓN BIOMOLECULAR

Predicting Protein Interactions with Machine Learning: An Advanced Tool for Biomolecular Research

Jordan Piero Borda Colque⁷⁷

Bernabé Canqui Flores⁷⁸

Alfredo Tumi Figueroa⁷⁹

Fred Torres-Cruz⁸⁰

Juan Kenyhy Hancoo Quispe⁸¹

Pares evaluadores: Red de Investigación en Educación, Empresa y Sociedad – REDIEES.⁸²

⁷⁷ Universidad Nacional del Altiplano de Puno, P.O. Box 291, Puno-Peru, <https://orcid.org/0000-0001-8488-1658> , jbordac@est.unap.edu.pe

⁷⁸ Universidad Nacional del Altiplano de Puno, P.O. Box 291, Puno-Peru, <https://orcid.org/0000-0003-2204-0620>, bcanqui@unap.edu.pe

⁷⁹ Facultad de Medicina Humana, Universidad Nacional del Altiplano de Puno, P.O. Box 291, Puno-Perú, <https://orcid.org/0000-0003-2970-061X>, alfredo2891@yahoo.es

⁸⁰ Universidad Nacional del Altiplano de Puno, P.O. Box 291, Puno-Peru, <https://orcid.org/0000-0003-0834-6834> , ftorres@unap.edu.pe

⁸¹ Universidad Nacional del Altiplano de Puno, P.O. Box 291, Puno-Peru, <https://orcid.org/0000-0002-2125-0530>, jhanccoq@est.unap.edu.pe

⁸² Red de Investigación en Educación, Empresa y Sociedad – REDIEES. www.rediees.org

PREDICCIÓN DE INTERACCIONES DE PROTEÍNAS CON APRENDIZAJE AUTOMÁTICO: UNA HERRAMIENTA AVANZADA PARA LA INVESTIGACIÓN BIOMOLECULAR

Jordan Piero Borda Colque, Bernabé Canqui Flores, Alfredo Tumi Figueroa, Fred Torres-Cruz, Juan Kenyhy Hancco Quispe

RESUMEN

Las proteínas, como biomoléculas esenciales para la vida, participan en una variedad de procesos celulares. Son moléculas de gran tamaño que constan de uno o más polipéptidos, los cuales se pliegan en una estructura tridimensional única que determina su función biológica. La determinación de la estructura tridimensional de las proteínas es esencial para comprender sus funciones. En el campo de la bioinformática, el desarrollo de enfoques computacionales que permitan predecir la estructura de las proteínas a partir de su secuencia de aminoácidos es una de las áreas más activas de investigación. En este contexto, la predicción de aspectos topológicos clave de la estructura, como los contactos y distancias entre residuos de proteínas, se ha convertido en una herramienta importante para la predicción de la estructura tridimensional de proteínas basada en secuencia. En este capítulo, presentamos una revisión sistemática de los métodos más representativos para la predicción de la interacción geométrica entre residuos de proteínas. Entre ellos, se incluyen los métodos basados en correlación, los métodos de análisis de acoplamiento directo y sus estrategias de posprocesamiento, los métodos clásicos de aprendizaje automático y los métodos avanzados de aprendizaje profundo. Además, se discuten las aplicaciones de estas interacciones en la predicción de la estructura tridimensional de las proteínas, que es fundamental para comprender la función biológica de estas moléculas.

Palabras Clave: biomoléculas; polipéptidos; bioinformática; aprendizaje automático; aprendizaje profundo.

ABSTRACT

Proteins, as essential biomolecules for life, participate in a variety of cellular processes. They are large molecules that consist of one or more polypeptides, which fold into a unique three-dimensional structure that determines their biological function. The determination of the three-dimensional structure of proteins is essential to understand their functions. In the field of bioinformatics, the development of computational approaches that make it possible to predict the structure of proteins from their amino acid sequence is one of the most active areas of research. In this context, the prediction of key topological aspects of structure, such as contacts and distances between protein residues, has become an important tool for sequence-based three-dimensional protein structure prediction. In this chapter, we present a systematic review of the most representative methods for the prediction of the geometric interaction between protein residues. These include correlation-based methods, tightly coupled analysis methods and their post-processing strategies, classical machine learning methods, and advanced deep learning methods. In addition, the applications of these interactions in the prediction of the three-dimensional structure of proteins are discussed, which is essential to understand the biological function of these molecules.

Keywords: biomolecules; polypeptides; bioinformatics; machine learning; deep learning.

INTRODUCCIÓN

Las proteínas son componentes esenciales de las células vivas y representan uno de los elementos básicos más importantes de la vida. Estas biomoléculas se forman a través de la deshidratación y condensación de una secuencia de aminoácidos. Aunque la secuenciación de proteínas puede ser relativamente fácil de obtener a través de técnicas de alto rendimiento, determinar su conformación tridimensional (3D) es una tarea compleja. Los métodos experimentales para la determinación de la estructura incluyen el análisis de rayos X (Kendrew, 1958), la resonancia magnética nuclear (RMN) (Wüthrich, 2001), y la técnica emergente de microscopía crioelectrónica (Taylor, 1974).

En la era posgenómica, la determinación de la estructura 3D de las proteínas a través de experimentos está lejos de alcanzar la acumulación de una gran cantidad de secuencias de proteínas. Por lo tanto, el mejoramiento de la precisión en la predicción de la estructura 3D de las proteínas directamente a partir de sus secuencias de aminoácidos se ha convertido en un tema clave en el campo de la bioinformática estructural (Baker, 2001). Debido a las limitaciones de las técnicas experimentales, la predicción directa de la estructura de las proteínas a partir de su secuencia está ganando gradualmente atención.

Las investigaciones realizadas por Anfinsen (1973) demuestran que la secuencia de aminoácidos de las proteínas determina su estructura 3D, lo que sugiere que la información estructural de las proteínas puede integrarse completamente en sus secuencias. Esta hipótesis ha impulsado el desarrollo de la predicción de la estructura de proteínas basada en secuencias. Los enfoques convencionales para la predicción de la estructura de proteínas, por ejemplo, el modelado de homología (Webb, 2016; Schwede, 2003) y el enhebrado (Bowie, 1991), requieren una plantilla de estructura razonablemente similar para estar disponible en una base de datos de proteínas existente. Los métodos de predicción ab initio se están volviendo cada vez más importantes ya que las plantillas son innecesarias para estos métodos. Por lo general, los métodos de predicción de estructuras ab initio se aplican tanto a la física como a los potenciales basados en el conocimiento para guiar la simulación del plegamiento.

La predicción de las coordenadas de los átomos que componen la estructura de la proteína directamente a partir de la secuencia correspondiente mediante el aprendizaje

automático puede parecer natural para los desarrolladores en el campo. Sin embargo, las coordenadas son difíciles de predecir ya que cambiarán con las transformaciones de rotación y traslación, mientras que la estructura misma permanecerá sin cambios. Alternativamente, algunas representaciones invariables de la estructura de la proteína, por ejemplo, contactos entre residuos, se pueden predecir utilizando métodos de aprendizaje automático. Los patrones de los mapas de contacto de proteínas, donde cada entrada indica si el par de residuos correspondiente está en contacto, reflejan algunas de las características clave de las estructuras.

Más importante aún, las representaciones invariantes predichas se pueden usar como potenciales para construir un campo de fuerza más confiable para la predicción de la estructura de la proteína. Se han hecho progresos considerables para mejorar el rendimiento de las predicciones del mapa de contactos de proteínas en los últimos años. Los enfoques iniciales se centran en analizar las correlaciones por pares para abordar los contactos físicos basados en modelos de aprendizaje automático no supervisados (Cocco, 2018). Los modelos de aprendizaje automático supervisados se aplicaron aún más para aprender información a través de alineaciones de secuencias múltiples (MSA) de datos de entrenamiento (Cheng, 2007). Además de la evolución de los modelos de aprendizaje automático, los términos de geometría invariable también están evolucionando de contactos a distancia y orientaciones (Senior, 2020). Este capítulo presentará una revisión sistemática de enfoques representativos en esas categorías.

MÉTODOS COMPUTACIONALES PARA LA PREDICCIÓN DE INTERACCIONES ENTRE RESIDUOS DE PROTEÍNAS

Definición de términos geométricos para la interacción entre residuos

La representación fundamental para modelar interacciones entre residuos de proteínas son los contactos entre sus átomos $C\beta$ ($C\alpha$ en el caso de glicina). Dos residuos se consideran en contacto si la distancia euclidiana entre sus átomos de $C\beta$ es menor que un umbral predefinido, que suele ser de 8 Å, como se define en los experimentos de Evaluación crítica

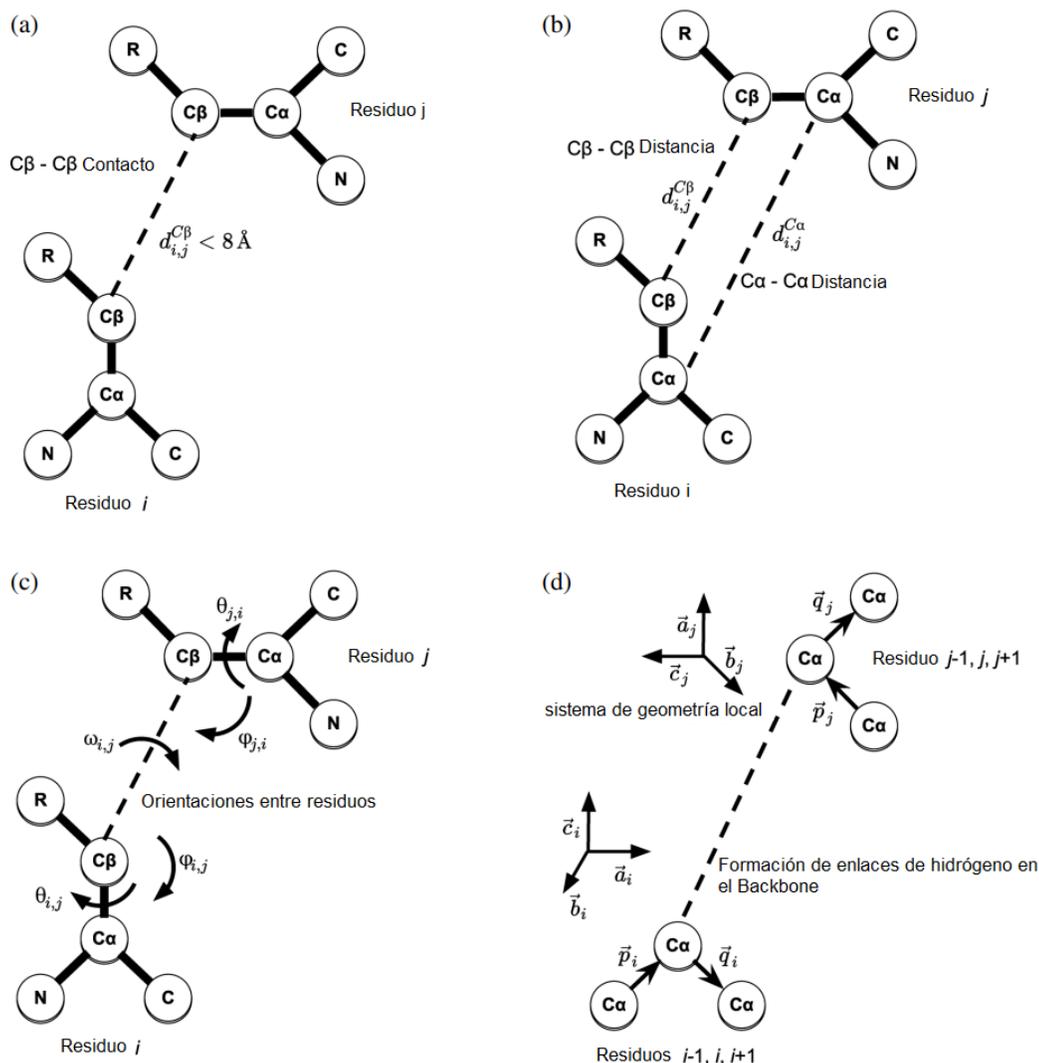
de la predicción de la estructura de proteínas (CASP) (Li, 2021; Moult, 2005). Los contactos entre residuos se clasifican en tres categorías: corto, mediano y largo alcance, según la separación secuencial entre los residuos en contacto, que abarca desde 6 a 11, 12 a 23 y más de 24 posiciones, respectivamente. Los contactos de largo alcance tienen un mayor impacto en la estabilización de la topología de la proteína, por lo que se les da mayor importancia en la evaluación de la predicción de estructuras proteicas.

Además de los contactos binarios, se han desarrollado métodos para predecir la distancia discretizada entre dos átomos, como se implementa en AlphaFold (Senior AW, 2020) en CASP13, lo que proporciona más información para el plegamiento de proteínas. Sin embargo, la información de distancia sola puede no ser suficiente para representar adecuadamente la estructura de proteínas, especialmente su quiralidad. Por lo tanto, se han propuesto métodos adicionales, como trRosetta (Yang, 2020), que también considera un conjunto de términos de orientación, incluidos los ángulos diedro ω y θ y el ángulo ϕ .

Recientemente, DeepPotential (Li, 2021) ha incorporado un conjunto adicional de términos geométricos entre residuos, que incluyen tres términos relacionados con enlaces de hidrógeno (enlace H) que involucran seis átomos de $C\alpha$. Dados dos residuos i y j , se construyen dos marcos locales a partir de sus átomos de $C\alpha$ adyacentes, respectivamente, y se definen los términos del enlace H como los ángulos entre los ejes x , y y z correspondientes de los dos marcos construidos. La figura 1 muestra la definición de estos términos geométricos.

Figura 1

Definición de términos de geometría entre residuos: (a) contactos, (b) distancia, (c) orientaciones y (d) términos de enlaces H.



Nota: elaboración propia.

Métodos no supervisados para la predicción de mapas de contacto

Los métodos no supervisados para la predicción de contactos entre residuos obtienen información de la coevolución de pares de residuos mediante el análisis de alineaciones múltiples de secuencias (MSA, por sus siglas en inglés). El MSA representa una colección de secuencias homólogas relacionadas genéticamente, que proporcionan información

genética relevante para la secuencia de proteína de interés. En el análisis de un sitio específico en el MSA, se puede determinar el grado de conservación evolutiva de ese sitio. Los aminoácidos en diferentes posiciones no mutan de forma independiente y la mayoría de las mutaciones de un solo punto son perjudiciales y pueden alterar la compatibilidad física en el entorno del sitio de mutación. Las mutaciones compensatorias en sitios vecinos a menudo pueden reparar el daño causado por mutaciones de un solo punto, lo que se conoce como coevolución.

Existen dos enfoques principales para analizar los patrones coevolutivos: los métodos basados en la correlación local y los métodos basados en el Análisis de Acoplamiento Directo (DCA, por sus siglas en inglés). La Tabla 1 resume algunos métodos representativos no supervisados para inferir los contactos entre residuos. En la literatura, un MSA dado se denota como A, y se utilizan M y L para indicar el número de secuencias en el MSA y la longitud de la secuencia de consulta, respectivamente.

Tabla 1

Colección de métodos de análisis de coevolución representativos para inferir los contactos entre residuos de proteínas.

Tipo	Métodos	Año	Aproximación	Disponibilidad
Local	Gobel et al	1994	NA	NA
	Yanofsky et al	1964	NA	NA
	Korber et al.	1993	NA	NA
	Martin et al.	2005	NA	NA
	OMES	2002	NA	NA
	Lapedes et al.	1999	Monte Carlo	NA
	mpDCA mfDCA	2009 2011	Message passing Mean field	NA NA
Global	PSICOV	2011	Graphical lasso	https://github.com/psipred/psicov
	Ricmap	2019	Graphical ridge	https://zhanggroup.org/ResPRE/
	plmDCA	2013	Pseudolikelihood	https://github.com/magnusekeberg/plmDCA
	GREMLIN	2013	Pseudolikelihood	https://gremlin.bakerlab.org/
	CCMpred	2014	Pseudolikelihood	https://github.com/soedinglab/CCMpred

Nota: elaboración propia.

En el análisis de la MSA, es común identificar el tipo de aminoácido presente en la posición l de la secuencia alineada m -ésima. Cada entrada en la MSA puede tener 21 estados, que incluyen 20 tipos de aminoácidos naturales y un estado adicional que representa la brecha. Para puntuar la coevolución entre un par de residuos, se utilizan diversos coeficientes de correlación locales. Por ejemplo, Gobel et al. (Göbel, 1994) emplearon el coeficiente de correlación de Pearson (PCC) para predecir los efectos de correlación de residuos. También se ha utilizado la información mutua (Korber, 1993) para medir la relación no lineal entre residuos en MSA, y el coeficiente Observed Minus Expected Squared (OMES) (Kass, 2002), que cuantifica la diferencia entre las frecuencias observadas y esperadas de coocurrencia de residuos en dos posiciones cualesquiera.

Sin embargo, estos métodos pueden no producir resultados satisfactorios debido a su incapacidad para modelar acoplamientos. Por ejemplo, si las posiciones i y j , y las posiciones j y k están correlacionadas, los coeficientes de correlación locales pueden mostrar una alta correlación entre la posición i y k , aunque es posible que no estén físicamente en contacto. Para abordar esta limitación, se han propuesto enfoques basados en el Análisis de Acoplamiento Directo (DCA) que utilizan el modelo de Potts (Wu, 1982) para modelar los datos de MSA y considerar los acoplamientos entre posiciones. Estos métodos, que se conocen como modelos globales, suelen utilizar el modelo de Potts generalizado.

$$H(a_1 \dots a_L) = \left(\sum_{i=1}^L h_i(a_i) + \sum_{i \neq j}^L J_{ij}(a_i, a_j) \right) \quad (1)$$

donde $H(a_1, \dots, a_L)$ es el Hamiltoniano del sistema y cada posición puede considerarse como una partícula; cada secuencia alineada es una observación. $h_i(a_i)$ y $J_{ij}(a_i, a_j)$ son los parámetros de campo locales en la posición i con el tipo de residuo a_i y los parámetros de acoplamiento en las posiciones i y j con residuos a_i y a_j , respectivamente. En

consecuencia, se puede construir un modelo estadístico global $P(a_1, \dots, a_L)$ sobre todo el MSA, en el que la probabilidad de una secuencia en el MSA se puede definir como:

$$P(a_1 \dots a_L) = \frac{\exp\{-H(a_1 \dots a_L)\}}{Z} = \frac{1}{Z} \left(\sum_{i=1}^L h_i(a_i) + \sum_{i \neq j}^L J_{ij}(a_i, a_j) \right) \quad (2)$$

donde Z es la constante de normalización, es decir, la función de partición, que garantiza $\sum_a P(a) = 1$. El modelo debe ser coherente con las estadísticas empíricas, es decir, $P(a_i) = f_i(a_i)$ y $P(a_i, a_j) = f_{ij}(a_i, a_j)$. Aquí $f_i(a_i)$ y $f_{ij}(a_i, a_j)$ son las frecuencias estadísticas de posiciones individuales y por parejas en el MSA, respectivamente. Además de las restricciones anteriores, el análisis de acoplamiento directo requiere que se obtengan los parámetros J y h minimizando la función de verosimilitud logarítmica negativa, como se muestra en la ecuación (3):

$$S = - \sum_{m=1}^M \log P(a_1^m \dots a_L^m) \quad (3)$$

Dado que se requiere la suma de los términos 21^L en la función de semejanza para calcular la constante de normalización Z , que es computacionalmente intratable, se han desarrollado muchas aproximaciones y estrategias alternativas.

Lapedes et al. (Lapedes, 1999) introdujo por primera vez el modelo de Potts para estimar los parámetros de acoplamiento entre posiciones aproximando la función de partición con monte carlo (MC). Sin embargo, para el modelo de Potts de 21 estados, la convergencia solo se puede garantizar después de tiempos exponenciales. Diez años más tarde, Martin Weight introdujo formalmente el concepto de guerra DCA en 2009 (Weigt, 2009), y se utilizó un método basado en el paso de mensajes como herramienta aproximada, lo que proporciona una solución única.

Morcos et al. (Morcos, 2011) propuso usar campos medios para aproximar los parámetros del modelo de Potts, y la aproximación de campo medio estándar se puede usar para estimar de manera autoconsistente los valores de borde de un solo punto. El parámetro de acoplamiento J puede obtenerse invirtiendo la matriz de covarianza. PSICOV para predecir contactos de residuos de proteínas. PSICOV primero procesó el MSA transformado

por $C_{ij}(a, b) = f_{ij}(a, b) - f_i(a)f_j(b)$. De esta forma, el modelo de Potts original se puede aproximar como un modelo gaussiano de Markov amutivariable. La matriz inversa de la matriz de covarianza se puede obtener minimizando la función objetivo (4) siguiente:

$$tr(C\Theta) - \text{indet}(\Theta) + \lambda \sum |\Theta_y| \quad (4)$$

Donde C es la matriz de covarianza y Θ es la matriz simétrica definida positiva a obtener, generalmente llamada matriz de precisión. $\text{tr}(X)$ es la traza de la matriz X. Se puede estimar el parámetro de acoplamiento $J = -\Theta$. Los dos primeros términos se pueden interpretar como la verosimilitud logarítmica negativa de los datos distribuidos gaussianos multivariantes, y el tercer término es el término de regularización L1 de Θ . La aproximación de campo medio y la aproximación gaussiana son los esquemas computacionalmente más efectivos para resolver el problema inverso de Potts. Los resultados experimentales en 150 secuencias PFAM muestran que PSICOV supera el enfoque inicial de campo medio. Li et al. (Li, 2019) propuso Ricmap, que estima la matriz de precisión mediante la regularización de crestas. La función de pérdida para la estimación matricial de precisión se convierte en:

$$tr(C\Theta) - \text{indet}(\Theta) + \lambda \sum \Theta_y^2 \quad (5)$$

En tal caso, la solución de forma cerrada se puede obtener:

$$\Theta = QKQ^T \quad (6)$$

donde Q son los vectores propios de C y K es una matriz diagonal cuyos elementos diagonales son

$$K_{i,i} = \frac{-\Lambda_{i,i} + \sqrt{\Lambda_{i,i}^2 + 8\lambda}}{4\lambda} \quad (7)$$

Y donde $\Lambda_{i,i}$ son los valores propios de C. Ricmap se comparó en un conjunto de datos compuesto por objetivos CASP11 y CASP12 y se informó que superó marginalmente a PSICOV (Li, 2019). Sin embargo, la aproximación gaussiana ignora la propiedad de los datos etiquetados en cada ubicación en el MSA y trata las variables etiquetadas como variables continuas utilizando el enfoque de codificación one-hot. La aproximación gaussiana y de campo medio no puede converger a la solución óptima incluso con el número infinito de

muestras. Magnus Ekeberg et al. (Ekeberg, 2013) propusieron una aproximación de pseudoverosimilitud para inferir el modelo de Potts. La pseudoverosimilitud aproxima la probabilidad de una sola secuencia como el producto de las probabilidades de las posiciones en una sola secuencia:

$$P(a_1 \dots a_L) = \prod_{i=1}^L P(a_i) \quad (8)$$

donde la probabilidad de un solo sitio se puede aproximar como:

$$p(a_l) = \frac{\exp(h_l(a_l) + \sum_{k=1, k \neq l}^L J_{lk}(a_l, a_k))}{\sum_{q=1}^{21} \exp(h_l(q) + \sum_{k=1, k \neq l}^L J_{lk}(q, a_k))} \quad (9)$$

Para un MSA con secuencias M, la función de pérdida de entropía cruzada de la aproximación de pseudoverosimilitud es:

$$S_{pseud} = - \sum_{m=1}^M \sum_{l=1}^L \log \left(\frac{\exp(h_l(a_l) + \sum_{k=1, k \neq l}^L J_{lk}(a_l, a_k))}{\sum_{q=1}^{21} \exp(h_l(q) + \sum_{k=1, k \neq l}^L J_{lk}(q, a_k))} \right) \quad (10)$$

Esta función de pérdida es convexa; por lo tanto, se puede optimizar utilizando L-BFGS (Liu DC, 1989) o el método de gradiente conjugado (Hestenes, 1952). Hay varias implementaciones de métodos DCA basados en la aproximación de pseudoverosimilitud, como GREMLIN (Kamisetty, 2013), plmDCA (Ekeberg, 2013) y CCMpred (Seemayer, 2014). Las implementaciones anteriores utilizan términos de regularización L2 para evitar el sobreajuste. GREMLIN intenta introducir información previa en el DCA. Por lo tanto, su rendimiento es ligeramente mejor que el de las otras dos implementaciones, pero los tres métodos superan a mfDCA para la aproximación de campo medio y a PSICOV para la aproximación gaussiana (Kamisetty, 2013). Zhang et al. (Zhang, 2018) propuso el método clmDCA, que utilizó la maximización de probabilidad compuesta (CLM), para aproximarse mejor a la función de probabilidad original. A diferencia de la pseudoverosimilitud, la función de verosimilitud compuesta se define como:

$$\zeta_{CLM} = -\frac{1}{M} \sum_{m=1}^1 \sum_{c \in C} \log P(a_c) \quad (11)$$

Donde C denota el subconjunto de variables, y el método degenera a pseudoverosimilitud cuando cada subconjunto es solo una variable. Si solo hay un subconjunto que contiene todas las variables, entonces la función de probabilidad compuesta es equivalente a la función de probabilidad original. Por lo tanto, la capacidad de aproximación de la función de verosimilitud compuesta se encuentra entre la pseudoverosimilitud y la verosimilitud original. El clmDCA primero calcula los parámetros de la estimación de pseudoverosimilitud como los parámetros iniciales del modelo de verosimilitud compuesto y luego actualiza los parámetros para obtener la solución final. Los resultados experimentales (Zhang, 2018) mostraron que el algoritmo clmDCA es superior al método de pseudoverosimilitud, es decir, plmDCA.

Métodos supervisados para la predicción del mapa de contactos

Los métodos de predicción basados en la coevolución presentan dos desventajas notables. En primer lugar, el método convencional de análisis de acoplamiento directo solo puede estimar la relación lineal entre las posiciones en el MSA. En segundo lugar, los algoritmos de predicción coevolutivos solo utilizan información de su propio MSA y no aprovechan información de otras fuentes. Esto puede limitar la capacidad de los algoritmos coevolutivos para predecir con precisión los mapas de contacto de residuos de proteínas, especialmente cuando se dispone de un número limitado de secuencias homólogas. Para abordar estos desafíos, los métodos supervisados basados en aprendizaje automático pueden integrar características coevolutivas y otra información relevante de secuencia y estructura en los datos de entrenamiento. Como resultado, se pueden utilizar algoritmos avanzados de clasificación para mejorar la precisión de la predicción (Jones, 2014). La Tabla 2 presenta una selección de métodos supervisados representativos basados en aprendizaje automático.

Tabla 2

Descripción general de los modelos representativos de aprendizaje automático supervisado para la predicción de la geometría entre residuos.

Nombre	Año	Coevolución cruda	Modelo.ML	Términos Geométricos	Disponibilidad
SVMcon	2007	No	SVM	Contacto	http://sysbio.rnet.missouri.edu/multicom_toolbox/SVMcon%201.0.html
Li et al.	2011	No	RF	Contacto	
MetaPSI COV	2014	No	ANN	Contacto	https://github.com/psipred/metapsicov
Plmconv	2016	Si	CNN	Contacto	
Nebcon	2017	No	BNN	Contacto	https://zhanggroup.org/Nebcon/
RaptorX (CASPI 2)	2017	No	Residual CNN	Contacto	
DNCON 2	2017	No	CNN	Contacto	https://github.com/multicom-toolbox/DNCON2
DeepContact	2018	No	CNN	Contacto	https://github.com/largelymfs/deepcontact
DeepCO V	2018	Si	CNN	Contacto	https://github.com/psipred/DeepCov
ResPRE	2019	Si	Residual CNN	Contacto	https://zhanggroup.org/ResPRE
RaptorX (CASPI 3)	2019	No	Residual CNN	Distancia	https://github.com/j3xugit/RaptorX-Contact
AlphaFold	2020	Si	Residual CNN	Distancia	https://github.com/deepmind/deepmind-research/tree/master/alphafold_casp13
trRosetta	2020	Si	Residual CNN	Distancia, Orientacion	https://github.com/gjoni/trRosetta
TripletRes	2021	Si	Residual CNN	Contacto	https://zhanggroup.org/TripletRes
RaptorX (CASPI 4)	2021	Si	Residual CNN	Distancia, Orientacion	https://github.com/j3xugit/RaptorX-3DModeling
DeepPotential	2021	Si	Residual CNN	Distancia, Orientacion, H-Bond	https://zhanggroup.org/DeepPotential

Nota: elaboración propia.

Los algoritmos clásicos utilizados para la predicción de contactos en proteínas suelen seleccionar un par de residuos como muestra y extraer características contextuales a través de una técnica de ventana deslizante. El clasificador utilizado por estos predictores incluye bosques aleatorios (Li, 2011), máquinas de vectores de soporte (Cheng, 2007) y redes totalmente conectadas (Eickholt, 2012). Un ejemplo representativo es el método MetaPSICOV (Jones, 2014), el cual combina tres algoritmos de análisis coevolutivo como características y utiliza redes neuronales artificiales para aprender patrones de contacto de residuos. Además de las características coevolutivas, tales como PSICOV, CCMpred y mfDCA (Morcos, 2011), MetaPSICOV también incluye características estadísticas extraídas de MSA, tales como características estadísticas de uno y dos sitios. Asimismo, emplea PSIPRED (Mcguffin, 2000) y SOLVPRED para predecir la probabilidad de estructura secundaria de la secuencia y la accesibilidad solvente como características. Este método utiliza ventanas deslizantes de varios tamaños para extraer información local de cada par de residuos, y también incluye características globales, como las probabilidades de distribución de la composición de aminoácidos, la estructura secundaria promedio de proteínas y la accesibilidad solvente promedio. El método aplica una estrategia de entrenamiento de dos etapas, donde la primera etapa contiene una capa oculta de 55 nodos y genera una probabilidad de contacto residual. La segunda etapa utiliza el mismo modelo de red para la corrección de la puntuación. La precisión del método supera a otros algoritmos en CASP11, lo que demuestra la eficacia del algoritmo de aprendizaje automático supervisado (Monastyrskyy, 2016).

En CASP12, Wang et al. (Wang, 2017) propusieron RaptorX-Contact, una técnica para predecir mapas de contacto que utiliza redes neuronales convolucionales residuales (CNN), aprovechando el éxito de las redes neuronales residuales (ResNet) en la clasificación de imágenes (He, 2016). Dado que las muestras positivas y negativas de los datos de entrenamiento están muy desequilibradas, este método utiliza una función de pérdida de entropía cruzada ponderada para reducir el sesgo de categoría. El término de regularización L2 también se empleó para restringir el sobreajuste de los parámetros de la red neuronal ultra profunda. La prueba ciega en CASP12 demostró que RaptorX-Contact mejoró

significativamente la precisión de la predicción de los mapas de contacto de proteínas (Schaarschmidt, 2018).

En la edición CASP12, DNCON2 (Adhikari, 2017) y DeepContact (Liu, 2018) implementaron el uso de redes neuronales convolucionales (CNN) como parte fundamental de su modelo de aprendizaje profundo, y por lo tanto, fueron considerados como los métodos más destacados (Schaarschmidt, 2018). Sin embargo, los métodos convencionales emplean el procesamiento posterior del análisis coevolutivo como característica principal, lo que podría llevar a una posible pérdida de información. Después del análisis coevolutivo, se puede obtener una submatriz de 21×21 para cada par de residuos, pero el procesamiento posterior no considera los pesos ni las propiedades magnéticas de las entradas. Una manera adecuada de extraer información del análisis coevolutivo fue introducida por primera vez en plmconv (Golkov, 2016), que combinó características de acoplamiento sin procesar obtenidas por maximización de pseudoverosimilitud con una CNN. Luego, se propuso DeepCOV (Jones, 2018) para aprender patrones de contacto directamente de las matrices de covarianza sin procesar. ResPRE (Li, 2019) utiliza una estimación de cresta de la inversa de la matriz de covarianza para eliminar el ruido de transición en la matriz de covarianza. Con una sola matriz de precisión sin procesar, ResPRE superó a los métodos de alto rendimiento en CASP12 (Li, 2019). En CASP13, TripletRes (Li, 2021) fusiona un triplete de características de matriz coevolutiva sin procesar. Estas características incluyen la matriz de acoplamiento del modelo de Potts maximizado con pseudoverosimilitud, la matriz de covarianza y la estimación de la cresta de la matriz de precisión. Se utilizó una CNN residual profunda para fusionar el triplete de características, lo que permitió clasificar a TripletRes como uno de los métodos de mayor rendimiento para la predicción del mapa de contacto en CASP13 (Li, 2019).

Después de CASP13, la estrategia de utilizar la matriz de análisis coevolutivo sin procesar fue ampliamente adoptada por otros métodos representativos, por ejemplo, trRosetta (Yang, 2020), tFold (Shen, 2021), DeepPotential (Li, 2021) y otros participantes en CASP14 (Xu, 2021). Uno de los avances más significativos en CASP13 fue la introducción y predicción exitosa del concepto de predicción de distancia por parte de AlphaFold (Senior, 2020) y RaptorX (Xu, 2019). La predicción de la distancia se considera como un problema

de clasificación multiclase, y se pueden entrenar redes neuronales completas con pérdida de entropía cruzada. La formulación general consiste en discretizar la distancia real por debajo de un umbral determinado en un histograma de distancia, asignando una clase adicional a aquellos pares de residuos cuyas distancias están por encima del umbral. trRosetta también predice las distribuciones para el ángulo diedro ω y θ y el ángulo ϕ . Los ángulos también se discretizan en contenedores con un intervalo fijo, similar a la predicción de distancia. La inclusión de dichos términos de orientación mejoró el rendimiento de la predicción de la estructura de la proteína. En CASP14, DeepPotential, que fue una extensión de TripletRes que incluyó términos de distancia, orientación y enlace H (Yang, 2015) con aprendizaje multitarea profundo, fue muy eficaz para la predicción ab initio de la estructura proteica de objetivos de modelado libre (Zheng, 2021).

APLICACIÓN DE LA PREDICCIÓN DE INTERACCIÓN ENTRE RESIDUOS DE PROTEÍNAS

Una de las aplicaciones directas más impactantes de la predicción de la interacción entre residuos de proteínas es la predicción de la estructura de las proteínas. El enfoque inicial fue utilizar el mapa de contacto predicho para ayudar al plegamiento y clasificación de proteínas (Sadowski, 2011). DCAfold (Sułkowska, 2012) y EVfold (Marks, 2011) tomaron los mapas de contactos predichos como restricciones y los introdujeron en el paquete de software de dinámica molecular del SNC (Brunger, 1998) para encontrar la conformación proteica óptima. Dicho protocolo trajo una mejora significativa a las tuberías de plegamiento de proteínas en comparación con enfoques sin restricciones de contacto (Sułkowska, 2012). FRAGFOLD diseñó una nueva función potencial (Kosciolek, 2014) para cada par de residuos si PSICOV los predice como contactos, definida como:

$$E \left\{ \begin{array}{l} -P, d \leq d_{con} \\ -P e^{-(d-d_{con})^2 + P \frac{d-d_{con}}{d}}, d > d_{con} \end{array} \right\} \quad (12)$$

Donde P es la probabilidad predicha para el par como contacto. $d_{con} = 8\text{\AA}$ es el umbral que define los contactos. Ovchinnikov et al. (Ovchinnikov, 2014) alternativamente usaron restricciones de distancia sigmoideal al programa de plegado, Rosetta, en forma de

$$E = \frac{\textit{peso}}{1 + \exp(d - d_{cut})} + \textit{intercept} \quad (13)$$

Aquí el peso es proporcional a la fuerza de acoplamiento normalizada y d es la distancia entre los átomos de $C\beta$ (Ca en el caso de la glicina) en la representación de átomos reducidos de los modelos de Rosetta. d_{cut} e *intercept* son los otros dos parámetros estadísticos para diferentes modos de Rosetta. Además, la información de contacto de residuos también fue utilizada por QUARK (Mortuza, 2021) e I-TASSER (Zheng, 2021) para ayudar a predecir la estructura de proteínas para la competencia CASP (Zhang, 2018). Durante la simulación de la estructura de la proteína utilizando Monte Carlo, el término de energía para los contactos de residuos fue:

$$E = \begin{cases} -U_{ij} & d < d_{cut} \\ -\frac{1}{2}U_{ij} \left[1 - \sin\left(\frac{d\left(\frac{d_{cut}D}{2}\right)}{D - d_{cut}}\pi\right) \right] & , d_{cut} \leq d < D \\ \frac{1}{2}U_{ij} \left[1 + \sin\left(\frac{d - \left(\frac{D + 80}{2}\right)}{(80 - D)}\pi\right) \right] & , D \leq d < 80\text{\AA} \\ U_{ij} & d \geq 80\text{\AA} \end{cases} \quad (14)$$

Donde $d_{cut} = 8\text{\AA}$ y $D = 8\text{\AA} + d_{well}$, donde d_{well} es el ancho del pozo del primer término de la función sinusoidal y $80 - D$ es el ancho del pozo del segundo término de la función sinusoidal.

El ancho del pozo (permanencia) es un parámetro crucial para determinar la velocidad a la que se juntan los residuos que se predice que estarán en contacto, y se ajustó en función de la longitud de las proteínas de entrenamiento. U_{ij} son las puntuaciones de confianza para el residuo que define los límites inferior y superior de la energía. Con la integración de dicha energía de contacto en QUARK e I-TASSER, los métodos resultantes, C-QUARK y C-I-

TASSER, se clasificaron como dos de los mejores servidores en CASP12 y CASP13, respectivamente (Zheng, 2019). En CASP13, RaptorX (Xu, 2019) y AlphaFold (Senior, 2020) introdujeron la distancia predicha entre residuos y restricciones para la predicción de la estructura de proteínas. Ambos modelos predicen intervalos de distancia discretos y RaptorX estima la media y la desviación estándar a partir de las predicciones del histograma de distancia. Mientras tanto, AlphaFold construye un potencial diferenciable para un par de residuos dado mediante la interpolación de un spline cúbico a partir de la probabilidad logarítmica negativa de la distribución de distancia. Tanto RaptorX como AlphaFold lograron resultados prometedores en CASP13, y AlphaFold fue particularmente exitoso (Abriata, 2019) en la predicción de la estructura más precisa para los objetivos clasificados como los más difíciles por los organizadores de la competencia. Después de CASP13, otro método de predicción de la estructura de proteínas basado en el aprendizaje profundo, trRosetta (Yang, 2020), convirtió las distribuciones de distancia predichas en energía potencial siguiendo la idea de Dfire (Zhou, 2002). Se consideró como estado de referencia la probabilidad del último bin y la energía a distancia fue:

$$E(i) = -\ln(p_i) + \ln\left(\left(\frac{d_i}{d_N}\right)^\alpha P_N\right), i = 1, 2, \dots, N \quad (15)$$

Donde p_i es la probabilidad para el intervalo de distancia i -ésima. N es el número total de contenedores, α es una constante ($= 1,57$) para la normalización basada en la distancia y d_i es la distancia para el i -ésimo contenedor de distancia. Para términos de orientación, es decir, ángulos y ángulos diédricos, la energía es similar, pero sin normalización:

$$E(i) = -\ln(p_i) + \ln(P_N), i = 1, 2, \dots, N \quad (16)$$

El suavizado de los potenciales se logra a través del uso del spline cúbico y su minimización se puede llevar a cabo mediante la aplicación de técnicas como el descenso de gradiente, incluyendo el algoritmo L-BFGS (Chaudhury, 2010). La distinción entre la predicción de la interacción de los residuos de proteínas y la predicción de la estructura de proteínas se ha vuelto difusa debido a la propuesta de varios métodos de predicción de la estructura de proteínas de extremo a extremo. Estos métodos pueden generar directamente las coordenadas de la proteína. El modelo representativo más destacado en la predicción de la estructura de proteínas en CASP14 fue AlphaFold2 (Jumper, 2021; Kinch, 2021)

En AlphaFold2, la estructura de cada residuo se representa mediante una matriz de rotación global y un vector de traducción en el módulo de estructura de AlphaFold2. La cadena lateral de cada residuo se puede recuperar mediante la predicción posicional de los ángulos Chi. AlphaFold2 actualiza iterativamente las representaciones de residuos mediante una operación de atención consciente de la geometría, atención de puntos invariantes (IPA). Este módulo se basa en la atención y toma información geométrica en la conformación anterior en los mapas de atención. Las salidas del módulo IPA para cada residuo son las actualizaciones de la matriz de rotación (en cuaterniones) y el vector de traducción, que se podrían aplicar a las anteriores, respectivamente.

Una vez que se obtiene la estructura, AlphaFold2 emplea una nueva función de pérdida llamada error de punto alineado con el marco (FAPE). Esta función mide los errores entre las posiciones predichas de los átomos y las coordenadas reales del terreno bajo diferentes alineaciones. Las alineaciones se definen a partir de los fotogramas predichos, es decir, la matriz de rotación y el vector de traducción, además de los fotogramas adicionales de las cadenas laterales. La función de pérdida es invariante a transformaciones rígidas, lo que facilita la optimización de la red neuronal.

AlphaFold2 también utiliza el mecanismo de atención de última generación como red troncal del módulo Evoformer en AlphaFold2. En comparación con las CNN, que solo pueden aprender información local, el mecanismo de atención tiene la capacidad de considerar la información de todas las demás variables con la codificación posicional adecuada. El módulo Evoformer también permite que las redes neuronales de transformadores basadas en la atención atiendan arbitrariamente el MSA completo en lugar de utilizar las funciones de análisis coevolutivo (en bruto). En comparación con los enfoques convencionales, el nuevo algoritmo se enfoca en secuencias más relevantes y extrae información más rica del MSA.

Además, se han empleado algunos esfuerzos de ingeniería, como el reciclado del proceso de capacitación, y el modelo resultante ha logrado un rendimiento de vanguardia en CASP14 (Jumper, 2021).

DISCUSIÓN Y RESULTADOS

Las interacciones entre residuos de proteínas, tales como los contactos, son una representación simplificada de la estructura de la proteína. La predicción precisa de estas interacciones es de gran importancia para la predicción de la estructura de las proteínas. Este capítulo presenta una revisión del desarrollo de algoritmos para la predicción de la interacción entre residuos, así como los últimos resultados de investigación en este campo.

El progreso rápido en la predicción de la interacción entre residuos, especialmente en los métodos basados en el aprendizaje profundo, ha llevado a la solución final del problema de predicción de la estructura de las proteínas. En este campo, se han logrado cinco hitos importantes:

1. Introducción del análisis global de coevolución, donde los modelos globales, es decir, los métodos DCA, han proporcionado un modelo probabilístico sistemático para los datos de MSA utilizando el modelo de Potts. Con una aproximación adecuada, los modelos DCA pueden eliminar de manera eficiente el ruido de transición en los métodos de análisis coevolutivos locales.

2. Aprendizaje convolucional profundo de las predicciones de contacto, donde la predicción de contactos de residuos de proteínas se formaliza con redes neuronales convolucionales, que han demostrado una ventaja significativa sobre los métodos clásicos. La introducción de redes neuronales residuales mejora aún más el rendimiento.

3. Uso de características coevolutivas en bruto, donde alimentar directamente el modelo de aprendizaje profundo con correlaciones coevolutivas sin procesar puede evitar la pérdida de información. El uso de funciones sin procesar sin el posprocesamiento corrige los problemas de los procedimientos de extracción de funciones en modelos anteriores.

4. Consideración de términos geométricos más ricos, donde los términos de geometría adicionales pueden proporcionar más información para ayudar a plegar mejor las estructuras de proteínas. Además, el aprendizaje multitarea también puede contribuir a cada una de las tareas.

5. Un modelo de aprendizaje efectivo de extremo a extremo, donde el modelo AlphaFold2 se considera casi resolvió el problema de predicción de la estructura de proteínas. El aprendizaje de extremo a extremo puede alimentar directamente el error de estructura al modelo. El poderoso mecanismo de atención también contribuye al éxito de AlphaFold2.

A pesar de estos logros, todavía hay un par de problemas que deben abordarse. En primer lugar, la predicción de las interacciones entre residuos entre dominios y cadenas de proteínas multidominio y complejos proteicos necesita una solución específica. En segundo lugar, se necesita más investigación para proporcionar información interpretable durante la predicción del plegamiento de proteínas basada en el aprendizaje profundo. Esperamos ver que el objetivo final de la predicción de la estructura de la proteína, es decir, la predicción directa de estructuras de proteína de alta precisión solo con secuencias de aminoácidos, se resuelva en un futuro próximo.

REFERENCIAS

- Kendrew, J. C., Bodo, G., Dintzis, H. M., Parrish, R. G., Wyckoff, H. y Phillips, D. C. (1958). A three-dimensional model of the myoglobin molecule obtained by x-ray analysis. *Nature*, 181(4610), 662-666.
- Wüthrich, K. (2001). The way to NMR structures of proteins. *Nature Structural & Molecular Biology*, 8(11), 923.
- Taylor, K. A. y Glaeser, R. M. (1974). Electron diffraction of frozen, hydrated protein crystals. *Science*, 186(4168), 1036-1037.
- Baker, D. y Sali, A. (2001). Protein structure prediction and structural genomics. *Science*, 294(5540), 93-96.
- Anfinsen, C. B. (1973). Principles that govern the folding of protein chains. *Science*, 181(4096), 223-230.
- Webb, B. y Sali, A. (2016). Comparative protein structure modeling using MODELLER. *Current Protocols in Bioinformatics*, 54(1), 1-5.
- Schwede, T., Kopp, J., Guex, N. y Peitsch, M. C. (2003). SWISS-MODEL: An automated protein homology-modeling server. *Nucleic Acids Research*, 31(13), 3381-3385.
- Bowie, J. U., Lüthy, R. y Eisenberg, D. (1991). A method to identify protein sequences that fold into a known three-dimensional structure. *Science*, 253(5016), 164-170.
- Jones, D. y Thornton, J. (1993). Protein fold recognition. *Journal of ComputerAided Molecular Design*, 7(4), 439-456.
- Cocco, S., Feinaur, C., Figliuzzi, M., Monasson, R. y Weigt, M. (2018). Inverse statistical physics of protein sequences: A key issues review. *Reports on Progress in Physics Physical Society*, 81(3), 032601.
- Ekeberg, M., Lövkvist, C., Lan, Y., Weigt, M. y Aurell, E. (2013). Improved contact prediction in proteins: Using pseudolikelihoods to infer Potts models. *Physical Review E*, 87(1), 012707.

- Jones, D. T., Buchan, D., Cozzetto, D. y Pontil, M. (2011). PSICOV: Precise structural contact prediction using sparse inverse covariance estimation on large multiple sequence alignments. *Bioinformatics*, 28(2), 184-190.
- Martin, L., Gloor, G. B., Dunn, S. D. y Wahl, L. M. (2005). Using information theory to search for co-evolving residues in proteins. *Bioinformatics*, 21(22), 4116-4124.
- Morcos, F., Pagnani, A., Lunt, B. y Weigt, M. (2011). Direct-coupling analysis of residue coevolution captures native contacts across many protein families. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(49), 1293-1301.
- Seemayer, S., Gruber, M. y Söding, J. (2014). CCMpred - fast and precise prediction of protein residue-residue contacts from correlated mutations. *Bioinformatics*, 30(21), 3128-3130.
- Cheng, J. y Baldi, P. (2007). Improved residue contact prediction using support vector machines and a large feature set. *BMC Bioinformatics*, 8(1), 1-9.
- Jones, D.T., Singh, T., Kosciolock, T. y Tetchner, S. (2014). MetaPSICOV: Combining coevolution methods for accurate prediction of contacts and long-range hydrogen bonding in proteins. *Bioinformatics*, 31(7), 999-1006.
- Schneider, M. y Brock, O. (2014). Combining physicochemical and evolutionary information for protein contact prediction. *Plos One*, 9(10), e108438.
- Adhikari, B., Hou, J. y Cheng, J. (2017). DNCON2: Improved protein contact prediction using twolevel deep convolutional neural networks. *Bioinformatics*, 34(9), 1466-1472.
- He, B., Mortuza, S. M., Wang, Y., Shen, H. B. y Zhang, Y. (2017). NeBcon: Protein contact map prediction using neural network training coupled with naïve Bayes classifiers. *Bioinformatics*, 33(15), 2296.
- Senior, A. W., Evans, R., Jumper, J., Kirkpatrick, J., Sifre, L., Green, T., Qin, C., Zidek, A., Nelson, A., Bridglan, A., Penedones, H., Peterson, S., Simonyan, K., Crossan, S., Kohli, P., Jones, D., Silver, D., Kavukcuoglu, K. y Hassabis, D. (2020). Improved

- protein structure prediction using potentials from deep learning. *Nature*, 577(7792), 706-710.
- Xu, J. (2019). Distance-based protein folding powered by deep learning. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(34), 16856-16865.
- Yang, J., Anishchenko, I., Park, H., Peng, Z., Ovchinnikov, S. y Baker, D. (2020). Improved protein structure prediction using predicted interresidue orientations. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(3), 1496-1503.
- Li, Y., Zhang, C., Zheng, W., Zhou, X., Bell, E. W., Yu, B. J. y Zhang, Y. (2021). Protein inter-residue contact and distance prediction by coupling complementary coevolution features with deep residual networks in CASP14. *Proteins: Structure, Function, and Bioinformatics*, 89(12), 1911-1921.
- Moult, J. A. (2005). Decade of CASP: Progress, bottlenecks and prognosis in protein structure prediction. *Current Opinion in Structural Biology*, 15(3), 285-289.
- Göbel, U., Sander, C., Schneider, R. y Valencia, A. (1994). Correlated mutations and residue contacts in proteins. *Proteins: Structure, Function, and Bioinformatics*, 18(4), 309-317.
- Yanofsky, C., Horn, V. y Thorpe, D. (1964). Protein structure relationships revealed by mutational analysis. *Science*, 146(3651), 1593-1594.
- Korber, B. T., Farber, R. M., Wolpert, D. H. y Lapedes, A. S. (1993). Covariation of mutations in the V3 loop of human immunodeficiency virus type 1 envelope protein: An information theoretic analysis. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 90(15), 7176-7180.
- Kass, I. y Horovitz, A. (2002). Mapping pathways of allosteric communication in GroEL by analysis of correlated mutations. *Proteins: Structure, Function, and Bioinformatics*, 48(4), 611-617.
- Lapedes, A. S., Giraud, B. G., Liu, L. C. y Stormo, G. D. (1999). Correlated mutations in models of protein sequences: Phylogenetic and structural effects. *Lecture Notes-Monograph Series*, 33, 236-256.

- Weigt, M., White, R. A., Szurmant, H., Hoch, J. A. y Hwa, T. (2009). Identification of direct residue contacts in protein–protein interaction by message passing. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(1), 67.
- Li, Y., Hu, J., Zhang, C., Yu, D. J. y Zhang, Y. (2019). ResPRE: High-accuracy protein contact prediction by coupling precision matrix with deep residual neural networks. *Bioinformatics*, 35(22), 4647-4655.
- Kamisetty, H., Ovchinnikov, S. y Baker, D. (2013). Assessing the utility of coevolution-based residue–residue contact predictions in a sequence-and structure-rich era. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110(39), 15674-15679.
- Zhang, H., Zhang, Q., Ju, F., Zhu, J., Gao, Y., Xie, Z., Deng, M., Sun, S., Zheng, W. M. y Bu, D. (2018). Predicting protein inter-residue contacts using composite likelihood maximization and deep learning. *BMC Bioinformatics*, 20, 537.
- Liu, D. C. y Nocedal, J. (1989). On the limited memory BFGS method for large scale optimization. *Mathematical Programming*, 45(1-3), 503-528.
- Hestenes, M. R. y Stiefel, E. (1952). Methods of conjugate gradients for solving linear systems. *NBS Washington*, 49, 409-435.
- Li, Y., Fang, Y. y Fang, J. (2011). Predicting residue–residue contacts using random forest models. *Bioinformatics*, 27(24), 3379-3384.
- Golkov, V., Skwark, M. J., Golkov, A., Dosovitskiy, A., Brox, T., Meiler, J. y Cremers, D. (2016). Protein contact prediction from amino acid co-evolution using convolutional networks for graph-valued images. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 29, 4222-4230.
- Wang, S., Sun, S., Li, Z., Zhang, R. y Xu, J. (2017). Accurate De Novo prediction of protein contact map by ultradeep learning model. *Plos Computational Biology*, 13(1), e1005324.
- Liu, Y., Palmedo, P., Ye, Q., Berger, B. y Peng, J. (2018). Enhancing evolutionary couplings with deep convolutional neural networks. *Cell Systems*, 6(1), 65.

- Jones, D. T. y Kandathil, S. M. (2018). High precision in protein contact prediction using fully convolutional neural networks and minimal sequence features. *Bioinformatics*, 34(19), 3308-3315.
- Li, Y., Zhang, C., Bell, E. W., Zheng, W., Zhou, X., Yu, D. J. y Zhang, Y. (2021). Deducing high-accuracy protein contact-maps from a triplet of coevolutionary matrices through deep residual convolutional networks. *Plus Computational Biology*, 17(3), e1008865.
- Xu, J., Mcpartlon, M. y Li, J. (2021). Improved protein structure prediction by deep learning irrespective of co-evolution information. *Nature Machine Intelligence*, 3, 601-609.
- Eickholt, J. y Cheng, J. (2012). Predicting protein residue–residue contacts using deep networks and boosting. *Bioinformatics*, 28(23), 3066-3072.
- Mcguffin, L. J., Bryson, K. y Jones, D. T. (2000). The PSIPRED protein structure prediction server. *Bioinformatics*, 16(4), 404-405.
- Monastyrskyy, B., D’Andrea, D., Fidelis, K., Tramontano, A. y Kryshchak, A. (2016). New encouraging developments in contact prediction: Assessment of the CASP11 results. *Proteins: Structure, Function, and Bioinformatics*, 84(s1), 131-144.
- He, K., Zhang, X., Ren, S. y Sun, J. (2016). Deep residual learning for image recognition. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Las Vegas, NV, USA, IEEE,
- Schaarschmidt, J., Monastyrskyy, B., Kryshchak, A. y Bonvin, A. M. J. J. (2018). Assessment of contact predictions in CASP12: Co-evolution and deep learning coming of age. *Proteins: Structure, Function, and Bioinformatics*, 86, 51-66.
- Li, Y., Zhang, C., Bell, E. W., Yu, D. J. y Zhang, Y. (2019). Ensembling multiple raw coevolutionary features with deep residual neural networks for contact-map prediction in CASP13. *Proteins: Structure, Function, and Bioinformatics*, 87(12), 1082-1091.
- Shen, T., Wu, J., Lan, H., Zheng, L., Pei, J., Wang, S., Liu, W. y Huang, J. (2021). When homologous sequences meet structural decoys: Accurate contact prediction by tFold

- in CASP14 — (tFold for CASP14 contact prediction). *Proteins: Structure, Function, and Bioinformatics*, 89(12), 1901-1910.
- Yang, J., Yan, R., Roy, A., Xu, D., Poisson, J. y Zhang, Y. (2015). The I-TASSER Suite: Protein structure and function prediction. *Nature Methods*, 12(1), 7-8.
- Zheng, W., Li, Y., Zhang, C., Zhou, X., Pearce, R., Bell, E. W., Huang, X. y Zhang, Y. (2021). Protein structure prediction using deep learning distance and hydrogen-bonding restraints in CASP14. *Proteins: Structure, Function, and Bioinformatics*, 89(12), 1734-1751.
- Sadowski, M. I., Maksimiak, K. y Taylor, W. R. (2011). Direct correlation analysis improves fold recognition. *Computational Biology and Chemistry*, 35(5), 323-332.
- Taylor, W. R., Jones, D. T. y Sadowski, M. I. (2012). Protein topology from predicted residue contacts. *Protein Science*, 21(2), 299-305.
- Sułkowska, J. I., Morcos, F. y Weigt, M. (2012). Genomics-aided structure prediction. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(26), 10340.
- Marks, D. S., Colwell, L. J., Sheridan, R., Hopf, T. A., Pagnani, A., Zecchina, R. y Sander, C. (2011). Protein 3D structure computed from evolutionary sequence variation. *PloS One*, 6(12), e28766.
- Brunger, A. T., Adams, P. D., Clore, G. M., Delano, W. L., Gros, P., Grosse-Kunstleve, R. W., Jiang, J. S., Kuszewski, J., Nilges, M., Pannu, N. S., Read, R. J., Rice, L. M., Simonson, T. y Warren, G. L. (1998). Crystallography & NMR system: A new software suite for macromolecular structure determination. *Acta Crystallographica Section D: Biological Crystallography*, 54(5), 905-921.
- Kosciolek, T. y Jones, D. T. (2014). De novo structure prediction of globular proteins aided by sequence variation-derived contacts. *PloS One*, 9(3), e92197.
- Ovchinnikov, S., Kamisetty, H. y Baker, D. (2014). Robust and accurate prediction of residue-residue interactions across protein interfaces using evolutionary information. *eLife*, 3, e02030.

- Mortuza, S., Zheng, W., Zhang, C., Li, Y. y Pearce, R. (2021). Improving fragment-based ab initio protein structure assembly using low-accuracy contact-map predictions. *Nature Communications*, 12(1), 1-12.
- Zheng, W., Zhang, C., Li, Y., Pearce, R. y Bell, E. W. (2021). Folding non-homologous proteins by coupling deep-learning contact map with I-TASSER assembly simulations. *Cell Reports Methods*, 1, 100014.
- Zhang, C., Mortuza, S. M., He, B., Wang, Y. y Zhang, Y. (2018). Template-based and free modeling of I-TASSER and QUARK pipelines using predicted contact maps in CASP12. *Proteins: Structure, Function, and Bioinformatics*, 86, 136-151.
- Zheng, W., Li, Y., Zhang, C., Pearce, R., Mortuza, S. M. y Zhang, Y. (2019). Deep-learning contact-map guided protein structure prediction in CASP13. *Proteins: Structure, Function, and Bioinformatics*, 87(12), 1149-1164.
- Abriata, L. A., Tamó, G. E. y Peraro, M. (2019). A further leap of improvement in tertiary structure prediction in CASP13 prompts new routes for future assessments. *Proteins: Structure, Function, and Bioinformatics*, 87(12), 1100-1112.
- Zhou, H. y Zhou, Y. (2002). Distance-scaled, finite ideal-gas reference state improves structure-derived potentials of mean force for structure selection and stability prediction. *Protein Science*, 11(11), 2714-2726.
- Chaudhury, S., Lyskov, S. y Gray, J. J. (2010). PyRosetta: A script-based interface for implementing molecular modeling algorithms using Rosetta. *Bioinformatics*, 26(5), 689-691.
- Jumper, J., Evans, R., Pritzel, A., Green, T., Figurnov, M., Ronneberger, O. y Tunyasuvunakool, K. (2021). Highly accurate protein structure prediction with AlphaFold. *Nature*, 596(7873), 583-589.
- Kinch, L. N., Pei, J., Kryshtafovych, A., Schaeffer, R. D. y Grishin, N. V. (2021). Topology evaluation of models for difficult targets in the 14th round of the critical assessment of protein structure prediction (CASP14). *Proteins: Structure, Function, and Bioinformatics*, 89(12), 1673-1686.

14. SEXUALIDAD EN ADOLESCENTES TEMPRANOS: CONOCIMIENTOS, ACTITUDES Y HABILIDADES PARA LA VIDA⁸³

Sexuality in Early Adolescents: Knowledge, Attitudes and Life Skills

Mónica Jacuinde Vega⁸⁴

Marisol Morales Rodríguez⁸⁵

Pares evaluadores: Red de Investigación en Educación, Empresa y Sociedad – REDIEES.⁸⁶

⁸³ Derivado del proyecto de investigación: Salud mental en la adolescencia: riesgos, retos y oportunidades

⁸⁴ Licenciada en Psicología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, correo electrónico: mjacuinde0918@gmail.com

⁸⁵ Lic. En Psicología, Universidad Autónoma de Baja California, Maestría en Psicología de la Salud, Doctorado en Ciencias de la Educación, Profesora Investigadora, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, correo electrónico: marisolmoralesrodriguez@gmail.com

⁸⁶ Red de Investigación en Educación, Empresa y Sociedad – REDIEES. www.rediees.org

SEXUALIDAD EN ADOLESCENTES TEMPRANOS: CONOCIMIENTOS, ACTITUDES Y HABILIDADES PARA LA VIDA⁸⁷

Mónica Jacuinde Vega, Marisol Morales Rodríguez

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue identificar los conocimientos, actitudes y habilidades para la vida sobre la sexualidad en adolescentes tempranos. Se basó en una metodología cualitativa, bajo el paradigma interpretativo; la perspectiva metodológica fue la fenomenología. Participaron 90 adolescentes con edad promedio de 14 años; se utilizaron dos técnicas para la recolección de datos: la entrevista y un cuestionario. De la entrevista se emplearon dos modalidades, individual (para docentes) y grupal (para estudiantes). Se contó con el consentimiento informado de los padres. El análisis de los datos se realizó mediante la categorización y haciendo uso de la triangulación de la información obtenida por las distintas técnicas empleadas. Los resultados muestran la obtención de 5 categorías: Conocimientos y actitudes sobre sexualidad (4 subcategorías); Conocimientos en salud sexual y educación sexual (6 subcategorías); Actitudes hacia la orientación sexual (3 subcategorías); Actitudes hacia las relaciones de pareja (2 subcategorías); Habilidades para la vida (4 subcategorías: autoestima, empatía, asertividad, autocontrol). Los y las adolescentes cuentan con una serie de conocimientos relativamente claros sobre algunos aspectos de la sexualidad, mientras que en otros hay grandes vacíos. Muestran actitudes favorables hacia relaciones de pareja y atracción, relativamente favorables hacia la orientación sexual y desfavorables hacia relaciones sexuales a temprana edad. Existen deficiencias en las habilidades para la vida, por lo que se requiere promoverlas para disminuir conductas sexuales de riesgo.

Palabras Clave: sexualidad; conocimientos; actitudes; habilidades para la vida; adolescentes.

⁸⁷ Derivado del proyecto de investigación: Salud mental en la adolescencia: Riesgos, retos y oportunidades.

ABSTRACT

The objective of this study was to identify knowledge, attitudes and life skills about sexuality in early adolescents. It was based on a qualitative methodology, under the interpretative paradigm; the methodological perspective was phenomenology. Ninety adolescents with an average age of 14 years participated; two techniques were used for data collection: the interview and a questionnaire. Two modalities were used for the interview, individual (for teachers) and group (for students). Parents' informed consent was obtained. The data analysis was carried out by categorizing and triangulating the information obtained by the different techniques used. The results show 5 categories: Knowledge and attitudes about sexuality (4 subcategories); Knowledge about sexual health and sexual education (6 subcategories); Attitudes towards sexual orientation (3 subcategories); Attitudes towards relationships (2 subcategories); Life skills (4 subcategories: self-esteem, empathy, assertiveness, self-control). Adolescents have a relatively clear set of knowledge about some aspects of sexuality, while in others there are major gaps. They show favorable attitudes towards relationships and attraction, relatively favorable attitudes towards sexual orientation and unfavorable attitudes towards early sexual relations. There are deficiencies in life skills, so it is necessary to promote them in order to reduce risky sexual behaviors.

Keywords: sexuality; knowledge; attitudes; life skills; adolescents.

INTRODUCCIÓN

Los adolescentes representan según el Consejo Nacional de Población (2016) el 31.4% de la población mexicana y según Folch et al. (2015), se consideran un grupo poblacional de riesgo, debido a que es un período de cambios en el que se inicia la actividad sexual.

La sexualidad es inherente al ser humano ya que lo acompaña a lo largo de toda su vida, siendo parte de esta el sexo, las identidades, los roles de género, la orientación sexual, el erotismo, el placer, la intimidad y la reproducción, esto es vivido y expresado mediante pensamientos, fantasías, deseos creencias, valores, comportamientos, actitudes, practicas, roles y relaciones, que por lo regular no son experimentadas y expresadas abiertamente. Las decisiones en torno al desarrollo sexual adolescente, por lo regular tienen fuertes implicaciones para su salud y para las relaciones actuales y futuras (OMS, 2018; Corona y Funes, 2015).

Desde la perspectiva de Calero et al. (2017), la sexualidad es una parte integral de la personalidad, cuyas manifestaciones son diferentes en cada persona considerando rasgos de personalidad, contexto sociocultural, momento histórico y la etapa del ciclo vital. Actualmente, los adolescentes inician sus relaciones sexuales a una edad cada vez más temprana, no obstante, es una práctica para la que no están preparados, dada la inmadurez socioemocional.

Las ideologías, creencias, prejuicios y desconocimiento sobre temas relacionados con la sexualidad influyen en la toma de decisiones con respecto al inicio de relaciones sexuales, datos corroborados por la OMS (2018; 2020) quien reporta que el 11% de los nacimientos de niños y niñas son de madres adolescentes; aunado al hecho de que entre el 3 y 24% de mujeres, reportan que su primera relación sexual fue forzada.

A pesar de que ha sido un tema exhaustivamente estudiado, y que hay mucha información al respecto, incluso hasta en redes sociales, los conocimientos que tienen los adolescentes sobre sexualidad no siempre son los idóneos y por lo tanto las actitudes pueden ser poco favorables para un desarrollo saludable, de ahí la importancia de indagar en

particular sobre conocimientos y actitudes en torno a diversos aspectos de la sexualidad en la adolescencia.

Diversos estudios relacionados con los conocimientos poseídos sobre sexualidad, evidencian que ello influye en la salud sexual y reproductiva de los adolescentes, llevándolos a tomar decisiones, las cuales pueden ser correctas o incorrectas. Desafortunadamente predomina más el desconocimiento sobre diversos aspectos de la sexualidad; un dato interesante es que son los varones quienes cuentan con mayor información, lo cual podría asociarse a un inicio más temprano de la vida sexual o por la información proporcionada al por la figura paterna. Tal desconocimiento se ve reflejado en parte con el inicio temprano de relaciones sexuales lo cual puede mitigarse a través de la educación con miras a lograr una sexualidad responsable (García et al., 2017).

Es importante destacar que los adolescentes:

(...) que disponen de más información sobre sexualidad se exponen a menos situaciones de riesgo. No obstante, hay otros estudios que llegan a la conclusión de que no es lineal esta relación y no siempre la información es sinónimo de cambio de hábitos. A pesar del acceso a la información a través de los medios, sigue existiendo una alta prevalencia de errores entre los jóvenes en materia de sexualidad. (León-Larios y Gómez-Baya, 2018, p. 2)

Adolescentes y jóvenes obtienen información poco adecuada sobre el tema y toman decisiones dentro del contexto de la cultura. En relación al conocimiento particular sobre salud sexual, es bajo ya que existen preguntas de las cuales no tienen claridad en sus respuestas, expresan no saber si la sexualidad es solo lo biológico, además se detectó que los adolescentes y jóvenes no tiene preparación suficiente sobre los aspectos relacionales y emocionales de una relación íntima (Ordoñez et al., 2017).

En tanto, Rodríguez et al. (2016) señalan que el tipo de conocimientos sobre sexualidad que poseen los adolescentes tienen una relación directa con las actitudes, las cuales influirán incluso en la vida adulta, siendo determinantes para generar o no conductas de riesgo.

Las actitudes son otros elementos significativos a la hora de tomar decisiones. En la actualidad diversos estudios revelan que la sexualidad está profundamente influenciada por estas. Según Cunningham et al. (2007) (como se citó en Blanc y Rojas, 2017) definen la actitud como un conjunto relativamente estable de representaciones almacenadas en la memoria sobre la valoración de un objeto. Estas tienen tres componentes: cognitivo, afectivo, conductual, lo que determinará ciertos patrones de comportamiento

Las actitudes hacia la sexualidad por lo regular se han relacionado con la moral imperante en cada momento histórico (Díaz et al., 2016). De esta manera, determinados comportamientos sexuales tienen una carga valoral definida social y culturalmente; por lo que son evaluados de diferente modo según sean realizados por hombres, mujeres, homosexuales, personas con alguna necesidad especial, con alguna inclinación política, etc. (Díaz-Rodríguez et al., 2016).

Desde otra perspectiva, un estudio sobre actitudes hacia la salud sexual reportó que el 50% de estudiantes entrevistados estaban en desacuerdo en que los hombres que se arreglaban más fueran afeminados, y poco más del 80% no estuvo de acuerdo en que las mujeres que no se preocupaban por su apariencia tuviera una orientación sexual distinta a la heterosexualidad. Solo el 25% de entrevistados refirieron que la masturbación fuera exclusiva de los hombres, y en porcentajes bajos, se manifestaron aquellos que consideraban que las relaciones prematrimoniales eran más perjudiciales para la mujer; un dato curioso fue que más del 60% expresaron que las relaciones sexuales deberían darse solamente cuando hubiera amor. Lo anterior puede ser resultado de la conjunción de valores familiares y culturales imperantes (Ordoñez et al., 2017).

Además de los conocimientos y de las actitudes que muestran los adolescentes con respecto a la sexualidad, las habilidades son un indicador importante que influyen en las prácticas sexuales; en particular las habilidades para la vida actúan como mecanismos protectores que pueden prevenir conductas sexuales de riesgo.

El modelo de habilidades para la vida permite desarrollar destrezas en los adolescentes para que estos adquieran las aptitudes necesarias para un sano desarrollo y que a su vez puedan enfrentar los retos de la vida de forma adecuada. Este modelo incluye

habilidades sociales, cognitivas y de manejo de emociones, las cuales influyen en las conductas del adolescente; por lo tanto enseñar este tipo de habilidades ha resultado eficaz para prevenir los comportamientos de riesgo (Corrales et al, 2017). Así mismo, estas habilidades además de prevenir conductas sexuales de riesgo, favorecen el adecuado manejo de la ira, mejoran el desempeño escolar y promueven un ajuste social positivo (Mangrulkar et al., 2001).

Diversas investigaciones destacan que las habilidades para la vida son eficaces para reducir el consumo de tabaco, alcohol, relaciones sexuales en edad temprana, embarazo adolescente e infecciones de transmisión sexual (Morales et al., 2021), de ahí la importancia de conocerlas desde la perspectiva del mismo adolescente. Para este estudio se tomaron algunas habilidades para la vida como la autoestima, empatía, asertividad y autocontrol.

Con base en lo planteado, surge el objetivo del presente estudio, el cual se enfocó en identificar los conocimientos, actitudes y habilidades para la vida sobre la sexualidad en adolescentes tempranos.

MATERIAL Y MÉTODOS

La presente investigación es de tipo cualitativo ya que lo que se pretende es explicar y comprender las relaciones y significados que tienen las personas o grupos sobre algo en particular (Álvarez-Gayou, 2003). El paradigma es interpretativo, a través de este se interpreta y evalúa la realidad, centrándose en aspectos que no se pueden observar, medir ni cuantificar, este parte de los deseos, intereses, expectativas, concepciones del mundo, etc., para describir lo que es único y personal del individuo (Santos, 2010).

La perspectiva metodológica fue la fenomenología, caracterizada por estudiar experiencias concretas tal como son percibidas por el o los individuos investigados que las vive según plantea Husserl (como se citó en Caricote, 2009).

Participantes

La institución educativa mostró el interés de que todos los alumnos de segundo y tercer grado participaran en el estudio, de tal forma que fueron 90 adolescentes los participantes, cuyo rango de edad oscila entre los 13 y 15 años ($M= 14.02$; $D.E.= 3.1$), del total de participantes, el 62% son hombres y el 38% mujeres, inscritos en una secundaria de carácter privado de la ciudad de Morelia, Michoacán. Tales estaban divididos en 4 grupos, dos de segundo y dos de tercer grado

Contexto escolar

La escuela secundaria es una institución que ofrece el servicio de educación en el sector privado de nivel educativo secundaria, en turno matutino. El personal con el que cuenta el instituto es de 8 docentes y una subdirectora, el sector estudiantil está conformado por 129 alumnos, de los cuales 59 son mujeres y 70 son hombres. Las instalaciones del plantel están ubicadas en la Av. Universidad 2055, Fraccionamiento Real Universidad, Morelia, es un edificio de 3 plantas, dividiendo salones y compartiendo áreas entre el nivel básico y medio superior. Del total de las instalaciones seis salones son exclusivos para nivel secundaria, así mismo tiene 2 canchas (una de fútbol y una de basquetbol), una sala audiovisual, un cubículo de atención psicológica, dos cuartos de baño (uno para hombres y uno para mujeres), un área de esparcimiento y un estacionamiento compartido entre ambos niveles.

Técnicas de recolección de información

Se utilizaron dos técnicas para la recolección de datos: la entrevista y un cuestionario. De la entrevista se emplearon dos modalidades, individual y grupal.

La entrevista se define como “una reunión para conversar e intercambiar información entre una persona el entrevistador y otra el entrevistado u otras” (Hernández et al., 2014, p. 403). Existen entrevistas individuales y grupales, estas últimas son aquellas en donde los entrevistadores reúnen conjuntos de individuos para conversar sobre sus vidas y experiencias de forma abierta y libre (Taylor y Bogdan, 1987).

La entrevista individual se utilizó para obtener información de la directora y de los maestros de grupo a fin de indagar acerca de su percepción sobre conocimientos, actitudes y habilidades para la vida de los adolescentes; la entrevista grupal se implementó con los alumnos, en cada uno de los grupos, las cuales fueron grabadas previo consentimiento de los participantes. En ambas modalidades se hizo uso de la entrevista semi-estructurada. Este tipo de entrevista se basa en una serie de preguntas que realiza el investigador, estas funcionan como una guía ya que se pueden introducir preguntas para precisar conceptos y así recabar mayor información (Hernández et al., 2014).

Además de la entrevista, se hizo uso del cuestionario los cuestionarios, os cuales en palabras de Hernández et al. (2014) consisten en una serie de preguntas abiertas y/o cerradas que evalúan una o más variables y son considerados uno de los instrumentos más utilizado para recolectar datos. Particularmente en la metodología cualitativa, suelen ser basados en preguntas abiertas, mediante estos se puede obtener información sin estar frente al participante, teniendo acceso a la subjetividad de los mismos.

El cuestionario se aplicó solamente a los alumnos de los cuatro grupos, que, aunque fue aplicado de manera colectiva, fue contestado de manera individual. El propósito del cuestionario fue complementar la información obtenida en la entrevista e indagar de manera más completa sobre los conocimientos, actitudes y habilidades para la vida que los y las adolescentes poseían sobre diversas dimensiones de la sexualidad.

Procedimiento

La parte empírica del estudio se inició con el acercamiento con las autoridades educativas, quienes sugirieron el proceso a seguir con los actores involucrados. Primeramente se llevó a cabo la entrevista con la directora y posteriormente con algunos de los docentes que impartían clases a los cuatro grupos; la elección de los docentes se realizó considerando su disposición para participar en el estudio y que impartieran clases al menos a dos grupos. De manera simultánea se llevaron a cabo las entrevistas grupales con los adolescentes. Posteriormente, se aplicó el cuestionario con los cuatro grupos. Esta fase fue de recolección de información, cabe destacar que para aplicar el cuestionario se escucharon las entrevistas con los alumnos a fin de determinar las preguntas con mayor precisión.

En la siguiente fase se llevó a cabo la transcripción literal de las entrevistas, seguida de la fase siguiente que consistió en analizar la información, identificando categorías y subcategorías; finalmente se realizó el resumen de los datos.

Análisis de la información

El análisis de los datos fue posible a través de la triangulación de la información obtenida por las distintas técnicas empleadas, se obtuvo el esquema con base en categorías y subcategorías. La categorización consiste en “resumir o sintetizar en una idea o concepto (una palabra o expresión breve, pero elocuente) un conjunto de información escrita, grabada o filmada para su fácil manejo posterior” (Martínez, 2000, p. 34).

Consideraciones éticas

En la presente investigación se cumplieron los siguientes lineamientos según la Sociedad Mexicana de Psicología (2009):

Confidencialidad: las respuestas, opiniones y datos personales se mantuvieron en estricta reserva a fin de mantener la confidencialidad

Consentimiento informado: se solicitó el consentimiento informado a los padres o tutores, así como a los participantes donde se explicó en qué consistía la investigación y cuál sería su participación. Fue en dicho documento donde se hizo saber sobre la grabación de las entrevistas.

Anonimato: la información de los participantes se presentó de manera anónima, asignando letras y números para que de este modo no se identificaran a los participantes.

RESULTADOS

Los resultados hacen alusión a la información obtenida de los diversos agentes involucrados-docentes y alumnos- y a través de distintas fuentes; destaca la organización en categorías y subcategorías desde la visión cualitativa.

Categorías

Del análisis de la información obtenida del trabajo de campo en función de las entrevistas como de cuestionarios se identificaron 5 categorías, de las cuales, se desprenden una serie de subcategorías (Tabla 1), las cuales se describen a continuación. Cabe destacar que el conocimiento es definido por la Real Academia como la “Acción y efecto de conocer” información acerca de sexualidad. Mientras que una actitud es definida como la inclinación positiva o negativa que influye en la conducta de las personas, compuesta por un componente cognitivo, afectivo e intencional (Cárdenas, 2008, como se citó en Naranjo, 2012). En tanto, las habilidades las habilidades hacen referencia a lo que las personas son capaces de hacer desde sus propias condiciones – a nivel biológico, fisiológico, neurológico y psicológico-

estas pueden ser específicas e integrativas (Portillo-Torres, 2017). En lo particular, las habilidades para la vida permiten afrontar las exigencias y desafíos de la vida diaria mediante el aprendizaje e implementación de herramientas para hacernos cargo de nuestras acciones, cuidándonos y relacionándonos de manera asertiva con las y los otros (Torres, 2017).

Tabla 1

Categorías y subcategorías a priori

Categorías	Subcategorías
Conocimientos y actitudes sobre sexualidad	Sexo Características sexuales primarias y secundarias Reproducción humana Autoexploración/masturbación
Conocimientos en salud sexual y educación sexual	Enfermedades de transmisión sexual Métodos anticonceptivos Cuidados y salud sexual Prevención de riesgos Derechos sexuales Prácticas sexuales de riesgo
Actitudes hacia la orientación sexual	Orientaciones sexuales Atracción sexual y física Género
Actitudes hacia las relaciones de pareja	Actitudes positivas y valores Relaciones sexuales e intimidad
Habilidades para la vida	Empatía Asertividad Autoestima Autocontrol

Nota: elaboración propia

Categoría 1. Conocimientos y Actitudes Sobre Sexualidad

Sexo. La subcategoría sexo hace referencia a las diferencias entre hombres y mujeres, en características físicas externas e internas particulares asignadas biológicamente.

“Son características físicas que tiene cada persona” (A2)

“Es el sexo que tenemos de hombre y mujer” (A12)

“El sexo que viene de nacimiento en sí, llamado sexo” (A16)

Cuando se hace referencia a características asignadas biológicamente, también se incluyen aspectos que competen a las características sexuales primarias, a pesar de concebirse como otra subcategoría:

A19: “las partes íntimas del hombre y la mujer”.

A25: “se me viene como a la mente más como del cuerpo humano pero generalizando la parte sexual del cuerpo humano como aparato reproductor”.

Con base en lo anterior, se observa que los participantes poseen el conocimiento sobre la definición de sexo, señalando características que lo definen.

Características sexuales primarias y secundarias. Esta hace referencia a cambios en su cuerpo como resultado de la etapa adolescente, tales se relacionan con la aparición de la menstruación, poluciones nocturnas, cambios de voz, masa muscular, crecimiento de busto, vello facial y corporal, diferenciación del aparato reproductor entre otras, es decir lo concerniente a los caracteres primarios y secundarios.

“...son las noches húmedas de los hombres” (A3)

“Se trata como el inicio de las noches mojadas de los niños” (A7)

”Es cuando al hombre se le engruesa la voz”, (A12)

”Una característica son las mamas desarrolladas” (A14)

“Una es el crecimiento de busto” (A23)

“Son diferentes... los órganos sexuales...” (A35)

“La mujer tiene menor cantidad de vello corporal y facial que el hombre” (A48)

Reproducción humana. Contempla aspectos relacionados con el cómo se engendra vida y la reproducción como especie humana.

A5: “Cuando se reproducen”,

A26: “entiendo la reproducción de hombre y mujer”,

A33: “son los métodos de reproducción”,

A37: “Es cuando se trata de cómo se hacen los hijos”.

Autoexploración/Masturbación. La mayoría de estudiantes conocen sobre el tema, haciendo referencia a la exploración del cuerpo, y el proporcionarse placer, sin embargo, el personal de la institución resalta que es un tema que les genera curiosidad y dudas acerca de la práctica. No cabe duda que existe conocimiento del tema a pesar de que el proceso en sí mismo todavía genere dudas.

“Es el placer que tú te provocas momentáneo” (A6)

”Es una forma de darte placer a ti mismo” (A12)

”... es auto darse placer” (A15)

”...sucede... estas explorando tu cuerpo” (A24)

“Es cuando te tocas tus partes íntimas produciendo el placer que sientes en una relación sexual” (A27)

“Es la estimulación de genitales con las manos” (A51)

Categoría 2. Conocimientos en Salud Sexual y Educación Sexual.

Enfermedades de transmisión sexual. En esta subcategoría los estudiantes poseen conocimientos sobre enfermedades de transmisión sexual de manera muy general, estos conocimientos suelen ser muy vagos y con vacíos de información acerca de las causas de la presencia de dicha condición.

“Las enfermedades y pues lo que causa” (A14)

”Las enfermedades sexuales” (A22)

“Son enfermedades que puedes tener al tener relaciones sexuales” (A56)

Métodos anticonceptivos. Los adolescentes tienen conocimientos sobre diversos métodos, el más identificado fue el preservativo, aunque se denota curiosidad por conocer más sobre su uso; a pesar de ser el más conocido, conocen el propósito de su utilización.

”... son métodos de protección” (A17)

“Es cuando se hace uso del condón en la sexualidad” (A42)

“Los métodos anticonceptivos previenen embarazos y enfermedades” (A49)

”Los método son útiles con un adecuado uso” (A56)

”Son necesarios al comenzar la vida sexual” (A66)

” Te protegen de riesgos” (A71)

Cuidados y salud sexual. Engloba los conocimientos que se tienen sobre higiene personal, así como de hábitos saludables o prácticas a seguir para el cuidado personal haciendo mención de actos responsables; incluyen aspectos que van más allá de la conducta sexual.

”Los cuidados que debes de tener una higiene buena... como podríamos cuidarnos de una mejor manera” (A2)

”...te explican todo sobre tu cuidado personal” (A7)

”...cómo cuidarse” (A13)

”La salud del humano” (A19)

“No teniendo relaciones sexuales a temprana edad” (A24)

“Tener una adecuada alimentación” (A31)

“Se refiere a la higiene, realizando ejercicio” (A39)

Prevención de riesgos. Esta subcategoría está enfocada en causas de las conductas sexuales de riesgo, consecuencias (riesgos) a los que pueden estar expuestos de ser sexualmente activos, incluye aquellas prácticas que los ponen en riesgo y que por lo tanto, se requiere evitar así como educación sexual.

A3:”cualquier tipo de prevención para... para nuestro cuerpo” (A3)

A7:”una educación para no tener relaciones sexuales a temprana edad” (A7)

A13:”cómo podrían prevenirse las enfermedades” (A13)

A16:”la educación sexual” (A16)

A21:”las consecuencias que lleva e eso, el no usar los anticonceptivos y la explicación de cada uno”.

A31:”causas y consecuencias de una vida sexual”

A41:”los riesgos que puede tener una mujer si llega a estar embarazada”.

A63:”-falta de información”.

Derechos sexuales. Dentro de esta subcategoría una gran parte de los participantes tienen conocimiento sobre los derechos sexuales, identificándose tanto en la encuesta como en la entrevista; los conocimientos son sobre algunos derechos sexuales como la libertad sexual, información basada en evidencia científica, autonomía, integridad y cuidado del propio cuerpo, por otro lado aquellos participantes que no tenían información previa, manifestaron ideas generales de lo que es un derecho sexual.

”Es tener igualdad ante la ley” (A12)

”Derecho a poder decidir con quién estar, derecho a poder tener una relación” (A14)

”...pues tenemos derecho a no hacerlo... cuando estemos listas o listos” (A22)

“Es el derecho a que tú puedas elegir tu sexualidad, sin que nadie te critique” (A31)

“Tal vez darnos la oportunidad de decidir que queremos hacer nosotros con nuestra vida sexual” (A44)

“Tener derecho a informare sobre, sobre todo ese tema de la sexualidad” (A57)

Prácticas sexuales de riesgo. En esta subcategoría hay conocimiento sobre conductas sexuales de riesgo como relaciones sexuales sin protección, prácticas sexuales a temprana edad, el aborto, embarazo adolescente; siendo las relaciones sexuales no consensuadas, conductas identificadas también por docentes y directivos del plantel.

Alumnado

”No utilizar anticonceptivos” (A7)

”Tener relaciones sexuales sin protección” (A21)

”Tener relaciones a muy corta edad, empezar tu vida sexual desde muy pequeño o pequeña” (A36)

”... tener un hijo a temprana edad” (A43)

“...un embarazo no planeado” (A51)

”Practicar un aborto clandestino o tener el embarazo en un lugar que no es adecuado” (A67)

Personal docente y directivo

D1:”... ya empiezan a tener relaciones sexuales no consensuadas o que ellas dice si, pero con condón, pero el chico no lo hace”.

D2:”se trata de exposición de imágenes (el dichoso pack)”.

Categoría 3. Actitudes Hacia la Orientación Sexual

Orientación sexual. La orientación sexual es definida por la American Psychological Association (2013) como “una atracción emocional, romántica, sexual o afectiva duradera hacia otros” (Párr. 1)

En esta subcategoría se identifican actitudes de aceptación a las decisiones, gustos y preferencias sexuales de las personas. Se observa confusión de términos.

”...se refería a las preferencias y orientaciones” (A32)

”La orientación que las personas puedan llegar a tener” (A44)

”La sexualidad de una persona o sea sus gustos... su orientación sexual” (A66)

”Es la orientación sexual de cada persona” (A82)

Atracción sexual y física. En esta subcategoría se identifican actitudes positivas y abiertas sobre los comportamientos o acciones para atraer a otra persona.

”Es cuando alguien te atrae sexualmente, yo siento que te atrae una persona por su físico o por su personalidad” (A23)

”Es la atracción física” (A34)

”Son comportamientos que usa un individuo para atraer a otra persona, ya sea físicamente” (A48)

”Es cuando te atrae una persona de diferente sexo o del mismo sexo por su físico” (A76)

Género. En esta subcategoría se identifican actitudes de aceptación y respeto sobre el género de cada persona, pero existe confusión respecto al significado del constructo.

”Pienso en ... como hombre, o mujer... el género hombre o mujer” (A33)

“...sobre el género de una persona” (A54)

”Nuestro género” (A63)

”El género que nosotros tenemos” (A65)

Categoría 4. Actitudes Hacia las Relaciones de Pareja

Actitudes positivas y Valores. En esta subcategoría se identifican actitudes positivas hacia las relaciones de noviazgo, las cuales deben ser afectuosas, íntimas y cercanas. También se incluyen valores presentes como el respeto, confianza y amor.

”Es una relación más afectuosa que la de amistad, un gran sentimiento por una persona, mayor al de ser su amigo o su amiga” (A3)

”...pues podría ser una relación donde llevan los límites a lo más íntimo... donde pues si son más cercanos más unidos, que un amigo” (A11)

Además se tienen valores muy marcados a seguir como lo es el respeto, confianza y amor.

”Una relación puede ser aquella persona con la que te sientas con mucha confianza que respete tus gustos, a la que se, con alguien más íntimo, no sé... con más afecto por así decirlo” (A24)

”Es cuando dos personas se quieren mucho se tienen amor mutuamente no” (A29)

”...que se quieren y hay amor entre los dos individuos, estoy pensando en eso” (A37)

”La confianza que debe existir entre los dos” (A50)

Relaciones sexuales e intimidad. Se identifican actitudes de prevención, así como actitudes de desaprobación hacia el inicio temprano de las relaciones sexuales.

”Comportamientos sexuales, componentes de nuestra sexualidad” (A13)

”Es tener relaciones sexuales” (A29)

”Es la intimidad que tienen las personas” (A37)

”Es un impulso o deseo hacia otra persona” (A46)

”No teniendo relaciones sexuales a temprana edad” (A62)

”...empezar a hacer sexo desde edad temprana” (A66)

Categoría 5. Habilidades para la Vida

Las habilidades para la vida o destrezas psicosociales son las que permiten enfrentar con éxito las exigencias y desafíos de la sexualidad adolescente.

Autoestima. Se observó niveles bajos de autoestima, haciendo mención que si contaran con una autoestima positiva se sentirían mejor consigo mismos, más seguros y seguras.

”... tendría más seguridad” (A24)

“Me gustaría tener menos inseguridades” (A43)

“... me sentiría más seguro de mí mismo” (A47)

” La manera en la que me veo a mí misma sería diferente, tal vez me amaría a mí misma más tal y como soy” (A56)

“Me sentiría más satisfecha conmigo misma y de lo que hago” (A59)

“Si yo tuviera autoestima, definitivamente sería más feliz y más sana mentalmente” (A77)

Empatía. Se identifica en un mayor porcentaje una falta de empatía por parte de los participantes ante situaciones hipotéticas de imaginar que se le diría a un amigo/a si le pasara tal o cual situación; también se observa apoyo en algunos casos; el ejemplo fue presencia de enfermedades de transmisión sexual.

”Le diría: eso por no cuidarte, ahora ya valiste” (A23)

“Decirle que se vaya a revisar” (A46)

“que porque no se cuidó... y que lo/a apoyo” (A54)

”Pues como se te ocurre tener relaciones sin protección... o que tenga más cuidado” (A55)

”Primero lo regañaría...segundo lo apoyaría con consejos yendo con él al doctor etc.” (A56)

”Que porque le pasó eso “ (A71)

Asertividad. En cuanto a esta categoría se identifica un comportamiento pasivo-agresivo ante situaciones que los colocan en riesgo como el sentirse intimidado, ser tocado por otro u otra.

”No me dejaría yo si le vengo diciendo sus verdades y no me dejaría a puro puño y si se pasa, hacer algo legal” (A16)

”Con todo el respeto del mundo y sin el afán de insultar o hacer sentir mal a alguien pero le rompo toda su m...” (A19)

”En ese momento no tendría la fuerza suficiente para decir algo” (A42)

”Me daría miedo y no haría nada” (A53)

”Vengarme de esa persona y hacerlo sufrir hasta que se arrepienta pidiendo perdón” (A58)

”L@ empujo y le digo que se aleje” (A64)

”...pues golpearlo y luego decirle que eso no se hace” (A73)

Autocontrol. En cuanto a la subcategoría de autocontrol se identificó que los adolescentes actúan de manera agresiva ante una emoción fuerte como el enojo, por lo que muestran deficiencias en el control de emociones, se les hicieron preguntas directas y algunas situaciones hipotéticas.

“Le gritaría...tengo mal carácter pero estoy trabajando en mejorarlo (A21)

”Lo agarro a golpes y también depende de la situación que está ocurriendo me voy para que no empeore” (A26)

”Intentaría ignorar a esa persona, en caso de que no pare hablaría con el/ella directamente” (A45)

”Me iría, porque por lo general me voy cuando me enojo” (A53)

”...depende de la persona y de que tan enojada, pero si me hicieran enojar mucho me pondría un poco grosera” (A65)

”Tratamos de dialogarlo si no acepta como dicen los chavos, le rompo su m... a gajos” (A82)

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La sexualidad constituye la forma de expresar la intimidad de los individuos mediante diversas dimensiones, llámese física, emocional, social y espiritual, las cuales se encuentran integradas permitiendo el establecimiento de vínculos, es por eso que, como parte esencial del desarrollo, va más allá de las relaciones sexuales, genera fuertes repercusiones en la salud y en el desarrollo de la personalidad. Tiende a expresarse a través de pensamientos, fantasías, deseos, creencias, actitudes, valores, prácticas, roles y relaciones (Barceló y Navarro, 2013). Por ello la importancia que adquiere además de identificar conocimientos y actitudes, habilidades para la vida que se asocian con la sexualidad, ya que si se poseen diversas habilidades cognitivas, emocionales y sociales es más probable que el adolescente viva su sexualidad de manera responsable, saludable

Los y las adolescentes cuentan con una serie de conocimientos relativamente claros sobre algunos aspectos de la sexualidad, mientras que en otros hay vacíos. En cuanto a reproducción y masturbación la información es mucho más precisa, lo cual obedece a que desde primaria se revisan temas relacionados con la reproducción humana y resulta ser un tema sencillo de abordar desde la base científica sin ir más allá del proceso reproductivo. En el caso de la masturbación/autoexploración tienen conocimiento sobre lo que es, ya que resulta de su interés, aunque todavía existen dudas e interés de profundizar sobre el tema. Con respecto a conocimientos sobre sexo y características sexuales-primarias y secundarias-existe todavía cierta confusión.

En torno a la categoría conocimientos en salud sexual y educación sexual, se encontró que en cuanto a enfermedades por transmisión sexual y métodos anticonceptivos cuentan con los conocimientos adecuados, sin embargo el hecho de que posean los conocimientos no garantiza que su comportamiento sea el indicado para prevenir conductas sexuales de riesgo.

Los conocimientos sobre cuidados y salud sexual son relativamente vagos, si tienen la información sobre la importancia de contar con hábitos saludables y prácticas responsables pero no lo precisan en la sexualidad. Con respecto a prevención de riesgos si tienen conocimientos precisos sobre lo que significa llevar a cabo conductas sexuales de riesgo e

incluso retoman la educación sexual como una forma de prevención; ello coincide con la información que poseen sobre prácticas sexuales de riesgo que reitera la importancia de la prevención, se hace alusión a la existencia de prácticas que los puede colocar en una condición de vulnerabilidad como inicio temprano de relaciones sexuales, y de estas sin protección, embarazo y aborto.

Llama la atención que los conocimientos sobre derechos sexuales son adecuados y precisos, lo cual podría estar asociado a que es uno de los temas que si se revisan en las aulas a nivel primaria y de los cuales se ha difundido información por diversas vías; además de que resulta de su interés como una manera de protegerse.

Los datos anteriores ponen en evidencia la influencia que tienen diversos factores en el nivel de conocimiento sobre la expresión de la sexualidad, que va desde la familia, el contexto social y cultural, el momento histórico que se vive, entre otros. Al respecto Cuñat et al. (2017) señalan los adolescentes actuales poseen características diferentes a los de generaciones pasadas, pertenecen a la sociedad de la comunicación donde principalmente los ordenadores y en general el internet, cumplen la función de informar al respecto, a lo que se añade lo ocurrido hace décadas, denominado revolución sexual.

El entorno social durante la adolescencia ejerce una influencia notable en el desarrollo de estilos de vida, afectando el nivel de conocimientos claros y precisos sobre la sexualidad; y cuando la información es contradictoria, cuando existe una intensa exposición a mensajes estereotipados, hay debilitamiento del entorno familiar, ausencia de valores y prácticas inadecuadas de la sexualidad, conduce a desinformación y adopción de conductas de riesgo (Carranza et al., 2015).

Los conocimientos generan una serie de actitudes hacia la sexualidad lo cual es determinante en llevar a cabo ciertos patrones conductuales. En relación a las actitudes hacia la orientación sexual, se identificaron actitudes de aceptación a las decisiones y preferencias sexuales de las personas, sin embargo todavía se observa confusión de términos, lo que lleva a cierta ambigüedad. La orientación sexual se distingue mediante el sexo de la persona, las personas que desea y con quienes decide tener prácticas sexuales, pueden ser heterosexuales, homosexuales, bisexuales, asexual y ambigua (Moral, 2011).

Las actitudes hacia la atracción sexual y física son de aprobación, se muestra abiertamente la aceptación de dicha práctica para establecer relaciones de pareja. El género sigue siendo un constructo que a la fecha no les queda claro; se les dificultó identificarlo como una construcción social donde se dicta lo que se espera de la persona dependiendo del sexo, el cómo se debe de actuar está determinado por el contexto sociocultural; al respecto Fainstein (2019) afirma que corresponde al conjunto de referencias construidas socialmente sobre lo que caracteriza respectivamente al hombre y la mujer.

En relación a las actitudes hacia las relaciones de pareja, en particular, las actitudes positivas y valores, como lo señala la denominación, son favorables, destacando la aprobación de las relaciones de noviazgo, las cuales deben privilegiar el amor, la cercanía, el respeto y la confianza. Con respecto a las actitudes sobre las relaciones sexuales y de intimidad no las aprueban a una edad temprana, y más bien se orientan hacia la prevención. Las relaciones sexuales son una serie de elementos importantes en la interacción sexual y el transcurso de la relación sea duradero o temporal (Programa de educación sexual CESOLAA, 2017), lo cual desde la perspectiva de los participantes lo ven como una situación a futuro.

En cuanto a las habilidades para la vida, logran identificar su relación con las diversas dimensiones de la sexualidad, sin embargo existen deficiencias en cuanto a las habilidades en sí mismas. En el caso de la autoestima, los discursos giran en torno a niveles bajos, y la añoranza de que contar con mayor confianza y seguridad en sí mismos/as. La autoestima es el valor o aprecio que tiene cada persona sobre sí mismo, involucrando pensamientos, sentimientos, actitudes y experiencias que reunimos a lo largo de la vida, de modo que puede llegar a ser alta o baja (Mejía et al., 2011). Es esperado que, durante la adolescencia, los niveles de autoestima tiendan a disminuir dados los cambios que se presentan y las exigencias sociales.

En tanto, la empatía también se expresa con deficiencias y al momento de aplicarlo a diversas dimensiones de la sexualidad, se observan dificultades en mostrarse empáticos hacia los demás. La empatía es la capacidad para actuar de manera emocional ante las situaciones de otro, implica ponerse en el lugar del otro sin la necesidad de estar pasando por la misma situación (Potero y Bueno, 2019); dada la inmadurez de los participantes, todavía muestran limitaciones en las conductas empáticas. Al igual que las anteriores, la asertividad es baja,

predominando comportamientos pasivo- agresivo, principalmente agresivos. Desde la postura de Corrales et al. (2017), la comunicación asertiva hace referencia a la habilidad de expresarse verbal y no verbal de manera adecuada en las diferentes situaciones y ámbitos sociales de la vida. Al encontrarse deficiencias en actuar asertivamente, los coloca en condición de riesgo, ya que si no muestran la capacidad de decir no, o de poner un alto a una situación dada, el peligro aumenta. Dicho dato se corrobora con la habilidad de autocontrol, encontrándose dificultades para regularse emocionalmente, respondiendo más bien de manera agresiva. El autocontrol es una serie de procesos que permiten autorregular las emociones fuertes, los impulsos o conductas no deseadas (Hofmann, et al., 2012 como se citó en Del Valle et al., 2019); y si hay limitaciones al respecto puede interferir en la experiencia de la sexualidad. De acuerdo a tales datos, existe una merma en las habilidades para la vida, por lo que urge promoverlas para favorecer conductas sexuales saludables.

Los resultados obtenidos requieren interpretarse tomando en cuenta algunas limitaciones. Una de ellas relativa a las características de las técnicas de recolección de información fue que algunos participantes no se expresaron en las entrevistas grupales, lo cual ocurrió en los cuatro grupos; en la misma línea, no participaron todos los docentes en las entrevistas individuales lo cual hubiese enriquecido la información obtenida. Otra de las limitaciones fue la participación de estudiantes de escuela privada lo cual podría generar cierto sesgo en los resultados, no obstante fue la institución que estuvo interesada en participar ya que el estudio se realizó durante el proceso de regreso de actividades presenciales. Una más fue que no todos los estudiantes contestaron el cuestionario individual, ya que la participación fue voluntaria. Se recomienda que los resultados obtenidos sean corroborados con otro tipo de población adolescente, por ejemplo de escuela públicas, de contextos rurales, entre otros a fin de disminuir los sesgos propios de una investigación.

Los hallazgos obtenidos son apenas una aproximación en el estudio de la sexualidad adolescente que aportan mayor información sobre el constructo en cuestión, resulta necesario establecer líneas de intervención con el propósito de promover las habilidades para la vida, que aunque no es garantía de que se evitan conductas sexuales de riesgo, si aumentan la probabilidad de disminuirlas y desarrollar patrones comportamentales saludables.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Álvarez-Gayou, J. (2003). *Como hacer investigación cualitativa: fundamentos y metodología*. Paidós.
- Barceló, R. y Navarro, E. (2013). Conocimientos, actitudes y habilidades de los adolescentes escolarizados del sector público de Barranquilla (Colombia) relacionados con su sexualidad. *Salud Uninorte*, 29(2), 298-314. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-55522013000200015
- Blanc, A. y Rojas, A. (2017). Instrumentos de Medida de Actitudes hacia la Sexualidad: Una Revisión Bibliográfica Sistemática. *Revista Iberoamericana de Diagnóstico y Evaluación*, 43(1), 17-32. https://doi.org/10.21865/RIDEP43_17
- Calero, E., Rodríguez, S. y Trumbull, A. (2017). Abordaje de la sexualidad en la adolescencia. *Humanidades Médicas*, 17(3), 577-592. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1727-81202017000300010&script=sci_arttext&tlng=pt
- Caricote, E. (2009). La salud sexual en la adolescencia tardía. *Educere*, 13(45), 415-425. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-49102009000200016&lng=es&tlng=es.
- Carranza, E., Zamudio, R., Cahuana, E., Fuentes, W., Matta, H. y Pérez, R. (2015). Nivel de conocimientos sobre sexualidad en los adolescentes de 3° a 5° de secundaria de una institución educativa periurbana en Lima Norte. *Revista de Ciencia y Arte de Enfermería*, 1(1), 18-23.
- CESOLAA. (2017). *Características de la relación sexual humana*. <https://educacionsexual.uchile.cl/index.php/hablando-de-sexo/sexualidad-humana/caracteristicas-de-la-relacion-sexual-humana>

- Corona, F. y Funes, F. (2015). Abordaje de la sexualidad en la adolescencia. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 26(1), 74-80. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rmcl.2014.12.004>
- Cuñat, Y., Cuñat, Y., Gámez, Y., Lara, N. y Loca, E. (2017). Conocimiento en adolescentes de factores que influyen en la expresión de la sexualidad. *Revista Información Científica*, 96(3), 384-394. <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=73339>
- Del Valle, M., Galli, J., Urquijio, S. y Canet, L. (2019). Adaptación al español de la Escala de Autocontrol y de la Escala de Autocontrol-Abreviada y evidencias de validez en población universitaria. *Revista Argentina de Ciencias del Comportamiento*, 1(2), 52-64.
- Díaz-Rodríguez, I., Gil Llarío, M., Morell-Mengual, V., Salmerón-Sánchez, P. y Ruiz-Palomino, E. (2016). Actitudes hacia la sexualidad: ¿difieren las personas con discapacidad intelectual de la población general?. *INFAD. Revista de Psicología*, 1(1), 235-242.
- Fainstein, A. (2019). Construcción de la identidad sexual en la infancia y adolescencia. *X Congreso Argentino Salud Integral del Adolescente*. https://www.sap.org.ar/docs/congresos_2019/Adolescencia/Miércoles/Fainstein_construccion.pdf
- García, C., Remón, L., Miranda, J. y Defaz, S. (2017). Conocimientos sobre sexualidad y su influencia en el embarazo en adolescentes. *Enfermería Investiga. Investigación, Vinculación, Docencia y Gestión*, 2(2), 54-58. <https://revistas.uta.edu.ec/erevista/index.php/enfi/article/view/454>
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill.
- León-Larios, F. y Gómez-Baya, D. (2018). Diseño y validación de un cuestionario sobre conocimientos de sexualidad responsable en jóvenes. *Revista Española de Salud Pública*, 92, 1-15. https://scielo.isciii.es/scielo.php?pid=S1135-57272018000100408&script=sci_arttext&lng=en

- Mangrulkar, L., Whitman, C. y Posner, M. (2001). Enfoque de habilidades para la vida para un desarrollo saludable de niños y adolescentes. *Organización Panamericana de la Salud*.
- Martínez, M. (2000). La investigación-acción en el aula. *Agenda Académica*, 7(1), 27-39.
- Mejía, A., Pastrana, J. y Mejía, J. (2011). XII Congreso Internacional de Teoría de la Educación. *La autoestima, factor fundamental para el desarrollo de la autonomía personal y profesional*. Universidad de Barcelona.
- Moral, J. (2011). Orientación sexual en adolescentes y jóvenes mexicanos de 12 a 29 años de edad. *Psicología desde el Caribe*, 27, 112-135. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=21320708006>
- Naranjo, M. L. (2012). Factores que favorecen el desarrollo de una actitud positiva hacia las actividades académicas. *Educación*, 34(1), 31-53. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=44013961002>
- Organización Mundial de la Salud. (2018). *La salud sexual y su relación con la salud reproductiva: un enfoque operativo*. <https://www.who.int/es/publications/i/item/978924151288>
- Organización Mundial de la Salud. (2020). *El embarazo en la adolescencia*. <https://www.who.int/es/>
- Ordoñez, J., Real, J., Gallardo, J., Alvarado, H. y Roby, A. (2017). Conocimientos sobre salud sexual y su relación con el comportamiento sexual en estudiantes universitarios. *Anales de la Facultad de Medicina*, 78(4), 419-23. <http://dx.doi.org/10.15381/anales.v78i4.14264>
- Portero, M. y Bueno, D. (abril 2019). Cerebro social y competencias comunicativas durante la adolescencia. *Didáctica de la Lengua y de la Literatura*, 84, 40-46. <http://diposit.ub.edu/dspace/handle/2445/150135>
- Portillo-Torres, M. (2017). Educación por habilidades: Perspectivas y retos para el sistema educativo. *Revista Educación*, 41(2). <http://dx.doi.org/10.15517/revedu.v41i2.21719>

- Rodríguez, M., Muñoz, R. y Sánchez, I. (2016). Conocimientos y actitudes sobre sexualidad en adolescentes de primer curso de Grado en Educación Infantil y Primaria de la Universidad de Jaén. *Enfermería Global*, 15(41), 164-173. https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1695-61412016000100009
- Santos, P. y Sierra, J. C. (2010). El papel de la asertividad sexual en la sexualidad humana: una revisión sistemática. *International Journal of Clinical and Health Psychology*, 10(3), 553-577. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33714079010>
- Sociedad mexicana de psicología. (2009). *Código ético del psicólogo*. Trillas.
- Taylor, S. y Bogdan, R. (1987). *Introducción a los métodos cualitativos de investigación*. Paidós.
- Torres, C. (2017). *Habilidades para la vida*. La paz. <https://bolivia.unfpa.org/sites/default/files/pub-pdf/cartilla%204.pdf>

15. TECNOLOGÍA BLOCKCHAIN EN LA INDUSTRIA 4.0 Y SU APLICACIÓN EN EL CUIDADO DE LA SALUD: UN ANÁLISIS DE PATENTES Y ESTÁNDARES

Blockchain Technology in Industry 4.0 and Its Application in Health Care: An Analysis of Patents and Standards

Jordan Piero Borda Colque⁸⁸

Juan Carlos Juarez-Vargas⁸⁹

Bernabé Canqui Flores⁹⁰

Fred Torres-Cruz⁹¹

Hugo Ticona Salluca⁹²

Pares evaluadores: Red de Investigación en Educación, Empresa y Sociedad – REDIEES.⁹³

⁸⁸ Universidad Nacional del Altiplano de Puno, P.O. Box 291, Puno-Peru, <https://orcid.org/0000-0001-8488-1658> , jbordac@est.unap.edu.pe

⁸⁹ Universidad Nacional del Altiplano de Puno, P.O. Box 291, Puno-Peru, <https://orcid.org/0000-0002-2816-8003> , jjuarezv@unap.edu.pe

⁹⁰ Universidad Nacional del Altiplano de Puno, P.O. Box 291, Puno-Peru, <https://orcid.org/0000-0003-2204-0620> , bcanqui@unap.edu.pe

⁹¹ Universidad Nacional del Altiplano de Puno, P.O. Box 291, Puno-Peru, <https://orcid.org/0000-0003-0834-6834> , ftorres@unap.edu.pe

⁹² Universidad Nacional del Altiplano de Puno, P.O. Box 291, Puno-Peru, <https://orcid.org/0000-0002-3800-8433> , hticonas@est.unap.edu.pe

⁹³ Red de Investigación en Educación, Empresa y Sociedad – REDIEES. www.rediees.org

TECNOLOGÍA BLOCKCHAIN EN LA INDUSTRIA 4.0 Y SU APLICACIÓN EN EL CUIDADO DE LA SALUD: UN ANÁLISIS DE PATENTES Y ESTÁNDARES

Jordan Piero Borda Colque, Juan Carlos Juarez-Vargas, Bernabé Canqui Flores, Fred Torres-Cruz, Hugo Ticona Salluca.

RESUMEN

El presente capítulo se adentra en un análisis de la madurez de los documentos académicos presentados en revistas revisadas por pares, patentes, estándares, y plataformas de desarrollo de código abierto en relación con la tecnología blockchain y su papel en la intersección de la Industria 4.0. En este sentido, se establece un contraste entre el enfoque académico y de código abierto relacionado con los cuidados de la salud 4.0 y la cadena de bloques y la Industria 4.0. Asimismo, se explora la comprensión de las innovaciones y desarrollos en la cadena de bloques, la Industria 4.0 y la atención médica, a través del análisis de la base de datos de patentes. En este sentido, se discuten las principales tendencias de desarrollo y direcciones de innovación para estas áreas. Se lleva a cabo una revisión preliminar de los estándares técnicos emergentes de blockchain con el fin de proporcionar una comprensión más completa del nivel de integración alcanzado en el escenario de aplicación actual. Finalmente, se clasifican las soluciones de cadena de bloques en el cuidado de la salud para casos de uso clínico efectivo, basándose en concesiones de patentes. Los resultados obtenidos en este capítulo proporcionan una comprensión más profunda de la evolución y el estado actual de la tecnología blockchain en la intersección de la Industria 4.0, así como su aplicación en el cuidado de la salud. Los hallazgos presentados en este estudio pueden ser de gran utilidad para investigadores, profesionales y empresas que buscan mejorar sus conocimientos y estrategias en torno a la tecnología blockchain.

Palabras Clave: industria 4.0; blockchain, patentes; cuidados de la salud 4.0; estándares emergentes.

ABSTRACT

This chapter delves into an analysis of the maturity of academic papers presented in peer-reviewed journals, patents, standards, and open source development platforms in relation to blockchain technology and its role at the intersection of Industry 4.0. In this sense, a contrast is established between the academic and open source approach related to healthcare 4.0 and the blockchain and Industry 4.0. Likewise, the understanding of innovations and developments in the blockchain, Industry 4.0 and health care is explored, through the analysis of the patent database. In this sense, the main development trends and innovation directions for these areas are discussed. A preliminary review of emerging blockchain technical standards is carried out in order to provide a fuller understanding of the level of integration achieved in the current application scenario. Finally, blockchain solutions in healthcare are ranked for effective clinical use cases, based on patent grants. The results obtained in this chapter provide a deeper understanding of the evolution and current state of blockchain technology at the intersection of Industry 4.0, as well as its application in healthcare. The findings presented in this study can be very useful for researchers, professionals, and companies seeking to improve their knowledge and strategies around blockchain technology.

Keywords: industry 4.0; blockchain patents; healthcare 4.0; emerging standards.

INTRODUCCIÓN

La Industria 4.0 se ha concebido como una hoja de ruta estratégica que tiene como objetivo incrementar la adopción de tecnologías de la información (TI) para impulsar la tasa de producción y reducir los costos. Esta iniciativa ha sido adoptada por las principales economías manufactureras del mundo y ha permitido la fabricación inteligente con inteligencia táctica adicional. La Industria 4.0 se define como la integración de diversas tecnologías y técnicas, tales como el Internet de las cosas (IoT), sistemas ciberfísicos (CPS), computación en la nube, realidad virtual, inteligencia artificial (IA), blockchain y análisis de big data, con el fin de mejorar el objetivo de un estado de defecto cercano a cero. El concepto se esfuerza por establecer vínculos entre las máquinas y los sistemas utilizados en la fabricación, y desarrollar inteligencia a lo largo de la cadena de valor para mejorar la eficiencia e influir en las relaciones entre las partes interesadas clave. Varias iniciativas regionales se han adaptado a la Industria 4.0, como la Asociación de Fabricación Avanzada 2.0 en los EE. UU., Fábricas del Futuro en la Unión Europea, Hecho en China 2025 como el plan estratégico de China, la Sociedad 5.0 de Industrias Conectadas en Japón, Smart Industry en Corea, Make en India y otras iniciativas que han visto inversiones considerables para ampliar la fabricación en los últimos años (Shukla y Shankar, 2022).

Las tecnologías emergentes en el contexto de la Industria 4.0 han ganado popularidad recientemente, aunque aún están en su infancia (Raut et al., 2020). La seguridad y privacidad son preocupaciones genuinas para la implementación basada en aplicaciones de la Industria 4.0 (Fraga-Lamas y Fernández-Caramés, 2019). Las violaciones de datos no autorizadas y la fuga de información pueden provocar graves pérdidas financieras, por lo que es de suma importancia contar con medidas de seguridad sólidas para hacer frente a amenazas como el phishing, la interferencia de ruido, la denegación de servicio distribuida (DDoS), la manipulación, la alteración de la velocidad de datos, los ataques de suplantación del Protocolo de Resolución de Direcciones (ARP), la congestión de la red y las amenazas de configuración, a fin de mantener la integridad y confidencialidad de los datos. Además, con la creciente tendencia de adopción de tecnologías vinculadas a la Industria 4.0, es más probable que se observen brechas de seguridad y nuevos ataques cibernéticos (Bodkhe et al., 2020). Las soluciones criptográficas y descentralizadas, plausiblemente a través de la

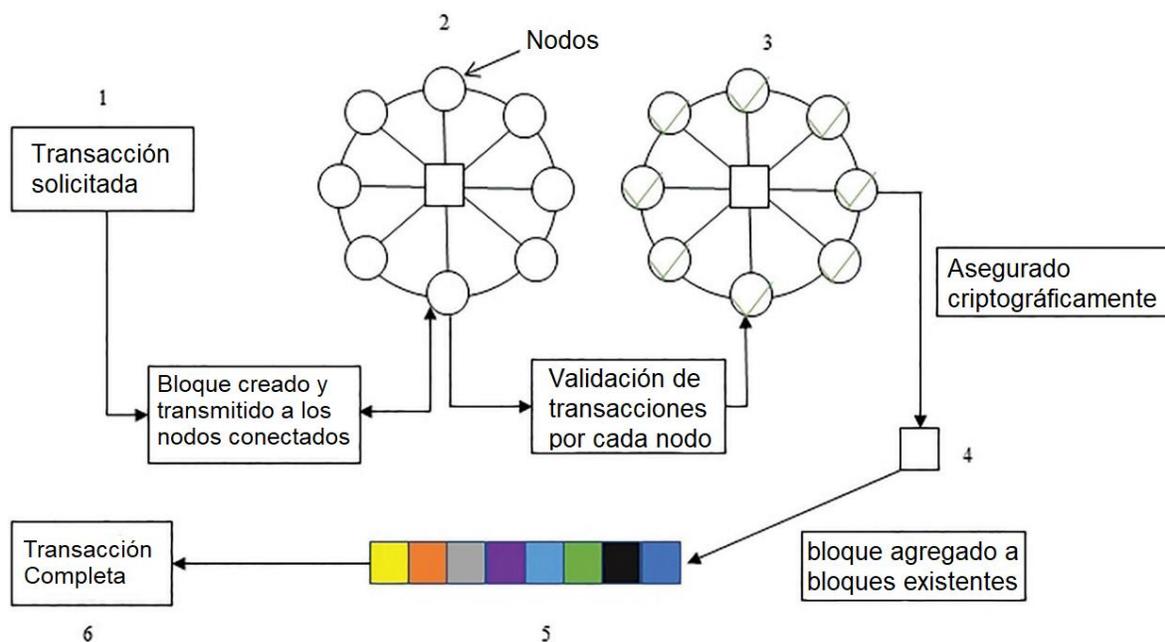
incorporación de tecnologías blockchain, pueden prevenir tales amenazas a las aplicaciones de la Industria 4.0 y evitar la pérdida de datos (Cole et al., 2019; Yadav et al., 2021).

El término blockchain se refiere a una tecnología de registro distribuido que se basa en la creación de bloques de información interconectados, formando cadenas inmutables y seguras. La creación de bloques adicionales permite almacenar nueva información de forma permanente y descentralizada, lo que implica un alto grado de confidencialidad y autenticidad en la información almacenada. La *figura 1* ilustra el funcionamiento básico de la tecnología blockchain. Para obtener más información sobre las aplicaciones y casos de uso habilitados por la tecnología blockchain en el contexto de la Industria 4.0, se recomienda la consulta de las obras de Alladi et al. (2019) y Bodkhe et al. (2021).

La digitalización es un elemento clave en la transformación hacia la Industria 4.0, que busca una cadena de valor interconectada, informada y estable. Por otro lado, la Healthcare 4.0 tiene como objetivo transformar la atención médica a través del almacenamiento, agregación, detección e intercambio de datos de salud, como se indica en el trabajo de Mahajan et al. (2022). Las tecnologías emergentes, como la realidad virtual, están alterando el ecosistema de la atención médica hacia metodologías de tratamiento más tradicionales, como se señala en el trabajo de Trappey et al. (2020). El sector de la salud está experimentando un cambio acelerado gracias a las tecnologías de la información y la comunicación.

Figura 1

Funcionamiento de blockchain relativamente independiente.



Nota: elaboración propia.

La digitalización de la atención médica ha permitido una rápida accesibilidad a los registros de salud de los pacientes, facilitando diagnósticos precisos y tratamientos efectivos. Además, la incorporación de tecnologías avanzadas, como la realidad extendida, ha abierto nuevos campos de aplicación en el ámbito de la atención médica inteligente y el bienestar (Govindarajan et al., 2021). Sin embargo, la seguridad de los datos de salud sigue siendo una preocupación importante, ya que cualquier vulnerabilidad podría ser explotada por partes fraudulentas. Para abordar esta cuestión, la monitorización de las Historias Clínicas Electrónicas (EHRs) a través de sistemas basados en blockchain se presenta como una solución viable. La tecnología blockchain ha demostrado ser un cambio de paradigma para el almacenamiento de datos descentralizado, permitiendo el monitoreo efectivo de EHRs, diagnósticos precisos y asegurando la cadena de suministro médico. La seguridad es un aspecto crítico en los sistemas blockchain, ya que los datos se almacenan en múltiples ubicaciones y dispositivos, y se protegen mediante complejos algoritmos. Esta técnica reduce la posibilidad de pérdida de datos y, en caso de una eventualidad de piratería, los datos originales pueden recuperarse de otros servidores (Chen et al., 2019; Zhao et al., 2018).

La combinación de módulos cibernéticos y físicos ha llevado a un aumento exponencial en las actividades de investigación y desarrollo a nivel mundial, gracias a la fusión tecnológica. Una búsqueda sistemática basada en palabras clave en revistas revisadas por pares, patentes, estándares y plataformas de datos de código abierto reveló un total de 134 728 publicaciones técnicas en el período de búsqueda de los últimos seis años. Este volumen de desarrollo tecnológico indica una madurez relativa y ofrece una oportunidad a las partes interesadas para considerar soluciones de dominio cruzado. Por lo tanto, este capítulo se centra en explorar las publicaciones académicas, las patentes y los estándares disponibles para comprender las tendencias actuales en la Industria 4.0 liderada por blockchain, con un enfoque en las aplicaciones potenciales en la atención médica.

El capítulo hace una contribución en la siguiente dirección:

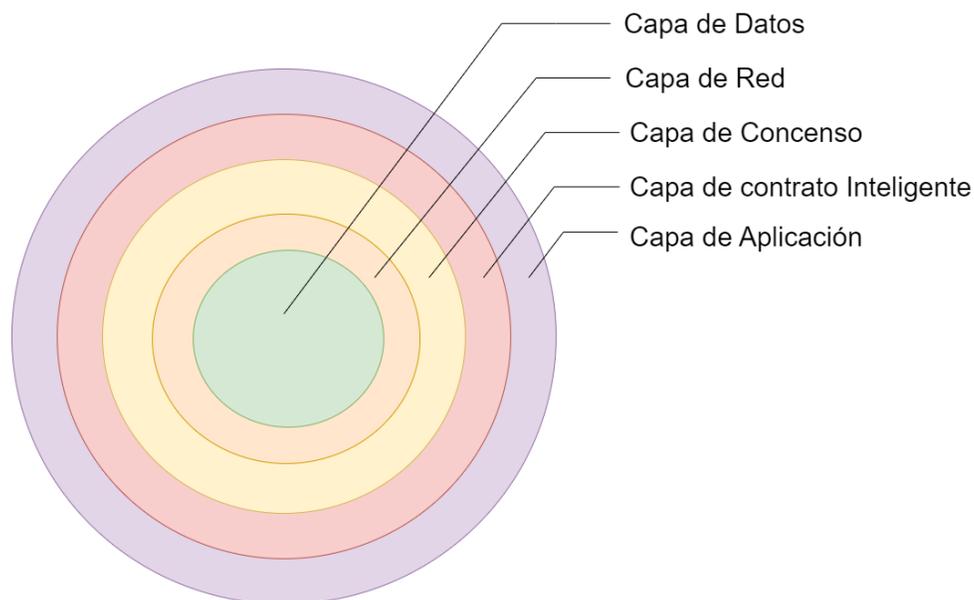
- La madurez de los documentos académicos se observa en revistas revisadas por pares, patentes, estándares, plataformas de desarrollo de código abierto hacia tecnologías de cadena de bloques y fabricación inteligente. El capítulo amplía los antecedentes para comprender el papel de la cadena de bloques en la intersección de la Industria 4.0.
- El capítulo presenta un contraste entre el código abierto y académico relacionado con el cuidado de la salud 4.0 en comparación con la cadena de bloques y la Industria 4.0.
- La comprensión de las innovaciones y desarrollos en la cadena de bloques, la Industria 4.0 y la atención médica se comprende analizando la base de datos de patentes. Se discuten las principales tendencias de desarrollo y direcciones de innovación.
- Una revisión preliminar de los estándares técnicos emergentes de blockchain proporciona el nivel de integración alcanzado en el escenario de aplicación actual.
- Una revisión basada en concesiones de patentes clasifica las soluciones de cadena de bloques entre dominios en el cuidado de la salud para casos de uso clínico efectivo.

DESARROLLO

La tecnología del libro mayor descentralizado (DLT, por sus siglas en inglés) se ha convertido en la base de una amplia gama de adaptaciones tecnológicas, infraestructuras y servicios. Las tecnologías de cadena de bloques se clasifican lógicamente en una arquitectura de cinco capas, como se presenta en la *Figura 2*, basada en una revisión exhaustiva de revistas académicas. Las capas incluyen la de datos, red, consenso, contrato y aplicación. La capa de datos aprovecha la capacidad de registro de blockchain, donde cada nodo en la red conectada almacena información. La presencia de un algoritmo hash garantiza que los cambios se mapeen en todos los bloques conectados y se identifique cualquier modificación. Los bloques en la capa de datos suelen estar descentralizados, lo que destaca la importancia de la capa de red contigua, que encapsula la red y los protocolos relacionados con la comunicación para sistemas distribuidos y conectados. Los sistemas de archivos distribuidos, como el Sistema de Archivos Interplanetarios (IPFS), se utilizan para abordar el contenido e identificar de forma única cada archivo en un espacio de nombres global que conecta todos los nodos conectados, lo que aumenta la eficiencia y seguridad de la red (Zheng et al., 2018).

Figura 2

División lógica de la arquitectura blockchain en capas



Nota: elaboración propia.

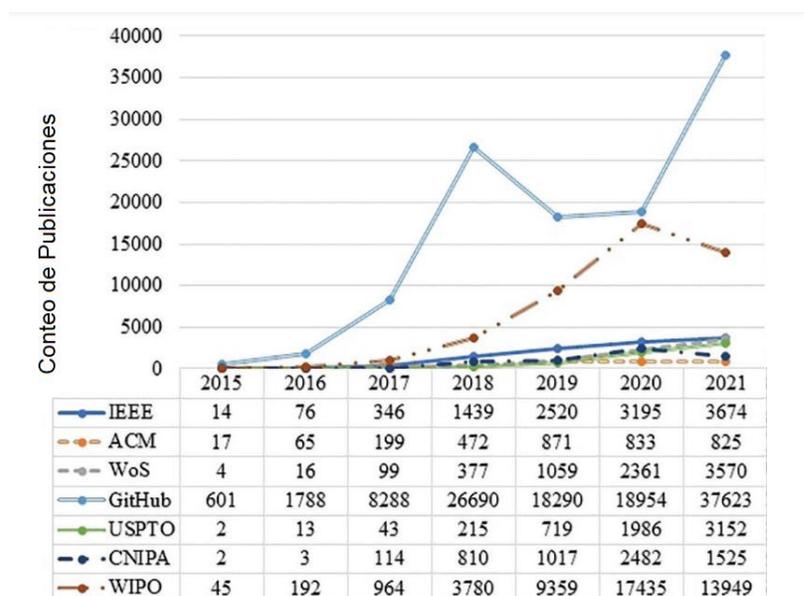
La adición de información a la cadena de bloques de cada nodo se lleva a cabo a través de la infraestructura de la capa de consenso. Esta capa proporciona mecanismos que permiten a los sistemas acordar la precisión de la información entre redes distribuidas. La tecnología resultante de la cadena de bloques tiene numerosas aplicaciones en todos los dominios, ya que utiliza uno u otro aspecto de las capas subyacentes de la clasificación lógica. Varios trabajos académicos de literatura han revisado estas aplicaciones (Kuo et al., 2017; Yuan y Wang, 2018).

El uso de la procedencia de los datos, la transparencia, la validación descentralizada de transacciones, los contratos inteligentes y la inmutabilidad en la infraestructura de la cadena de bloques ha permitido el surgimiento de nuevas direcciones en la tecnología de la cadena de bloques. La investigación se ha llevado a cabo en diferentes organismos globales, incluyendo editoriales académicas como el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) Xplore, la Asociación de Maquinaria de Computación (ACM) y la base de datos de citas global Web of Science (WoS). Además, proyectos de desarrollo de código abierto han surgido a través de plataformas como GitHub, mientras que las oficinas de patentes, como la Administración Nacional de Propiedad Intelectual de China, la Oficina de Patentes y Marcas Registradas de los Estados Unidos (USPTO) y la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI), también han sido importantes en este campo.

Un análisis de los conjuntos de documentos de tecnología en plataformas heterogéneas, durante un período de seis años desde 2015 hasta 2021, muestra un aumento exponencial. A pesar de una caída observable debido a las interrupciones de las actividades durante la pandemia, los documentos académicos han experimentado un aumento desde entonces. La *Figura 3* ilustra este crecimiento.

Figura 3

Tendencia de publicación de Blockchain (2015-2021)



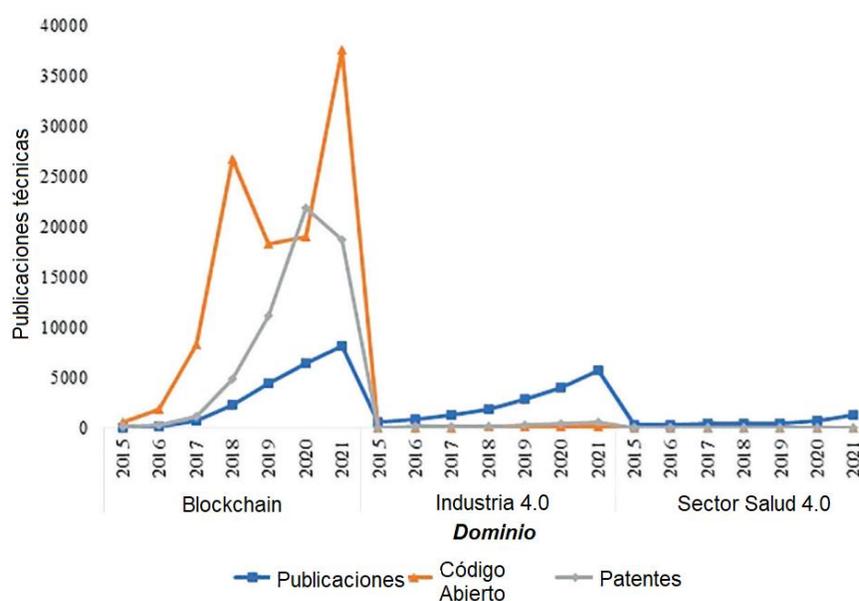
Nota: elaboración propia

El uso exitoso de aplicaciones tecnológicas en el contexto de Industria 4.0 ha sido objeto de gran atención por parte de la academia y la industria en la última década, como lo demuestra el número significativo de publicaciones en este campo. Las tecnologías de cadena de bloques han demostrado ser una solución eficaz en el ámbito de la Industria 4.0, gracias a su amplia gama de aplicaciones y su madurez. La transformación sistemática de los productos y servicios de atención médica mediante la incorporación de dispositivos conectados e inteligentes se conoce como Atención médica 4.0, en analogía con la Fabricación inteligente (Tortorella et al., 2020). La plantilla sistemática utilizada para la extracción de datos de la cadena de bloques se emplea para identificar tendencias similares en la Industria 4.0 y la Atención médica 4.0. En un análisis comparativo presentado en la *Figura 4*, se observa una marcada diferencia en el número de publicaciones técnicas y de código abierto entre la Industria 4.0 y la Atención médica 4.0. Además, mientras que las patentes relacionadas con la Industria 4.0 siguieron creciendo durante la pandemia, las patentes en el ámbito de la Atención médica 4.0 fueron escasas en comparación. Bodkhe et al. (2021) realizaron una

encuesta para mostrar cómo la tecnología blockchain puede proteger los registros médicos. De manera similar, Tadaka y Tawalbeh (2020) exploraron el uso de tecnologías de cadena de bloques en el ámbito de la atención médica, los sistemas ciberfísicos y la Industria 4.0. Jin et al. (2019) revisaron las medidas de seguridad y privacidad de los datos médicos en la atención médica digital, destacando también las ventajas y desventajas de las plataformas de cadena de bloques autorizadas y no autorizadas.

Figura 4

Contraste entre dominios cruzados de tendencias de documentos técnicos publicados.



Nota: elaboración propia.

Las aplicaciones de la tecnología blockchain están estrechamente relacionadas con el mantenimiento y la seguridad de los registros electrónicos de salud (EHR, por sus siglas en inglés). Sin embargo, se ha prestado poca atención a cómo asegurar la cadena de suministro médico crítica utilizando esta tecnología. En este capítulo, nos centraremos únicamente en las soluciones basadas en blockchain para el sector de la salud, las cuales incluyen la mejora de la interoperabilidad entre bases de datos de atención médica, el seguimiento de dispositivos, el mantenimiento de activos hospitalarios y las bases de datos de recetas. El uso de blockchain proporciona un acceso más amplio y seguro a estas bases de datos (Tanwar et al., 2020).

En el trabajo de Cerchione et al. (2022), se resalta la capacidad de la tecnología blockchain para revolucionar el campo médico a través de la digitalización de los servicios de atención médica. Los autores utilizaron la teoría del procesamiento de la información para diseñar y desarrollar registros electrónicos de salud habilitados para blockchain, los cuales permiten el almacenamiento de datos médicos y el intercambio de información entre las partes interesadas de la atención médica con una incertidumbre ambiental reducida. Este enfoque resultó en tres beneficios tangibles en términos de aspectos clínicos, organizacionales y de gestión.

No obstante, para aprovechar al máximo las ventajas que ofrece la tecnología blockchain en el sector de la salud, es necesario abordar varias barreras técnicas, organizacionales, legales y gubernamentales. Govindan et al. (2022) identificaron 19 obstáculos para la adopción de plataformas blockchain en el sector de la salud y modelaron sus interrelaciones mediante una metodología basada en el sistema Weighted Influence Non-Linear Gauge System (WINGS). Los autores destacaron que las restricciones financieras, problemas de seguridad, falta de experiencia y conocimiento, y políticas gubernamentales inciertas son las principales barreras para la adopción de plataformas blockchain en el sector de la salud. Organizaciones de renombre como Deloitte y PwC también han subrayado la importancia de la regulación y las cuestiones legales como obstáculos clave (Deloitte Blockchain Survey, 2018; PwC Blockchain Survey, 2018). Otras investigaciones relacionadas con estos temas incluyen los trabajos de Gökalp et al. (2018) y Sharma y Joshi (2021).

Asimismo, surge la pregunta de si es adecuado mantener los datos médicos dentro o fuera de la cadena de bloques. En el pasado, el diseño de blockchain se limitaba a un almacenamiento pequeño que no era adecuado para grandes datos médicos como registros de rayos X. Además, el Reglamento General de Protección de Datos (GDPR) en Europa permite a los pacientes eliminar permanentemente sus registros, pero los datos en la cadena de bloques no se pueden modificar. Por lo tanto, se requiere una consideración cuidadosa sobre cómo almacenar los datos en la cadena de bloques, ya que muchos datos médicos tienen una vida útil y quedan obsoletos y protegidos por la ley. La aplicación de la tecnología blockchain en la atención médica necesita una evaluación cuidadosa de estos temas.

TENDENCIAS EMERGENTES EN LAS CONCESIONES DE PATENTES GLOBALES

El análisis de los avances actuales en las tecnologías de blockchain, fabricación y atención médica requiere una búsqueda exhaustiva de datos en las bases de datos de patentes y su correspondiente análisis para extraer la dinámica de la industria. Esta sección tiene como objetivo obtener información sobre las innovaciones y desarrollos prácticos que se han llevado a cabo utilizando la base de datos de patentes.

Una patente se define como un documento que protege un descubrimiento novedoso y que proporciona una garantía limitada en el tiempo para el desarrollo comercial del mismo. La evaluación de la industria se lleva a cabo mediante atributos tales como la producción industrial, las redes de cadenas de valor y la cuota de mercado. Además, la novedad relacionada con la publicación de la concesión de la patente, así como el número de solicitudes solicitadas y aprobadas, son atributos importantes que permiten la evaluación de la dinámica industrial (Hu, 2015).

Sin embargo, la evaluación del valor de novedad de la patente se lleva a cabo manualmente por expertos en el campo, lo que es un aspecto crítico para la comprensión de las tendencias tecnológicas emergentes. La rápida evolución tecnológica hace que la identificación manual sea un gran desafío, por lo que existen enfoques alternativos basados en la automatización computacional utilizando la inteligencia artificial.

Los datos de patentes globales utilizados en esta sección se extrajeron utilizando el software de búsqueda y análisis de patentes IncoPat (2022), el cual proporciona una amplia cobertura de más de 120 autoridades de patentes de todo el mundo. La *Tabla 1* presenta las subvenciones más recientes en el período de los últimos 6 años.

Esta sección se extiende al análisis de datos de patentes para extraer conocimiento sobre las tendencias comerciales críticas a nivel global. Las tendencias generales en la presentación de patentes han observado un crecimiento exponencial desde el año 2016. China ha presentado la mayor cantidad de solicitudes de patentes, seguida de los Estados Unidos y Corea del Sur. Las tendencias generales se entienden mediante la revisión de las patentes a

través de las características técnicas de su contenido utilizando sistemas de clasificación estandarizados establecidos por agencias globales.

Tabla 1

Datos de patentes: consultas y concesiones de patentes correspondientes

Fuente	Consulta	Patentes subsidiadas
Incopat	(TIABC=(Blockchain)) AND (PD=[20150101 TO 20211231])	64608
Incopat	(TIABC=(Blockchain) AND TIABC=(manufacturing)) AND (PD=[20150101 TO 20211231])	757
Incopat	(TIABC=(Blockchain) AND TIABC=(healthcare)) AND (PD=[20150101 TO 20211231])	327

Nota: elaboración propia.

El sistema de clasificación utilizado para identificar el tipo de innovación en el ámbito de las patentes, siendo las reglas estandarizadas por el sistema de Clasificación Cooperativa de Patentes (CPC) que es administrado conjuntamente por la Oficina Europea de Patentes (EPO) y la Oficina de Patentes y Marcas de los Estados Unidos (USPTO). El CPC se basa en el sistema de Clasificación Internacional de Patentes (IPC), y cada clasificación se compone de un símbolo que se adjunta a la patente en función de su cobertura tecnológica. Por ejemplo, el símbolo "G16H" indica que la patente se relaciona con tecnologías que manejan datos de atención médica relacionados con el paciente, y el código CPC completo se utiliza específicamente para registros electrónicos de pacientes. El sistema CPC se divide en nueve secciones principales utilizando los alfabetos A-H e Y, y se subdividen en clases, subclases, grupos y subgrupos que permiten aproximadamente 250,000 entradas.

Las reglas de clasificación aseguran que cada patente se asigne al menos a una clase, lo que significa que no hay un mapeo uno a uno entre las concesiones de patentes y los códigos, y no hay un límite superior en el número de clases que puede tener una sola patente. El cesionario es la entidad que posee los derechos de propiedad de una concesión de patente.

Para analizar las subvenciones de patentes relacionadas con la cadena de bloques y el cuidado de la salud, se recuperaron datos de la base de datos IncoPat. Se buscaron patentes

que contuvieran las palabras clave “fabricación” y “cuidado de la salud” en la sección de título, resumen y reivindicaciones, así como la palabra clave “blockchain”. Los datos se analizaron para los años 2015-2021, lo cual es plausible ya que los documentos individuales publicados antes de este período eran insignificantes.

La Tabla 2 presenta las tendencias de concesión de patentes de varios solicitantes útiles para clasificar los líderes tecnológicos del dominio, el panorama de la competencia y los recién llegados. Además, presenta la clasificación de los solicitantes para comprender los tipos de entidades de innovación para la ubicación de tecnología en la cadena industrial y evaluar posibles modelos de operación.

La distribución de patentes según el tipo de solicitante se respalda solo a través de patentes de China, que es el origen de patentes más grande para alrededor de 49,785 patentes en contraste con 20,414 de la USPTO en el caso de blockchain. Los solicitantes de universidades empresariales, personales y de instituciones de investigación lideran en gran medida la fabricación y la atención médica basadas en cadenas de bloques entre dominios.

Tabla 2

Tendencias y tipos de solicitantes de dominios cruzados por principales editores

Dominio	Apoderado	Numero de Patentes	Tipo de Aplicación	Numero de Patentes
Industria 4.0	General Electric Company	28	Empresa	189
	(Siemens Aktiengesellschaft	19	Educación	66
	Eight Plus Ventures LLC	17	Personal	29
	Univ Guangdong Technology	15	Instituto de Investigación	12
	Moog Inc.	13	Gobierno & organización	2
Cuidados de la salud 4.0	International Business Machines Corporation	17	Empresa	23
	Nant Holdings IP LLC	13	Educación	8
	Janssen Pharmaceutica NV	8	Personal	2
	LBXC Co Ltd.	8	Instituto de Investigación	2

Nota: elaboración propia.

El análisis de patentes muestra que el sistema de clasificación utilizado es el Clasificación Cooperativa de Patentes (CPC), una extensión del sistema de Clasificación Internacional de Patentes (IPC), administrado por la Oficina Europea de Patentes (EPO) y la USPTO. Cada clasificación consta de un símbolo alfanumérico que se adjunta a la patente en función de la cobertura tecnológica. Por ejemplo, el símbolo “G16H” indica que la patente está relacionada con tecnologías de manejo de datos de atención médica del paciente, y el código CPC completo se utiliza específicamente para registros electrónicos de pacientes.

Las reglas de clasificación garantizan que cada patente se asigne al menos a una clase, lo que permite una aproximación de 250,000 entradas en el sistema CPC, dividido en nueve secciones principales que se subdividen en clases, subclases, grupos y subgrupos. El análisis de las subvenciones 757 y 327 se observó en intersección con el total de 64,608 documentos publicados bajo la cadena de bloques de consulta.

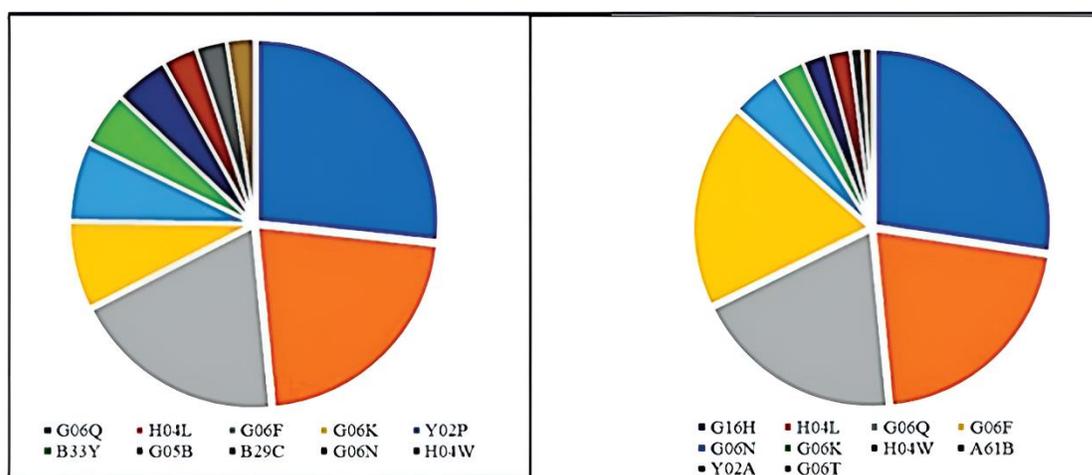
Para identificar las tendencias de concesión de patentes de varios solicitantes en el campo de la fabricación y el cuidado de la salud basados en cadenas de bloques, se realizaron búsquedas en la base de datos IncoPat para patentes tituladas o que contenían palabras clave relevantes. Los datos se analizaron para los años 2015-2021, y se presentan en la *Tabla 2* las tendencias de concesión de patentes de varios solicitantes útiles para clasificar los líderes tecnológicos del dominio, el panorama de la competencia y los recién llegados. La distribución de patentes según el tipo de solicitante se respalda solo a través de patentes de China, que es el origen de patentes más grande para alrededor de 49,785 patentes en contraste con 20,414 de la USPTO en el caso de blockchain.

Entre los líderes del mercado en la industria de blockchain, la compañía General Electric Company, con sede en Nueva York, domina la industria global individual con 28 patentes, seguida de cerca por Siemens Aktiengesellschaft, una corporación alemana que opera a nivel mundial, con 19 patentes hacia la Industria 4.0. La corporación estadounidense Eight Plus Ventures LLC tiene 17 patentes, mientras que la Universidad Tecnológica de Guangdong con sede en Guangzhou, China, posee 15 patentes. Moong Inc., una empresa aeroespacial y de defensa con sede en los EE. UU., tiene 13 patentes relacionadas con productos de control de precisión y automatización a nivel industrial.

En cuanto a las tendencias de aplicación de dominios cruzados de blockchain en el cuidado de la salud, International Business Machines (IBM) Corporation es el líder del mercado con 17 patentes individuales. IBM es una importante organización de investigación y el principal solicitante de patentes de EE. UU. durante casi dos décadas, con un enfoque adicional en el uso de tecnologías inteligentes en todas las áreas de aplicación mediante tecnologías de nube híbrida, computación cuántica y ciberseguridad.

Figura 5

La evolución de los principales códigos CPC (principales) se cruza en blockchain con Industria 4.0 (izquierda) y atención médica (derecha).



Nota: elaboración propia.

A través del análisis de CPC, se pueden obtener nuevas perspectivas sobre las tendencias de innovación en aplicaciones de blockchain de dominio cruzado en la Industria 4.0 y la atención médica. El análisis se inicia mediante el desarrollo jerárquico de patentes, examinando primero el código principal de la CPC para comprender las áreas de desarrollo más amplias. En la *Figura 5* se presenta la distribución a lo largo del código principal de la CPC durante un período de 6 años del conjunto de datos recopilados.

El análisis de las patentes otorgadas durante el período analizado muestra que la mayoría de las patentes se otorgaron al código CPC G06Q en fabricación inteligente y G16H en atención médica. El código G06Q se enfoca en sistemas que procesan datos diseñados para fines administrativos, comerciales, financieros, de gestión, de supervisión o de previsión. Esto concuerda con la necesidad gerencial de investigación en la recolección y

procesamiento de datos para fines administrativos y gerenciales. Por otro lado, el código G16H se centra en la informática sanitaria, que incluye las TIC adoptadas específicamente para el manejo y procesamiento de datos sanitarios.

El código H04L es el segundo más publicado y se comparte en las secciones transversales de fabricación inteligente y atención médica con blockchain, cubriendo los métodos y arreglos para la transmisión digital de señales y la comunicación telegráfica. La subclase G06Q incluye sistemas para procesamiento de datos y G06N incluye arreglos informáticos generales que se basan en modelos computacionales específicos, los detalles del modelo se analizan más en la subclase. Además, otro código común en ambas exploraciones es la subclase G06F que cubre el procesamiento de datos digitales eléctricos y cubre estructuras de datos de elementos informáticos, procesamiento de lenguaje natural y protocolos de seguridad.

El subgrupo G06K cubre la grabación de datos gráficos, centrándose en el reconocimiento de imágenes o videos y la presentación de datos. Los códigos únicos observados en el análisis para la industria y los sistemas de cadena de bloques incluyeron presentaciones hacia el código Y02P que se enfoca en las tecnologías de mitigación del cambio climático y B33Y que se enfocó en la fabricación de objetos tridimensionales por deposición o estratificación.

Los códigos únicos para el cuidado de la salud incluyeron H04W que se enfoca en las redes de comunicación inalámbrica y G06T, que cubre instrumentos o procesos clínicos con fines de diagnóstico. En resumen, el análisis de CPC ofrece una visión profunda de las tendencias de innovación en aplicaciones de blockchain de dominio cruzado en la Industria 4.0 y la atención médica, lo que puede contribuir significativamente a la investigación y desarrollo en estas áreas.

La *tabla 3* expone una serie de códigos CPC principales junto con sus respectivos rangos de patentes y sus grupos correspondientes. Dentro del primer grupo principal de CPC, el grupo G06Q50 destaca con un recuento de patentes de 188, enfocándose en sistemas ajustados para fines comerciales específicos. Estos grupos incluyen subgrupos como G06Q50/04 (fabricación) y G06Q30/018 (tecnologías para comercio electrónico y certificación o verificación de productos). Además, se han identificado características

similares en aplicaciones de atención médica y blockchain, enfocadas en subgrupos como G06Q2220/00 (procesamiento que utiliza criptografía en los negocios). El código principal de CPC H04L2209 presenta la segunda cifra más alta de patentes con 251 y se enfoca en aplicaciones relacionadas con mecanismos criptográficos y comunicaciones seguras. Asimismo, H04L9, que se enfoca en protocolos de comunicación de red para la seguridad de la red, cuenta con 352 patentes. Estos códigos principales también se enfocan en la atención médica, incluyendo subgrupos como H04L2209/88 que se enfoca en mecanismos criptográficos para instrumentos médicos específicos. Los subgrupos con patentes destacadas son G06F21 y G06F16, enfocados en arreglos y mecanismos de seguridad para hardware, software o datos contra actividades no autorizadas, estructuras de bases de datos y estructuras de sistemas de archivos, respectivamente. Además, se han identificado áreas emergentes, como sistemas de la industria 4.0 basados en cadenas de bloques que contribuyen a la mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero, evidenciado a través del subgrupo Y02P90/30 con 78 patentes. Las patentes individuales relacionadas con la salud y blockchain se han enfocado principalmente en la informática de la salud, destacando subgrupos como G16H10 (tecnologías para el manejo de datos de atención médica), G16H40 (tecnologías para la gestión de equipos médicos), G16H15 (generación y gestión de informes médicos) y G16H80 (facilitar la comunicación entre médicos). Asimismo, se han identificado 44 patentes en el subgrupo común de G04Q2220 a G06Q2220/00, enfocadas en el procesamiento comercial de atención médica mediante criptografía. Finalmente, otros subgrupos con invenciones de patentes notables, a través de G06F21/64, se han enfocado en evitar la reproducción o copia no autorizada de medios grabables tipo disco que se utilizan principalmente para la reproducción de registros de salud, como los resultados de imágenes por resonancia magnética (IRM).

Tabla 3*Tendencias y tipos de solicitantes de dominios cruzados por principales editores*

Dominio Cruzado	Ranking	CPC (principal)	CPC (grupo)	Patentes totales (CPC grupo)	Patentes totales (CPC principal)
Industria 4.0	1	G06Q: Sistema de Procesamiento de datos	G06Q50 G06Q30	188 63	251
	2	H04L: Transmisión de información digital	H04L2209 H04L9	251 352	603
	3	G06F: Procesamiento de datos digitales eléctricos	G06F21 G06F16	87 74	161
	4	Y02P: Tecnologías para la mitigación del cambio climático	Y02P90	78	78
Cuidados de la Salud 4.0	1	G16H: Salud informática	G16H10 G16H40 G16H15 G16H80	157 51 44 40	472
	2	H04L: Transmisión de información digital	H04L2209 H04L9	115 134	249
	3	G04Q: Sistema de Procesamiento de datos	G04Q2220	44	44
	4	G06F: Procesamiento de datos digitales eléctricos	G06F21	89	89

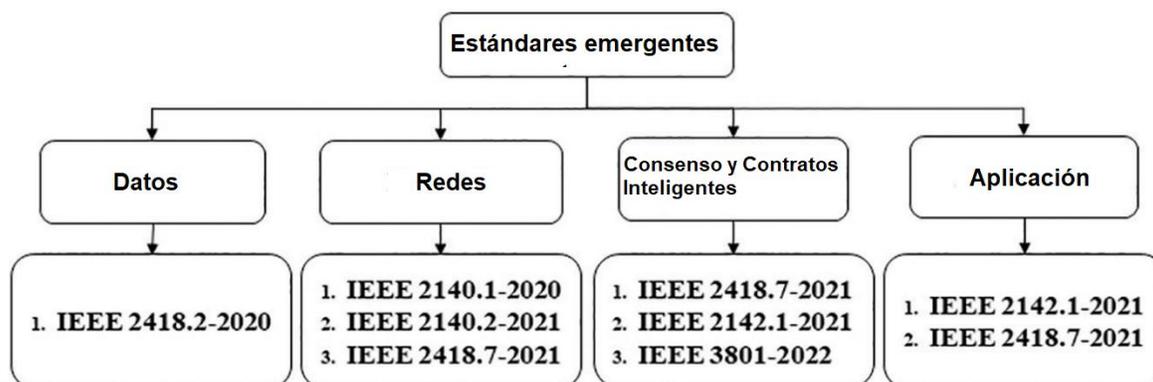
Notas: elaboración propia.

NORMAS TÉCNICAS EMERGENTES

La adopción de las últimas tecnologías en el cuidado de la salud requiere comprender tanto el sector de la salud como el impacto de la tecnología para garantizar el cumplimiento de las necesidades médicas requeridas. El proceso de integración de la tecnología genera preocupaciones e inseguridades, como la privacidad de los datos, la regulación, la implementación adecuada de la tecnología, el control de los efectos negativos de la tecnología, etc. Al abordar tales preocupaciones, la estandarización ayuda a las tecnologías interoperables a nivel mundial, lo que hace que la tecnología subyacente sea más accesible y asequible. Esto, además, establece la confianza en la tecnología en los usuarios y fabricantes a nivel mundial.

Figura 6

Los estándares emergentes (activos) mapeados hacia las capas de blockchain.



Notas: elaboración propia.

La Asociación de Estándares del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE SA) es una organización líder en el desarrollo de estándares globales para diversas industrias, incluyendo el sector de la atención médica (Asociación de Estándares IEEE, 2021). Estos estándares son adoptados por diversas partes interesadas, lo que resulta en un mecanismo de consenso global en cuanto a las tecnologías, productos y servicios ofrecidos.

En la *Figura 6* se presentan los estándares recientes y emergentes seleccionados para la división de capas lógicas. La compilación se realiza mediante una revisión exhaustiva de

la base de datos de IEEE SA. Los estándares están lógicamente divididos en la estructura de capas descrita en la sección anterior. Dado que algunos estándares aún están emergiendo, la capa de consenso y contrato inteligente se fusiona. Esta compilación representa uno de los muchos marcos arquitectónicos que definen los roles funcionales para los sistemas impulsados por blockchain.

Los estándares relacionados con la capa de datos establecen los requisitos de formato de datos para los sistemas de cadena de bloques, incluyendo la definición de estructuras de datos, tipos de datos y sistemas almacenados de elementos de datos. El estándar destacado en esta categoría es el IEEE 2418.2-2020.

En cuanto a la capa de red, los estándares abordan aspectos de establecimiento de conexiones, gestión de seguridad para el intercambio de datos, seguridad, autenticación y protección del usuario contra el acceso no autorizado. Los estándares relevantes en esta categoría son el IEEE 2140.1-2020 y su versión más reciente, IEEE 2140.2-2021, junto con el IEEE 2418.7-2021.

Por otro lado, el consenso y el contrato inteligente establecen las reglas para agregar nueva información al sistema blockchain y la ejecución automatizada de un conjunto de reglas específicas. El estándar IEEE 2418.7-2021 define roles funcionales para las implementaciones de financiamiento de la cadena de suministro (SCF) impulsadas por blockchain, enfocándose en sus aplicaciones en instituciones financieras. Estos roles se utilizan para lograr funcionalidades como la emisión y transferencia de activos, préstamos basados en el activo emitido almacenado en cadena, y la gestión de activos, incluyendo la compensación y liquidación, así como el seguimiento. Además, las características de IEEE 2142.1-2021 estandarizan la facturación electrónica generada en empresas que se basan en el sistema blockchain, incluyendo funcionalidades comerciales típicas a través de plataformas digitales y mecanismos de seguridad relacionados.

Por último, la capa de aplicación incluye la implementación de tecnologías blockchain en sistemas completamente funcionales. Los estándares en esta capa no son exclusivos de ella, y se presentan en otras capas con un enfoque en las técnicas para los requisitos del sistema comercial y las plataformas de cadena de bloques. La lista de estándares agregados a la capa incluye IEEE 2418.7-2021 e IEEE 2418.7-2021.

CLÚSTERS TECNOLÓGICOS Y ASPECTOS CLÍNICOS

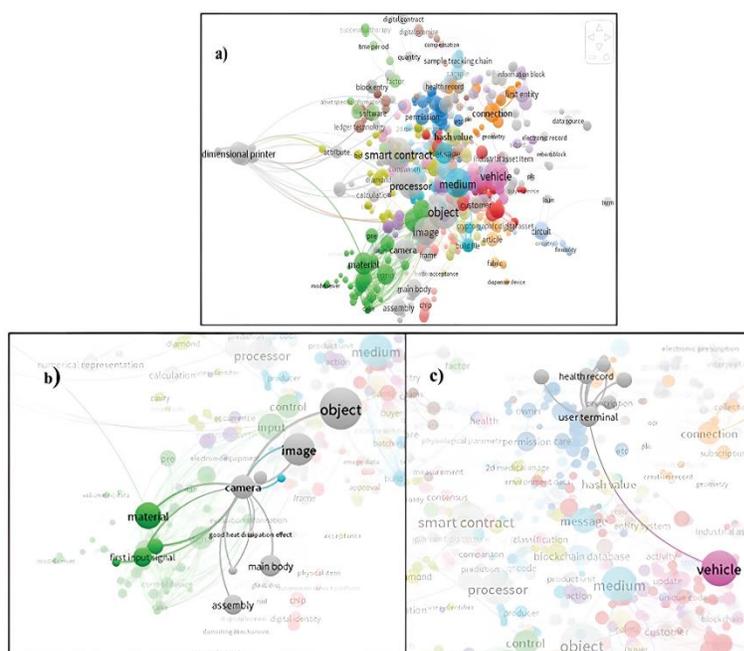
Esta sección presenta una ampliación lógica del análisis sistemático de los datos de concesión de patentes recopilados de la base de datos global IncoPat, enfocándose en la investigación sobre el uso de blockchain y soluciones basadas en la fabricación inteligente en la industria de la salud. Para extraer los términos clave del corpus de documentos académicos, se utiliza la herramienta VOSviewer, la cual es una herramienta de software utilizada para la visualización de concesiones de patentes (Van Eck y Waltman, 2013). La minería de textos se logra a través de la herramienta, la cual crea mapas de co-ocurrencia basados en datos textuales del resumen y títulos del corpus recopilado, con el objetivo de extraer patrones de palabras clave y evaluar las conexiones entre términos mediante la creación de un mapa de visualización de redes. El mapa se crea automáticamente, utilizando una implementación de back-end que implica dos etapas principales: identificación de términos y selección de términos. Para la etapa de identificación de términos, el software utiliza la biblioteca Apache OpenNLP para preprocesar datos de texto, mientras que para la etapa de selección de términos, los usuarios pueden personalizar la lista de palabras.

La investigación incluyó el escaneo de alrededor de 917 términos que ocurren al menos cinco veces, y para cada uno de los 917 términos, se calculó una puntuación de relevancia. Los términos más relevantes para el análisis de las solicitudes de patente fueron seleccionados. La conexión entre los nodos indica una desconexión del sector de fabricación inteligente conectado esporádicamente con términos relacionados con la atención médica. Los cuatro grupos clave observados relacionados con el sector de la atención médica seleccionados en función de las palabras clave incluyen atención médica digital, implantes interfaz hombre-máquina, herramientas quirúrgicas de precisión y atención clínica e informática, que se analizan más a fondo. El clúster de informática y salud digital se identifica como un destino clave donde se presentan la mayoría de las patentes en el momento actual. La digitalización de la atención médica es crítica en los marcos de tiempo actuales y se centra principalmente en comprender los requisitos de los usuarios de atención médica y cumplirlos utilizando la infraestructura digital subyacente. Esto incluye plataformas informáticas para recopilar y compartir datos de salud, uso de aplicaciones móviles y dispositivos portátiles

para la vigilancia de pacientes para la prevención de problemas de salud y el seguimiento de pacientes en el período preoperatorio, brindando educación relacionada con la salud y autoservicio del sistema de evaluación de salud y proceso inteligente de reclamos.

Figura 7

(a) Gráfico de visualización de red de datos de concesión de patentes. (b) Clúster de palabras clave conectado a través de la fabricación inteligente relacionada con la cadena de bloques. (c) Grupo de palabras clave asociado con aplicaciones basadas en el usuario en el cuidado de la salud.



Notas: elaboración propia.

Las siguientes patentes están relacionadas con sistemas basados en blockchain que promueven la digitalización de la infraestructura sanitaria mediante la innovación. Un ejemplo es la patente estadounidense US20190266597A1 otorgada a Panaxea Life Inc. Esta patente describe un método implementado por computadora para realizar transacciones de atención médica. La novedad de este método radica en la ayuda al registro de un usuario y un proveedor de atención médica mediante una aplicación de servicio de atención médica. Los interesados están acoplados comunicativamente a una cadena de bloques, a través de una cuenta de servicio de salud respectiva. Además, la aplicación garantiza la opción de depositar criptomonedas de atención médica en la cuenta del servicio de atención médica del usuario.

La patente US20200402629A1, concedida a Electronic Health Record Data Inc, describe un sistema de cadena de bloques basado en entradas de registros electrónicos de salud (EHR). Este sistema está configurado para almacenar múltiples entidades dentro del ecosistema de proveedores de atención médica (por ejemplo, entidades de la industria farmacéutica, comerciantes, proveedores de servicios y usuarios de atención médica) de manera eficiente. Además, el sistema conecta dichas entidades, lo que permite una solución integral conveniente para la siguiente comunicación, lo que garantiza la uniformidad. La patente también propone la interfaz de programación de aplicaciones (API) de obtención de datos y la API de transacciones financieras entre las entidades de la ecosfera, lo que garantiza la centralización sistemática de los diversos aspectos del proceso de atención médica a través de esquemas de datos unificados y conectados digitalmente.

El grupo de implantes se enfoca en el uso de blockchain y técnicas basadas en la fabricación, como códigos QR o tecnologías visuales emergentes para mejorar la infraestructura de atención médica. La patente US20210225493A1 brinda responsabilidad a la industria por los implantes quirúrgicos, lo que brinda transparencia y seguridad en el manejo de dispositivos quirúrgicos y, en última instancia, reduce los costos para los miembros, cirujanos y aseguradoras. La patente IN202111000130A fue presentada en la Oficina de Patentes de la India por Eswasthalya Healthcare Private Limited, que incluye un sistema de plataforma de hospital virtual personalizable para la prestación virtual de servicios de atención médica y educación similar al hospital físico. Los componentes aprovechan las tecnologías emergentes comunes en las configuraciones de fabricación inteligente para ayudar a la educación quirúrgica continua y efectiva de los médicos.

La atención clínica es un campo importante de innovación tecnológica, particularmente en lo que respecta a sistemas personalizados y patentados para aplicaciones médicas y personales. La utilización de aplicaciones móviles y dispositivos portátiles para la vigilancia de pacientes, seguimiento preoperatorio, educación en salud, y autoevaluación de la salud es una tendencia creciente en la industria.

La oficina de patentes IP Australia ha otorgado la patente AU2020101946A4, que garantiza un acceso flexible a los recursos de información sanitaria (HIR) en la base de datos EHR. Esta invención utiliza análisis EHR para producir informes resumidos que contienen

estrategias de tratamiento y recomendaciones para los médicos y usuarios de atención médica.

La patente AU2020102115A4 mejora los ensayos clínicos, la investigación y el desarrollo sanitario mediante la utilización de tecnología blockchain. Esta tecnología recopila y analiza información de pacientes antiguos y nuevos a través de una base de datos y un servidor local conectados a una red informática desde una dirección IP fija y un número de identificación. Luego, la información del perfil del paciente se compara con los criterios de los ensayos clínicos para obtener información relevante.

La patente IN202021030276A combina blockchain y sistemas de monitoreo habilitados para IoT para almacenar ecografías de embarazos y prevenir el feticidio femenino. La información del paciente se almacena de forma segura en una base de datos electrónica y se cifra y descifra mediante blockchain para su almacenamiento interno o remoto.

La patente US20190358428A1 presenta un robot basado en blockchain e IoT para monitorear el entorno del sueño, la fisiología, la iluminación, el sonido y la electricidad. Este sistema IoT ejecuta las instrucciones del robot que cuida el sueño y atiende las actividades del dormitorio del usuario.

La subvención AU2021100088A4 utiliza un método ordenado caótico (MDDC-BCO) basado en blockchain criptográfico de resumen de datos multimedia para asegurar una comunicación efectiva entre dispositivos de atención médica conectados. La patente IN201742024550A proporciona un ecosistema seguro para los servicios de registro de registros médicos digitales únicos y los servicios de registro de nacimientos.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La pandemia de Covid-19 ha puesto en evidencia la fragilidad y la falta de resiliencia en las cadenas de suministro globales, especialmente en la industria de la salud. Ante esta situación, se hace necesario buscar soluciones innovadoras que permitan optimizar los procesos comerciales y mejorar la competitividad en el sector.

En este contexto, el uso de tecnologías emergentes como la cadena de bloques y la Industria 4.0 se presenta como una oportunidad única para impulsar la transformación digital en la fabricación y la atención médica. De hecho, la combinación de dispositivos de alta precisión y soluciones basadas en la blockchain permite garantizar la calidad y la seguridad de los equipos y registros médicos, así como integrar los datos necesarios para la toma de decisiones informadas en tiempo real.

Además, se ha evidenciado que la adopción de la fabricación inteligente vinculada a la Industria 4.0 tiene el potencial de mejorar significativamente la eficiencia y la eficacia en el campo médico, a través de la implementación de sistemas asistidos por computadora. Asimismo, la aplicación de soluciones de dominio cruzado entre la fabricación y la atención médica puede contribuir a reducir los desechos biológicos y hacer que el ecosistema de atención médica sea más ágil y sostenible.

Es fundamental destacar que, para lograr una implementación efectiva de estas tecnologías, es necesario abordar las barreras de adopción y establecer modelos comerciales que brinden seguridad y rentabilidad en un sector ya de por sí tenso. Por ello, se hace imprescindible que los gerentes de la industria y la atención médica trabajen de manera colaborativa para identificar y desarrollar áreas de aplicación de la blockchain en el flujo de trabajo, y así aprovechar todo su potencial.

La combinación de la cadena de bloques y la Industria 4.0 se presenta como una herramienta clave para enfrentar los desafíos actuales y futuros en la industria de la salud. Su adopción puede mejorar significativamente la calidad y la eficiencia de los procesos, lo que se traduce en beneficios concretos tanto para los pacientes como para los actores involucrados en el sector.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alladi, T., Chamola, V., Parizi, R. M. y Choo, K. K. R. (2019). Blockchain applications for industry 4.0 and industrial IoT: A review. *IEEE Access*, 7, 176935-176951.
- Bajpai, C. P. (2021). *Top Patent Holders of 2020*. National Association of Securities Dealers Automated Quotations. <https://www.nasdaq.com/articles/top-patent-holders-of-2020-2021-01-29>
- Bodkhe, U., Tanwar, S., Bhattacharya, P. y Verma, A. (2021). Blockchain adoption for trusted medical records in healthcare 4.0 applications: A survey. En *Proceedings of Second International Conference on Computing, Communications, and Cyber-Security* (pp. 759-774). Springer.
- Bodkhe, U., Tanwar, S., Parekh, K., Khanpara, P., Tyagi, S., Kumar, N. y Alazab, M. (2020). Blockchain for industry 4.0: A comprehensive review. *IEEE Access*, 8, 79764-79800.
- Cerchione, R., Centobelli, P., Riccio, E., Abbate, S. y Oropallo, E. (2022). Blockchain's coming to hospital to digitalize healthcare services: Designing a distributed electronic health record ecosystem. *Technovation*, 120, 102480. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2022.102480>
- Chen, L., Lee, W. K., Chang, C. C., Choo, K. K. R. y Zhang, N. (2019). Blockchain based searchable encryption for electronic health record sharing. *Future Generation Computer Systems*, 95, 420-429.
- Cole, R., Stevenson, M. y Aitken, J. (2019). Blockchain technology: implications for operations and supply chain management. *Supply Chain Management: An International Journal*, 24(4), 469-483.
- Deloitte (2018). Blockchain Survey. <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/cz/Documents/financial-services/cz-2018-deloitteglobal-blockchain-survey.pdf>.

- European Patent Office. (2017). *EPO – Cooperative Patent Classification (CPC)*. European Patent Office. <https://www.epo.org/searching-for-patents/helpful-resources/first-time-here/classification/cpc.html>
- Fraga-Lamas, P. y Fernández-Caramés, T. M. (2019). A review on blockchain technologies for an advanced and cyber-resilient automotive industry. *IEEE Access*, 7, 17578-17598.
- Gökalp, E., Gökalp, M. O., Çoban, S. y Eren, P. E. (2018). Analysing opportunities and challenges of integrated blockchain technologies in healthcare. En *Eurosymposium on Systems Analysis and Design* (pp. 174–183). Springer.
- Govindan, K., Nasr, A. K., Saeed Heidary, M., Nosrati-Abargooee, S. y Mina, H. (2022). Prioritizing adoption barriers of platforms based on blockchain technology from balanced scorecard perspectives in healthcare industry: A structural approach. *International Journal of Production Research*, 61(11), 3512-3526. <https://doi.org/10.1080/00207543.2021.2013560>
- Govindarajan, U. H., Zhang, D. y Anshita. (2021). *Extended Reality for Patient Recovery and Wellness. Extended Reality for Healthcare Systems: Recent Advances in Contemporary Research*. Elsevier.
- Hu, M. C. (2015). Industrial dynamics: Patenting perspectives. En *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences* (pp. 834-842). <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-097086-8.73095-9>.
- IEEE Standards Association. (s. f). *IEEE SA – What Are Standards?* <https://standards.ieee.org/develop/develop-standards/overview.html>.
- Jin, H., Luo, Y., Li, P. y Mathew, J. (2019). A review of secure and privacy preserving medical data sharing. *IEEE Access*, 7, 61656-61669.
- Kuo, T. T., Kim, H. E. y Ohno-Machado, L. (2017). Blockchain distributed ledger technologies for biomedical and health care applications. *Journal of the American Medical Informatics Association*, 24(6), 1211-1220.

- Mahajan, H. B., Rashid, A. S., Junnarkar, A. A., Uke, N., Deshpande, S. D., Futane, P. R. y Alhayani, B. (2022). Integration of Healthcare 4.0 and blockchain into secure cloud-based electronic health records systems. *Applied Nanoscience*, 1-14. <https://doi.org/10.1007/s13204-021-02164-0>.
- Raut, R. D., Gotmare, A., Narkhede, B. E., Govindarajan, U. H. y Bokade, S. U. (2020). Enabling technologies for Industry 4.0 manufacturing and supply chain: concepts, current status, and adoption challenges. *IEEE Engineering Management Review*, 48(2), 83-102.
- Sharma, M. y Joshi, S. (2021). Barriers to blockchain adoption in health-care industry: An Indian perspective. *Journal of Global Operations and Strategic Sourcing*, 14(1), 134-169.
- Shukla, M. y Shankar, R. (2022). An extended technology-organizationenvironment framework to investigate smart manufacturing system implementation in small and medium enterprises. *Computers & Industrial Engineering*, 163, 107865.
- Tadaka, S. M. y Tawalbeh, L. A. (2020). Applications of blockchain in healthcare, industry 4, and cyber-physical systems. En *7th International Conference on Internet of Things: Systems, Management and Security (IOTSMS)*, 1-8.
- Tanwar, S., Parekh, K. y Evans, R. (2020). Blockchain-based electronic healthcare record system for healthcare 4.0 applications. *Journal of Information Security and Applications*, 50, 102407.
- Tortorella, G. L., Fogliatto, F. S., Mac Cawley Vergara, A., Vassolo, R. y Sawhney, R. (2020). Healthcare 4.0: trends, challenges and research directions. *Production Planning & Control*, 31(15), 1245-1260.
- Trappey, A. J., Trappey, C. V., Chang, C. M., Shih, X. Y., Govindarajan, U. H., Gupta, N. y Su, I. A. (2020). Behavioral therapy for phobias using immersive virtual reality technology. *Journal of the Chinese Society of Mechanical Engineers*, 41(2), 131-140.
- Van Eck, N. J. y Waltman, L. (2013). VOSviewer manual. *Leiden: Univeriteit Leiden*, 1(1), 1-53.

- WIPO Inspire. (n.d.). *IncoPat Global Patent Database*. <https://inspire.wipo.int/incopat-global-patent-database>.
- Yadav, V. S. y Singh, A. R. (2019). A systematic literature review of blockchain technology in agriculture. En *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management* (pp. 973-981).
- Yadav, V. S., Singh, A. R., Raut, R. D. y Cheikhrouhou, N. (2021). Blockchain drivers to achieve sustainable food security in the Indian context. *Annals of Operations Research*, 1-39. <https://doi.org/10.1007/s10479-021-04308-5>.
- Yuan, Y. y Wang, F. Y. (2018). Blockchain and cryptocurrencies: Model, techniques, and applications. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 48(9), 1421-1428.
- Zhao, H., Bai, P., Peng, Y. y Xu, R. (2018). Efficient key management scheme for health blockchain. *CAAI Transactions on Intelligence Technology*, 3(2),114-118.
- Zheng, Q., Li, Y., Chen, P. y Dong, X. (2018). An innovative IPFS-based storage model for blockchain. En *IEEE/WIC/ACM International Conference on Web Intelligence (WI)* (pp. 704–708). IEEE.

16. TECNOLOGÍA EDUCATIVA IMPLEMENTANDO REALIDAD AUMENTADA

EDUCATIONAL TECHNOLOGY IMPLEMENTING AUGMENTED REALITY

Janitzín Cárdenas Castellanos⁹⁴

Nadia Teresa Adaile Benítez⁹⁵

Jazmín Pérez Méndez⁹⁶

Martha Ruth Camacho Vázquez⁹⁷

Pares evaluadores: Red de Investigación en Educación, Empresa y Sociedad – REDIEES.⁹⁸

⁹⁴ Maestría en Formación Didáctica, Colegio de Investigación Educativa, Doctorado en Formación Didáctica, Colegio de Investigación Educativa, Docente de Tiempo Completo, Universidad Tecnológica de Nayarit, janitzin.cardenas@utnay.edu.mx.

⁹⁵ Maestría en Comercio Electrónico, Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, Doctorado en Formación Didáctica, Colegio de Investigación Educativa, Docente de Tiempo Completo, Universidad Tecnológica de Nayarit, nadia.adaile@utnay.edu.mx.

⁹⁶ Maestría en Tecnología Educativa - Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, Doctorado en Educación con Tecnologías del Aprendizaje y el Conocimiento, Universidad Virtual del Estado de Michoacán, Docente de Tiempo Completo, Universidad Tecnológica de Nayarit, jazmin@utnay.edu.mx.

⁹⁷ Maestría en Formación Didáctica, Colegio de Investigación Educativa, Doctorado en Formación Didáctica, Colegio de Investigación Educativa, Docente de Tiempo Parcial, Universidad Tecnológica de Nayarit, martha.camacho@utnay.edu.mx.

⁹⁸ Red de Investigación en Educación, Empresa y Sociedad – REDIEES. www.rediees.org

TECNOLOGÍA EDUCATIVA IMPLEMENTANDO REALIDAD AUMENTADA

*Janitzín Cárdenas Castellanos, Nadia Teresa Adaile Benítez, Jazmín Pérez Méndez,
Martha Ruth Camacho Vázquez*

RESUMEN

A lo largo de las décadas recientes se han desarrollado nuevas tecnologías que facilitan una gran variedad de actividades humanas; ya sea en la educación, el comercio, la salud, la ciencia, entre otros. Es imposible negar la importancia que han adquirido el uso de las tecnologías de información ahora en la formación académica en todos los sentidos, tanto que han contribuido en la calidad de la enseñanza y aprendizaje, de esto parte la presente investigación, el uso de herramientas modernas para facilitar y mejorar los procesos educativos requieren del desarrollo y adecuación de tecnologías.

Debido a ello se implementa una aplicación móvil, capaz de proyectar contenidos tridimensionales animados e interactivos con el uso de códigos QR y realidad aumentada con la finalidad de renovar el material del curso, haciéndolo más atractivo, dinámico y adecuado para convertir los dispositivos móviles en herramientas para el aprendizaje en una asignatura en la carrera de Tecnologías de la Información para posteriormente observar el desempeño del alumnado del cuarto cuatrimestre durante el tiempo que se imparte dicha asignatura, midiendo así el nivel de aceptación de la misma.

Palabras Clave: tecnología educativa; realidad aumentada; códigos QR; tecnología para el aprendizaje.

ABSTRACT

Throughout recent decades, new technologies have been developed to facilitate a lot of human activities, whether in education, commerce, health, science, among others. It is impossible to deny the importance of using information technologies which they have currently purchased in academic training in all topics, as a contribution to the quality of teaching and learning. This is the beginning of the investigation, the use of Modern tools to facilitate and improve educational processes require the development and adaptation of technologies.

Due to this, a mobile application is implemented that is capable of projecting animated and interactive three-dimensional content using QR codes and Augmented Reality technology. With the purpose of renewing the course material, making it more attractive, dynamic and adequate to convert mobile devices into tools for learning in a subject in the Information Technology career. Subsequently, it will be possible to observe the performance of the students of the fourth semester during the time that the subject is taught, and the level of acceptance of it could be measured.

Keywords: educational technology; augmented reality; QR Code; technology for learning.

INTRODUCCIÓN

La enseñanza es la actividad que ha permitido a la humanidad transmitir conocimientos valiosos a través del tiempo. La educación es para Touriñán (2019, p. 95) es un proceso perdurable, que posee propósitos, de ella se espera un resultado; siempre involucra recursos que nutren espiritualmente a la persona, para que ella misma pueda decidirse a realizar sus proyectos. La pedagogía posee un objeto de estudio, leyes, ciencias auxiliares y ordena su conocimiento conforme a teorías. De tal manera es concebida como la ciencia de la educación (De Battisti, 2011).

Como resultado de diversos análisis pedagógicos y de distintas índoles se establecen programas educativos; para cualquier nivel de estudios. Estos conocimientos se presentan en el aula a partir de teorías pedagógicas específicas, como menciona BEN-ARI, (2001) “La teoría dominante de aprendizaje hoy es el constructivismo. Esta declara que el conocimiento es activamente construido por el estudiante, no es absorbido pasivamente de libros de texto” (p. 1).

No obstante, el mundo, las tecnologías, las sociedades y los alumnos han cambiado. García Aretio (2019) se atreve a esbozar ciertas características de los alumnos actuales: dedican su vida en línea consultando varias veces al día sus redes, demandan información ágil e inmediata, aceptan mejor el mensaje gráfico y audiovisual que el textual, no gustan de leer textos ni entender realidades complejas, gustan de aprender jugando entre otras (p. 14). Evidentemente esta conducta genera problemas, menciona Ramírez Culán (2018) que los jóvenes son propensos a distraerse con facilidad, lo que representa un problema que afecta su rendimiento académico. A partir del cambio generacional se requieren nuevas formas de enseñanza, buscando la mejor manera de implementarlas. Lo mismo en el ámbito de nivel básico hasta el universitario.

La enseñanza que antes tenía lugar dentro de los confines del aula se traslada ahora a la red. El nuevo modelo de aula invertida prioriza el tiempo de clase dedicado al debate, a las tareas y al aprendizaje cooperativo, haciendo hincapié en las nuevas tecnologías aplicadas al aprendizaje. Los estudiantes de la actualidad son nativos digitales por lo que es imperativo

que los profesores tengan acceso a los recursos adecuados para seguir el ritmo de la creciente cultura tecnológica (Ramos, 2021).

Según Asín, Peinado, De los Santos y Lopez (2009, p. 189) las TIC deberían incorporar un cambio en la forma de organizar el proceso de enseñanza-aprendizaje, ya que traen consigo múltiples beneficios. Area Moreira (2009) lo presenta como una posibilidad de romper las limitaciones que el espacio y el tiempo educativo implican.

En este documento se plasma la implementación de la Realidad Aumentada como una propuesta tecnológica en educación que trae con ello beneficios a la asignatura “Estructura de Datos Aplicadas” para estudiantes del nivel universitario de la carrera de Tecnologías de la Información que en años anteriores se trabajaba con una aplicación móvil y en esta ocasión se incluye la interactividad. La misma se encuentra disponible en una plataforma de distribución digital de aplicaciones móviles para dispositivos con sistema operativo Android y puede ser descargable por estos y otros alumnos para el aprendizaje de los temas de la asignatura en mención.

MATERIAL Y MÉTODOS

El desarrollo e implementación de la propuesta metodológica de investigación empleada fue de tipo cualitativa, según el tiempo de aplicación de corte transversal con un alcance exploratorio y un diseño no experimental.

El desarrollo de la aplicación por su parte se llevó a cabo bajo la metodología de desarrollo Scrum con apoyo de las herramientas tecnológicas: Unity, Vuforia y Blender. Las metodologías de desarrollo de tipo ágil son, en palabras de Shore y Warden (2008) “Una filosofía y una forma de pensar sobre el desarrollo de software” (p. 9). Por su parte, Rubin (2012) explica que “Scrum es un enfoque ágil para desarrollar productos innovadores y servicios [...] comienza creando una lista de prioridades de las características, y otras capacidades necesarias para desarrollar un producto exitoso” (p. 1). De este modo se procura atender las prioridades de mayor relevancia.

Se definieron los siguientes requerimientos para la aplicación: 1) Una aplicación móvil de realidad aumentada con interfaz de inicio, 2) Utilización de códigos QR, 3) Proyección de modelos 3D animado, 4) Interactuar con los modelos 3D y 5) Emitir audio sobre el tema que se muestra. Los Sprints se muestran en la Figura 1.

Figura 1

Sprints del desarrollo.



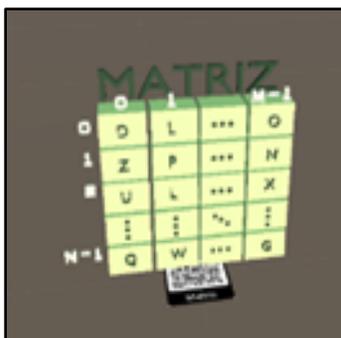
Notas: elaboración propia.

RESULTADOS

A finalizar el proyecto se pudieron genera los códigos QR que serían utilizado en la aplicación, cada código QR (Figura 2) muestra los modelos tridimensionales y emite una explicación con voz acerca del tema que se ha seleccionado de la asignatura Estructura de Datos Aplicada, puesto que es una aplicación interactiva el usuario puede mover los objetos 3D lo que apoya en el refuerzo de la descripción de los temas.

Figura 2

Imagen 3D generada con el escaneo del código QR

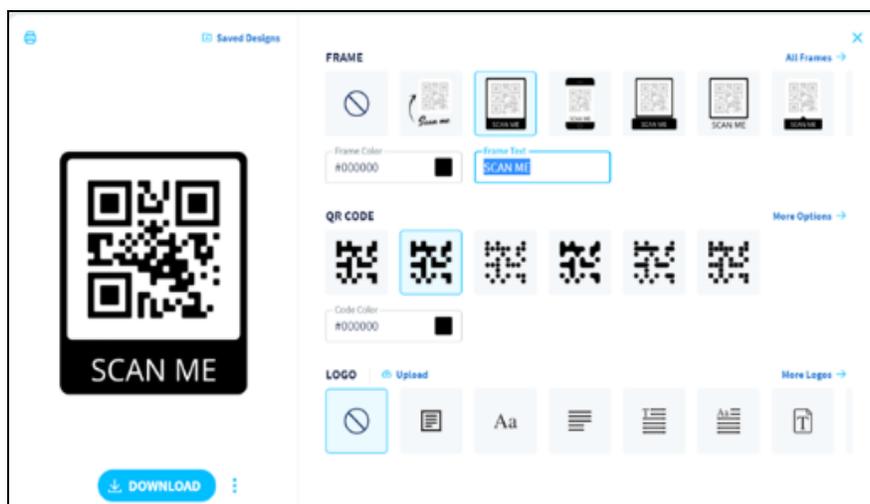


Notas: elaboración propia.

A partir de la última iteración realizada, se obtiene una aplicación para móviles, con una interfaz didáctica, la cual permite escoger la función que el usuario desea realizar: Escanear (los códigos QR), Descargar QR (Figura 3), Salir (de la aplicación).

Figura 3

Descarga de QR en PDF



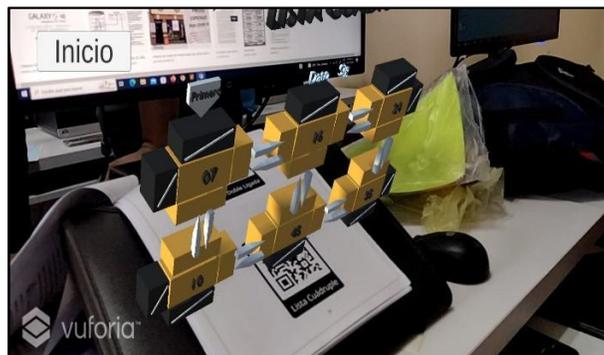
Notas: elaboración propia.

Los resultados obtenidos cumplen con los objetivos establecidos al inicio del desarrollo de la investigación, por una parte, se generó la aplicación móvil deseada con los cambios necesarios para soportar la interactividad y mejorar los procesos de aprendizaje. Por otro lado, permitió observar el comportamiento de los involucrados en el proceso de aprendizaje haciendo uso de tecnología en su vida académica universitaria, integrando un dispositivo móvil de uso social pero ahora como una herramienta para afianzar conocimiento.

La implementación de la app interactiva durante el cuatrimestre que se imparte la asignatura obtuvo una aprobación del 100% por parte de los 75 estudiantes de 3 grupos de la muestra no probabilística, quienes deciden hacer uso de la herramienta como apoyo para la comprensión de los temas, en la Figura 4 se puede apreciar el uso por parte de algunos estudiantes en el aula de clases.

Figura 4

Uso de la aplicación móvil con realidad aumentada.



Notas: elaboración propia.

El 98% de los estudiantes utilizaron la aplicación durante todo el periodo de clases aprovechando las funciones de esta, mientras que solo el 2% lo hizo de manera eventual (al cierre de cada unidad temática). En el sondeo a los estudiantes se les cuestionó si habían repetido algún tema con el fin de comprenderlo mejor, un 74% de ellos dijo que *-Sí repitieron más de una vez un tema-*. Para terminar se les preguntó si el material fue de utilidad y el 100% respondió que *-Sí fue de utilidad-*.

Con relación al docente y su diligencia en la implementación de esta tecnología en el área de estudio, menciona que se convirtió en un factor de motivación y aprovechamiento para la transferencia de los contenidos conceptuales, actitudinales y procedimentales ya que la aplicación cubre los canales de aprendizaje de manera atractiva. Confirmando entonces que el uso de la herramienta tecnológica clarificó dudas en las actividades académicas del estudiante, en consecuencia, fortaleció el proceso de enseñanza.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Se implementó una aplicación móvil como recurso digital orientado a la enseñanza-aprendizaje del tipo interactivo con Realidad Aumentada y codificación QR para la asignatura que es cursada en el cuarto cuatrimestre, de una carrera de nivel Universitario, cumpliendo con los objetivos propuestos al inicio, dicha aplicación y sus recursos puede ser

descargada desde el Play Store de Google en el siguiente enlace:<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.CATID.EstructuraDatosAR>

La aplicación móvil cuenta con el uso de modelos tridimensionales animados con interacción mediante el touch, los cuales generan una estimulación de los distintos canales de aprendizaje resultado del escaneo del QR. Los temas son explicados a detalle y el estudiante tiene la oportunidad de repetir en cualquier momento los audios explicativos, así como mover las figuras.

Finalmente, se obtuvo una total aceptación del uso de la herramienta tecnológica educativa por parte de los estudiantes universitarios contribuyendo a las Tecnologías del Aprendizaje y el Conocimiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ben-Ari, M. (2001). Constructivism in Computer Science Education. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, 20(1). 45-73.
- Area Moreira, M. (2009). *Introducción a la Tecnología Educativa*. Universidad de La Laguna.
- Asín, A. S., Peinado, J. L., de los Santos, P. J. y Lopez, A. (2009). La sociedad del conocimiento y las TICS: una inmejorable oportunidad para el cambio docente. *Pixel-Bit. Revista de Medios y Educación*, (34), 179- 204.
- De Battisti, P. J. (8 de agosto de 2011). Clasificaciones de la pedagogía general y pedagogías específicas: un análisis de las demarcaciones efectuadas por especialistas del campo pedagógico. *VIII encuentro de cátedras de pedagogía de universidades nacionales argentinas*, <https://bit.ly/3JU3ccB>
- García Aretio, L. (2019). Necesidad de una educación digital en un. RIED. *Revista Iberoamericana de Educación a Distancia mundo digital*, 9-19.
- Ramírez Culán, S. E. (2018). *Efectos del uso inadecuado de dispositivos móviles dentro del aula en el rendimiento académico de los estudiantes*. Colegio Científico y Tecnológico Blaise Pascal Mazatenango y en los Institutos por Cooperativa de San Gabriel y San Lorenzo Suchitepéquez.
- Ramos, J. (2021). *Herramientas digitales para la educación*. <http://bit.ly/3TN42w6>
- Rubin, K. (2012). *Essential Scrum: A Practical Guide to the Most Poppular Agile Process*. Pearson Education Inc.
- Shore, J. y Warden, S. (2008). *The Art of Agile Development*. O'Reilly Media, Inc.
- Touriñán, J. M. (2019). Pedagogía, profesión, conocimiento y educación: una aproximación mesoaxiológica a la relación desde la disciplina, la carrera y la función de educar. *Tendencias Pedagógicas*, 93-115.

