

Vol.11 Num,1

RECIBE

Revista electrónica

DE COMPUTACIÓN, INFORMÁTICA, BIOMÉDICA Y ELECTRÓNICA

ISSN 2007-5448



Índice

Computación e Informática

- **Una revisión de procesos de implementación para sistemas de riego automatizado** **C1**
Ebner Smith Medina Carrasco, Marco Antonio Coral Ygnacio
- **Metodologías Centradas en el Usuario para la Ingeniería de Requisitos: un Análisis Comparativo utilizando ISO/IEC/IEEE 29148** **C2**
Alex Llanque, Vaneza Flores, Abraham Dávila Ramón
- **El Implementación de un almacén de datos en el Centro de Enseñanza del Laboratorio Nacional de Informática Avanzada (LANIA) aplicado al estudio de perfiles de deserción.** **C3**
Jesús Alberto Torres Sosa, Juan Manuel, Idali Nieto Jiménez
- **Biomarcadores identificados mediante estudios de EEG para la descripción objetiva del padecimiento de acúfeno, revisión del estado del arte** **B1**
Andrés Álvarez Terríquez, Ricardo Antonio Salido Ruiz, David Isaac Ibarra Zárate

Una revisión de procesos de implementación para sistemas de riego automatizado

A review of implementation processes for automated irrigation systems

Ebner Smith Medina Carrasco

ebnersmith17@gmail.com

Marco Antonio Coral Ygnacio

mcoral@ucss.edu.pe

RESUMEN

La agricultura es un pilar fundamental en la economía de muchos países, para lograrlo se debe tener en cuenta la inversión en tecnología y los factores que hacen posible su desarrollo. Los sistemas de riego automatizado facilitan la labor de los agricultores, mejorando la economía y el estilo de vida de las personas. El objetivo del presente trabajo es determinar las tecnologías y técnicas más importantes a ser utilizados para la construcción de sistemas de riego automatizado, para ello se realiza una revisión sistemática de literatura utilizando el método SALSA que describe el proceso en cinco pasos, se utilizó las bases de datos IEEE Xplore y Science Direct, se hizo el análisis cuantitativo de la muestra seleccionada, identificando las técnicas y tecnologías más utilizadas en estos procesos, además se determinó la problemática existente a partir de un análisis cualitativo, identificándose factores que deben ser tomados en cuenta en estas implementaciones.

Palabras clave: Sistemas de riego automatizado, análisis cuantitativo, análisis cualitativo, tecnologías y técnicas, Salsa, factores.

ABSTRACT

Agriculture is a fundamental pillar in the economy of many countries. To achieve this, investment in technology and the factors that make its development possible must be taken into account. Automated irrigation systems facilitate the work of farmers, improving the economy and lifestyle of people. The objective of this work is to determine the most important technologies and techniques to be used for the construction of automated irrigation systems, for this a systematic literature review is carried out using the SALSA method that describes the process in five steps, the bases were used of IEEE Xplore and Science Direct data, a quantitative analysis of the selected sample was made, identifying the techniques and technologies most used in these processes, in addition, the existing problems were determined from a qualitative analysis, identifying factors that should be taken into account in these implementations.

Keywords: Automated irrigation systems, quantitative analysis, qualitative analysis, technologies and techniques, Salsa, factors.

1. INTRODUCCIÓN

La agricultura es uno de los pilares de la economía en países subdesarrollados, sin embargo, para lograr un manejo óptimo es necesario la utilización de tecnología (Cabarcas et al., 2019). En la actualidad el riego manual no es eficiente, el desperdicio de agua y el exceso de humedad dificultan el crecimiento del cultivo y genera pérdidas en las cosechas (Vijay et al., 2020), una alternativa para mejorar las condiciones de los cultivos es el uso de la tecnología. En este contexto el riego automatizado aparece como la mejor opción (Nageswara Rao & Sridhar, 2018), funciona mediante maquinarias que permiten la automatización del proceso y disminuyen la carga laboral de los agricultores (Rani et al., 2019), es importante debido al impacto generado en el sector (Vijay et al., 2020).

Los sistemas de riego automatizado son necesarios para garantizar una buena productividad y seguridad alimenticia (Abioye et al., 2020), para su realización se utilizan diferentes tecnologías, tales como: sensores (Waleed et al., 2019), IoT (Mulenga et al., 2018; Padalalu et al., 2017), Machine Learning (Singh et al., 2019), LoRa (Mohammed et al., 2019), entre otros, este estudio busca determinar los principales métodos, técnicas y tecnologías que se utilizan en su construcción para ello se realiza una revisión sistemática de literatura utilizando las bases de datos de Science Direct e IEEE Xplore, se obtuvieron 54 artículos referentes al tema, se realiza el análisis correspondiente identificando además problemas y factores a tomar en cuenta para su construcción.

2. Sistema de riego automatizado

Se entiende que un sistema de riego automatizado es la combinación de hardware y software, tiene como objetivo optimizar el proceso de regadío según las condiciones y especificaciones del cultivo, siendo utilizado en lugares en donde la falta de agua perjudica el correcto crecimiento y producción de los cultivos (Singhal et al., 2019). El hardware utilizado en los últimos años se describen como sensores de tipo Arduino de temperatura y humedad (Kodali & Sarjerao, 2017), también se utiliza herramientas con tecnología LoRa (Mohammed et al., 2019), además utilizan bombas de agua, electricidad o paneles solares (Reghukumar & Vijayakumar, 2019; Waleed et al., 2019), que pueden ser implementados mediante IoT (Shrivastava & Rajesh, 2018; Wakhare et al., 2020), Machine Learning (Divya Dhatri et al., 2019; Mekonnen et al., 2019), entre otros. Respecto al tipo de riego automatizado se distinguen dos tipos; Riego por goteo y Riego por aspersión.

2.1. Riego por goteo

El riego por goteo es el más efectivo e implementado alrededor del mundo, permite conducir el agua mediante una red de tuberías, distribuyéndose por toda la parcela en pequeños volúmenes de agua en forma periódica (Chavda et al., 2018; Math et al., 2019).

Este es el sistema de riego en el cual implica unir la extensión de una parcela con líneas de riego que abastecen cada una de las plantas, goteando agua en un bucle constante y lento, es un método eficaz debido a que permite hidratar y nutrir directamente las plantas sin tener que regar de forma manual la superficie de la parcela. Además, distribuye y optimiza de forma eficiente el recurso hídrico (Bhattacharya et al., 2021; Chavda et al., 2018), su funcionamiento se asocia al uso de tuberías con orificios de diámetro fijo de modo que el agua llega a través de los orificios al cultivo, este tipo de sistemas es costoso, pero se compensa con la reducción del desperdicio de agua (Chavda et al., 2018; Patil et al., 2019).

2.1.1. Riego por aspersión

El riego por aspersión tiene un efecto similar al de la lluvia, su rango de riego es más extenso, siendo eficiente para algunos cultivos, por lo general verduras o cultivos de rápido crecimiento (Mohamad Jaafar et al., 2019; Shilpa et al., 2019), en estas soluciones se utilizan una variedad de aspersores que rocían agua de manera pareja y temporizada a lugares específicos de la parcela, cubriendo grandes áreas en poco tiempo (Bhattacharya et al., 2021). Para su funcionamiento, los rociadores se instalan previa evaluación al área de la parcela y se unen a las tuberías, las cuales están distribuidas por todo el campo, el agua se distribuye mediante las tuberías que a su vez se comunican con los aspersores, estos sistemas requieren tuberías adicionales, los cuales involucran costos adicionales (Patil et al., 2019).

2.2. IoT aplicado a riego automatizado

IoT (Internet of Things) puede entenderse como el proceso de interconexión de dispositivos electrónicos (sensores, objetos domésticos, ropa, prendas, artículos personales, etc.) a Internet, mediante diferentes medios, red cableada, vía Wifi, redes de radiofrecuencia u otros (Abioye et al., 2020). El IoT en la agricultura se está expandiendo rápidamente, combinando software y hardware que ofrecen soluciones optimas en el control de riego (Abioye et al., 2020), estos sistemas pueden utilizar una variedad de sensores siendo los más utilizados los de temperatura, humedad del suelo y humedad del ambiente (Cabarcas et al., 2019), debido a que se necesitan los datos recogidos para la construcción de la lógica que hará funcionar al sistema y ayudará a la toma de decisiones del mismo (Math et al., 2019; Rudy Hendrawan et al., 2019; Wakhare et al., 2020). Genera beneficios en el control del proceso, reduce la carga laboral de los agricultores y optimiza el proceso (Cabarcas et al., 2019), también se cuenta entre sus beneficios el monitoreo, debido a que permite que el usuario pueda controlar el sistema desde el lugar donde se encuentre y a cualquier hora (Abioye et al., 2020), se puede conocer la variación de las variables medioambientales tales como la temperatura, la humedad del ambiente y el suelo, para mejorar la toma de decisiones del sistema (Cabarcas et al., 2019), además el uso de IoT ayuda a la reducción del costo de operación y mejora la productividad tanto en la agricultura como en las actividades que realiza el usuario (Math et al., 2019). También, se puede fusionar con las redes neuronales artificiales, estas son utilizadas para el análisis y la generación de resultados con mucha precisión y el poder analizar grandes cantidades de datos de una forma muy rápida, de esta manera el sistema sería totalmente automatizado, sabiendo los sectores que tiene que regar, que dispositivos usará y disminuyendo en su totalidad la actividad humana (Aggarwal & Kumar, 2019).

2.3. Edge Computing aplicado a riego automatizado

El concepto de Edge Computing puede ser utilizado como aquel método que ayuda a prevenir los retrasos de comunicación y desconexión entre los diferentes artefactos electrónicos conectados. Este enfoque de la inteligencia ayuda al procesamiento de datos de los sistemas de riego, entrelazando los datos recogidos y la nube (Gutierrez et al., 2014). Por lo general se apoya en sensores de temperatura y humedad del suelo, todos estos repartidos en el campo de cultivo. De esta manera, al tener una computadora en el campo de cultivo puede prevenir diferentes fallas en el sistema (Shi et al., 2016). Si bien es cierto, es un enfoque muy usado, tiene ciertas desventajas, tales como, la falta de energía en las parcelas puede ser una limitación para la implementación de este sistema, también otro factor que puede afectar al sistema es el poco conocimiento por parte de los agricultores para manejar los artefactos puestos en la parcela (Kawai & Mineno, 2020).

3. MATERIALES Y METODOS

3.1. Diseño de la investigación

Este trabajo de investigación utiliza el framework SALSA (Valoración, Síntesis y Análisis) (Grant & Booth, 2009), buscando garantizar la precisión metodológica, sistematización, y reproducibilidad (Mengist et al., 2020) del tema, diferentes trabajos (De Pace et al., 2020; Díaz De León Guillén et al., 2020; Fernández del Amo et al., 2018) aplican el framework a fin de reducir los riesgos relacionados con la publicación y aumentar la aceptabilidad de la obra. El primer paso es el Protocolo, seguido de la Búsqueda, el tercer paso es la Evaluación, continuando con la Síntesis, y finalmente se realiza el análisis.

3.1.1. Protocolo.

Para determinar los objetivos de la investigación utilizamos el framework PICOC (Población, Intervención, Comparación, Resultados y Contexto) (Grant & Booth, 2009), el cual es una estructura formal para descomponer las preguntas de investigación (Fernández del Amo et al., 2018) . Además, de ayudar a afinar los objetivos de la revisión sistemática de literatura. Las preguntas refinadas se presentan a continuación:

Q1. ¿Qué métodos, técnicas y modelos son los más utilizados en el proceso de riego automatizado?

Q2. ¿Cuáles son los problemas más recurrentes en la implementación de un sistema de riego automatizado?

Q3. ¿Qué maquinaria, dispositivos electrónicos han dado soluciones óptimas en los sistemas de riego automatizado?

CONCEPTO	APLICACIÓN
POBLACION	Técnicas, métodos para los sistemas de riego automatizado.
INTERVENCION	Herramientas y técnicas que se usan en los sistemas de riego automatizado.
COMPARACION	Diferencias entre las distintas técnicas, métodos existentes.
RESULTADOS	Indicadores de desempeño cualitativo y cuantitativo.
CONTEXTO	Técnicas que tienen mayor dominio en la construcción de un sistema de riego automatizado.

Tabla 1. Marco PICOC utilizado para la revisión sistemática de literatura.

3.1.2. Búsqueda

La búsqueda consiste en la identificación de las fuentes de información que se utilizan en la investigación. Para que pueda realizarse, fue necesario identificar primero las bases de datos y luego recuperarlas, esto se dividió en dos pasos: estrategia de búsqueda y entrega. El paso de la estrategia de búsqueda tiene como objetivo principal la identificación de las bases de datos de búsqueda y definición de la cadena de búsqueda, la definición de la cadena de búsqueda se basó en lo identificado para la población en el Marco PICOC. También se realizó una lista de base de datos y cadena de búsqueda siguiendo la recomendación de trabajos similares (Fernández del Amo et al., 2018).

- Base de datos usadas: ScienceDirect y IEEE Xplore.
- Cadena de búsqueda: ("irrigation system") AND ("sensors") AND ("agriculture") AND ("method" OR "technique").

3.1.3. Evaluación

La evaluación es la fase en la que se evalúan los artículos seleccionados para el trabajo de revisión. La selección de estudios implica la identificación de artículos relevantes para el trabajo de revisión, se aplican criterios de inclusión y exclusión, los artículos que cumplan con los criterios de inclusión se seleccionan para una mayor investigación y evaluación de su contenido. Los criterios de inclusión y exclusión se presentan en la Tabla 2.

CRITERIO	DECISION
Las palabras clave predefinidas existen en el título, palabras clave o la sección de resumen del artículo.	Inclusión
El artículo publicado en una revista científica revisada por pares.	Inclusión
El artículo debe estar escrito en inglés.	Inclusión
Los artículos abordan al menos un indicador de un sistema de riego automatizado.	Inclusión
Artículos que están duplicados dentro de los documentos de búsqueda.	Exclusión
Artículos que no son accesibles, artículos de revisión y metadatos	Exclusión
Artículos que no son investigación primaria/original	Exclusión
Artículos que se publicaron antes de 2017	Exclusion

Tabla 2. Criterios de Inclusión y exclusión. Elaboración Propia.

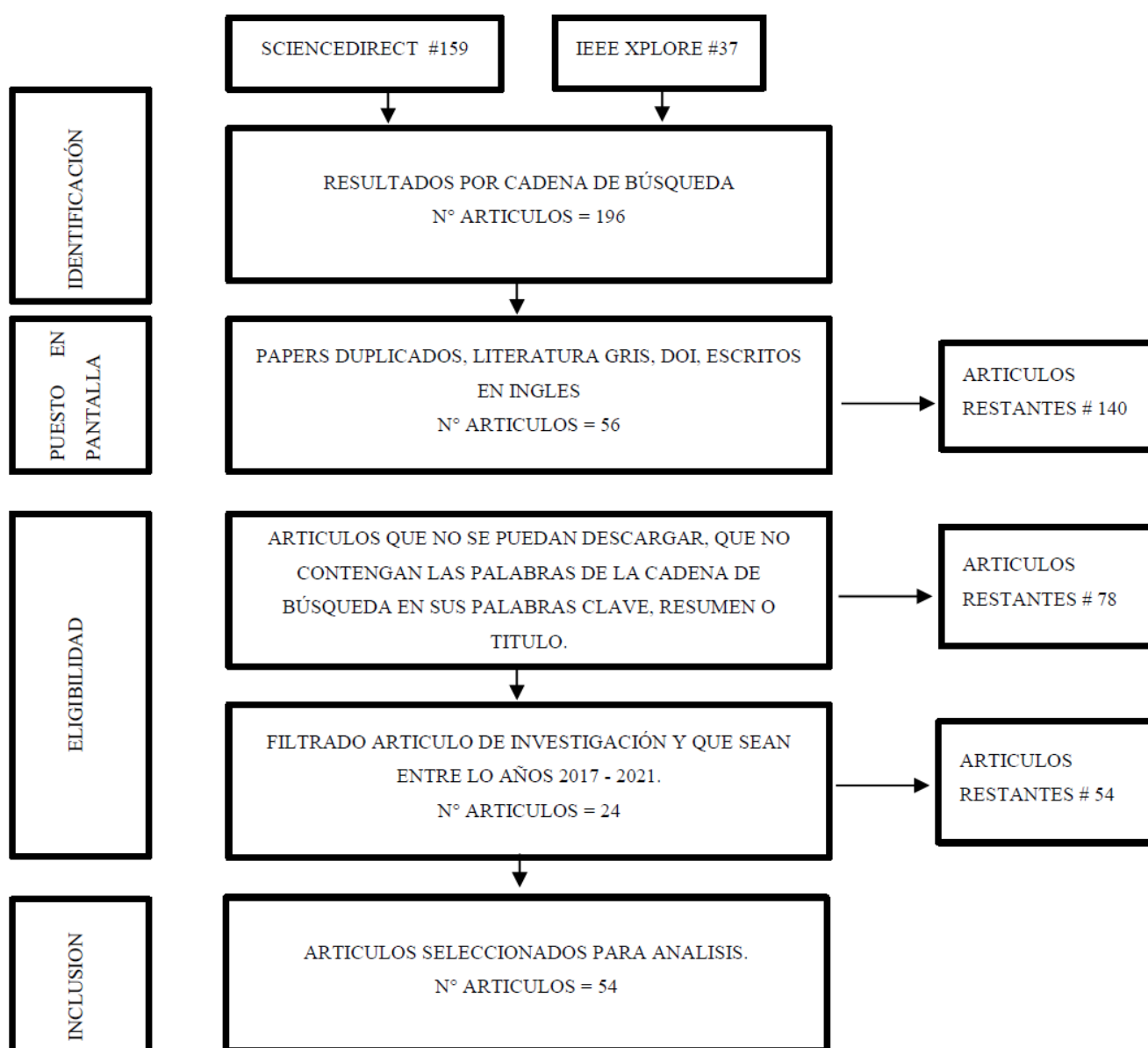


Figura. 1. Proceso general de selección y búsqueda. Adaptado de (Moher et al., 2009)

Los procesos generales de selección y el flujo de selección de la literatura relevante se presentan en la Figura 1. En la etapa inicial, se encontraron 196 registros (159 de ScieceDirect y 37 de IEEE Xplore), se procede a excluir los artículos considerados como literatura gris, artículos sin DOI, artículos duplicados y aquellos que no cumplen la restricción del idioma, quedando 140 artículos para seguir revisando. Se eliminan artículos que no tengan en su contenido, título o palabras clave la cadena de búsqueda definida, quedando solo 78 artículos. Finalmente se filtra por antigüedad, quedando 54 artículos que cumplen con los criterios de inclusión definidos.

3.1.4. Síntesis

La etapa de síntesis muestra los resultados a detalle después del filtrado de artículos del paso anterior, la síntesis se elabora en una hoja de cálculo de Excel a fin de procesar los datos correspondientes (Fernández del Amo et al., 2018). La tabla 3 resume lo realizado.

Artículos seleccionados	
Criterio	Cantidad de artículos
Artículos por cadena de búsqueda	196
Paper duplicados	10
Escritos en español	12
No cuentan con DOI	15
Literatura gris	19
Artículos de pago	42
No contienen palabras claves	20
Artículos que no se encuentran entre los años 2017 - 2021	24
Sub Total	142
Total artículos seleccionados para la investigación	54

Tabla 3. Síntesis de artículos. Elaboración Propia

3.1.5. Análisis

En este paso se realiza el análisis cuantitativo y cualitativo de los artículos seleccionados para la investigación.

3.1.5.1. Análisis Cuantitativo

La tabla siguiente muestra la cantidad de artículos y citas realizadas en los últimos 5 años, se observa que el año 2019 hay una mayor producción de artículos y a la vez son los que tienen mayor cantidad de citas, esto puede indicar una mayor relevancia en dichos trabajos, el año 2020 contiene solo 10 artículos con 56 citas, en el 2021 se encuentra la menor cantidad de artículos y citas.

Cantidad de citas y artículos por año		
Año	Citas	Cantidad de artículos
2017	50	8
2018	74	13
2019	80	22
2020	56	10
2021	1	1
Total	261	54

Tabla 4. Cantidad de citas y artículos por año. Elaboración Propia

La tabla 5 lista los 10 artículos con mayor cantidad de citas, se observa que los trabajos de (Mendes et al., 2019) y (Domínguez-Niño et al., 2020), son los más citados seguido de (Nageswara Rao & Sridhar, 2018).

Artículo	Citas
(Mendes et al., 2019)	28
(Domínguez-Niño et al., 2020)	24
(Nageswara Rao & Sridhar, 2018)	20
(Masseroni et al., 2018)	14
(Kodali & Sarjerao, 2017)	13
(Vij et al., 2020)	12
(Mekonnen et al., 2019)	11
(Vaishali et al., 2018)	10
(Sureephong et al., 2017)	10
(Al-Ali et al., 2020)	9

Tabla 5. Citas por artículo. Elaboración Propia.

La tabla 6 lista las 11 palabras claves que más se utilizan en los artículos seleccionados, se observa que IoT (Internet Of Things), Sensors, Irrigation system y Agriculture son las más recurrentes, esto evidencia la importancia de IoT en el tema de estudio.

Palabra clave	Frecuencia
IoT	25
Sensors	20
Irrigation system	21
Agriculture	16
Smart irrigation	7
arduino	7
Fuzzylogic	6
GSM	5
Machine Learning	4
Drip Irrigation	4
Solar	3

Tabla 6. Frecuencia de Palabras claves. Elaboración Propia.

El país que más ha publicado trabajos en el tema es la India, con 32 artículos, mientras que Italia solo tiene 1, se puede deducir que el tema es de Interés en la India, se observa que dos países latinoamericanos tienen un artículo sobre el tema (Colombia y Brasil), esto supone poco interés en Latinoamérica en el tema estudiado.

Países	Cantidad
India	32
Pakistán, Filipinas, Emiratos Árabes, España, Indonesia	2
Omán, Brasil, Reino Unido, Colombia, Nigeria, Zambia, Estados Unidos, Australia, Tailandia, Malasia, Montenegro, Italia	1

Tabla 7. Publicaciones por país. Elaboración Propia.

La tabla 8 hace un conteo de las tecnologías y técnicas utilizadas en la construcción de sistemas de riego automatizado, se identifica que IoT en combinación con sensores son los más utilizados en implementaciones de este tipo, todos los trabajos describen el uso de sensores en combinación con una técnica o tecnología específica, aunque algunos trabajos utilizan exclusivamente sensores sin ninguna técnica o tecnología como complemento, la tabla siguiente responde la primera pregunta de investigación.

Trabajos	Tecnología				Técnica		Dispositivos
	MQTT	IoT	GSM	Energía solar	Fuzzy logic	Machine learning	Sensores
(Abioye et al., 2020; Bhattacharya et al., 2021; Domínguez-Niño et al., 2020; Karpagam et al., 2020; Math et al., 2019; Meher et al., 2019; Mishra et al., 2018; Mohammed et al., 2019; Nageswara Rao & Sridhar, 2018; Premkumar et al., 2018; Rajendrakumar et al., 2019; Ramachandran et al., 2018; Rani et al., 2019; Ranjith et al., 2017; Rau et al., 2017; Savić & Radonjic, 2018; Singhal et al., 2019; Sureephong et al., 2017; Thakare & Bhagat, 2019; Vaishali et al., 2018; Vijay et al., 2020; Wakhare et al., 2020; Zavala et al., 2020)		X					X
(Shilpa et al., 2019; Singh et al., 2019; Vij et al., 2020)		X				X	X
(Masseroni et al., 2018; Ocampo & Dadios, 2017; Rudy Hendrawan et al., 2019)				X			X
(Mendes et al., 2019)					X		X
(Al-Ali et al., 2020; Cabarcas et al., 2019; Mekonnen et al., 2019)		X		X			X
(Kodali & Sarjerao, 2017)	X						X
(Mulenga et al., 2018; Rehman et al., 2017; Waleed et al., 2019)			X	X			X
(Mohanraj et al., 2018; Patil et al., 2019; Yashaswini et al., 2018; Zavala et al., 2020)			X				X
(Sagar et al., 2017; Srilikhitha et al., 2018)	X			X			X
(Alomar & Alazzam, 2019)		X			X		X
(Sudharshan et al., 2019)				X	X		X
(Al-Naji et al., 2021; Nandanwar et al., 2020; Reghukumar & Vijayakumar, 2019)						X	X
(Yashaswini et al., 2018)			X				X
(Caya et al., 2019; Divya Dhatri et al., 2019; Giri & Pippal, 2018; Komal Kumar et al., 2019; Mohamad Jaafar et al., 2019; Priandana & Wahyu, 2020)							X
(Shrivastava & Rajesh, 2018)			X			X	X

Tabla 8. Tecnologías y técnicas utilizadas. Elaboración Propia

3.1.5.2. Análisis Cualitativo

Este análisis detalla la problemática encontrada en las implementaciones de sistemas de riego automatizado, se toma como base la revisión del contenido de los artículos seleccionados para identificar los problemas recurrentes en las implementaciones.

(Nageswara Rao & Sridhar, 2018)	El Internet de las cosas aborda muchos beneficios y soluciones para las personas. En este estudio se hace hincapié en la dificultad para la conectividad requerida, teniendo que implementar otras herramientas para el correcto funcionamiento del sistema.
(Patil et al., 2019)	El abastecimiento de agua es indispensable para que los sistemas de riego automatizado puedan funcionar, el problema se puede presentar cuando no existe un abastecimiento suficiente para el correcto funcionamiento del mismo.
(Shilpa et al., 2019)	El bloqueo o daño de las boquillas y tuberías del sistema, debido a la diseminación de las sales que se encuentran dentro del agua, implica una revisión periódica de los mismos.
(Rehman et al., 2017)	Para un correcto funcionamiento de toda la maquinaria se necesita de energía eléctrica, la cual no está presente en todas las parcelas, por ello se debe optar a otras soluciones.

Tabla 9. Problemática identificada. Elaboración Propia.

La tabla 9 muestra los problemas desde la perspectiva de los autores, estos pueden ser ocasionados por la geografía de las parcelas, lo cual influye en la cantidad de agua con la que se abastece al sistema, se describe también la falta de energía eléctrica como base del funcionamiento de los dispositivos involucrados, las fallas de dispositivos debido a la solidificación del agua y la conectividad a internet como los más importantes.

Categorías	Factores problemáticos	
Infraestructura Tecnológica	La infraestructura tecnológica dentro de un sistema de riego automatizado es de vital importancia esencialmente para aquellos que utilizan IoT para su construcción, de igual forma para aquellos que utilizan Machine Learning.	1. Acceso a Internet 2. Ancho de banda.
Aspectos Naturales	La naturaleza juega un papel importante en este tipo de sistemas de riego, el agua es el recurso principal para el funcionamiento del sistema, por tanto, se debe identificar las zonas de riesgo en caso de desastres naturales.	3. Sequías 4. Escases de agua 5. Acceso a las parcelas.
Infraestructura física	Muchas veces el agua se solidifica en las tuberías y eso causa la obstrucción de la infraestructura del sistema de riego (Shilpa et al., 2019). Por otro lado, la energía es de vital importancia, pero muchas veces por la distancia las parcelas no cuentan con energía eléctrica.	6. Mala calidad del equipamiento. 7. Cortes de energía eléctrica.

Tabla 10. Categorización y factores problemáticos. Elaboración Propia.

A partir de los problemas identificados, se definen 3 categorías de problemas Infraestructura tecnológica, Aspectos Naturales e Infraestructura física La tabla 10 muestra las categorías en las que se agrupan los problemas encontrados, a partir del mismo se definen factores problemáticos que deben ser tomados en cuenta en estas implementaciones, los factores acceso a Internet y ancho de banda son importantes para el control y monitoreo del sistema, la sequía, escases de agua y acceso a las parcelas influyen en el funcionamiento de los sistemas de riego automatizado, ya que los caudales de agua y la lógica definida se debe ajustar, respecto al acceso se debe considerar que las tareas de mantenimiento físico a los dispositivos podría ser restringida por tanto se debe considerar también, la mala calidad del equipamiento y los cortes de energía influyen en el funcionamiento del sistema ya que la performance de los actuadores y sensores puede estar comprometido, así como su funcionamiento.

4. Análisis de los resultados

Se trabajó una muestra de 54 artículos relacionados al tema de investigación, el año 2019 tiene la mayor cantidad de trabajos y citas sobre el tema, respecto a las palabras claves las más utilizadas son IoT y sensores, indicando su utilización en la mayoría de sistemas de este tipo. Respecto a las tecnologías y técnicas se puede afirmar que el IoT es la más utilizada en combinación con sensores, se destaca el uso de GSM (Arduino Open Source) en construcciones de este tipo. A partir los hallazgos descritos se pueden responder la primera pregunta de investigación.

En el análisis cualitativo, se determinan los problemas en procesos de implementación y los factores a tomar en cuenta antes de iniciar una implementación, con ello se obtienen las respuestas a la segunda pregunta de investigación, desprendiéndose del análisis que los sensores son los dispositivos más utilizados en sistemas de riego automatizado respondiendo con ello la tercera pregunta de investigación. El análisis seguido puede verificarse en el siguiente enlace

https://drive.google.com/file/d/1htx2IIaeWvF3nDY_EjcFvdMB0pZRug3B/view?usp=sharing

5. Conclusiones

Se evidencia que el método SALSA optimiza el proceso de revisión sistemática de literatura, respecto a los hallazgos se concluye que toda implementación utiliza sensores que pueden ser de tipo GSM o seguir estándares de IoT, es vital para toda implementación garantizar el acceso a Internet y mantener un caudal regular a fin de mantener las condiciones mínimas del sistema.

Los sistemas de riego automatizado son alternativas viables de solución que pueden ayudar a mejorar los procesos de cultivos en cualquier zona, reduce la carga laboral del agricultor y favorece a mejorar su estilo de vida.

6. Agradecimiento

Al programa de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Católica Sede Sapientiae por el apoyo brindado en la realización de este trabajo.

7. Referencias

- Abioye, E. A., Abidin, M. S. Z., Mahmud, M. S. A., Buyamin, S., AbdRahman, M. K. I., Otuoze, A. O., Ramli, M. S. A., & Ijike, O. D. (2020). IoT-based monitoring and data-driven modelling of drip irrigation system for mustard leaf cultivation experiment. *Information Processing in Agriculture*, xxxx. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2020.05.004>
- Aggarwal, S., & Kumar, A. (2019). A Smart Irrigation System to Automate Irrigation Process Using IOT and Artificial Neural Network. *2nd International Conference on Signal Processing and Communication, ICSPC 2019 - Proceedings*, 310–314. <https://doi.org/10.1109/ICSPC46172.2019.8976631>
- Al-Ali, A. R., Nabulsi, A. Al, Mukhopadhyay, S., Awal, M. S., Fernandes, S., & Ailabouni, K. (2020). IoT-solar energy powered smart farm irrigation system. *Journal of Electronic Science and Technology*, 30(40), 1–14. <https://doi.org/10.1016/J.JNLEST.2020.100017>
- Al-Naji, A., Fakhri, A. B., Gharghan, S. K., & Chahl, J. (2021). Soil color analysis based on a RGB camera and an artificial neural network towards smart irrigation: A pilot study. *Heliyon*, 7(1), e06078. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06078>
- Alomar, B., & Alazzam, A. (2019). A Smart Irrigation System Using IoT and Fuzzy Logic Controller. *ITT 2018 - Information Technology Trends: Emerging Technologies for Artificial Intelligence*, 175–179. <https://doi.org/10.1109/CTIT.2018.8649531>
- Bhattacharya, M., Roy, A., & Pal, J. (2021). Smart irrigation system using internet of things. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 137, 119–129. https://doi.org/10.1007/978-981-15-6198-6_11
- Cabarcas, A., Arrieta, C., Cermenio, D., Leal, H., Mendoza, R., & Rosales, C. (2019). Irrigation system for precision agriculture supported in the measurement of environmental variables. *Proceedings - 2019 7th International Engineering, Sciences and Technology Conference, IESTEC 2019*, 671–676. <https://doi.org/10.1109/IESTEC46403.2019.00125>
- Caya, M. V., Ballado, A., Rabino, E. M. C., & Anthony Delim, C. (2019). ET-Based Smart Irrigation System with irrigation postponement Algorithm for Lycopersicon Esculentum or Tomato plant. *2019 IEEE 11th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment, and Management, HNICEM 2019*. <https://doi.org/10.1109/HNICEM48295.2019.9073417>
- Chavda, R., Kadam, T., Hattangadi, K., & Vora, D. (2018). Smart Drip Irrigation System using Moisture Sensors. *2018 International Conference on Smart City and Emerging Technology, ICSCET 2018*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/ICSCET.2018.8537377>
- De Pace, F., Manuri, F., Sanna, A., & Fornaro, C. (2020). A systematic review of Augmented Reality interfaces for collaborative industrial robots. *Computers and Industrial Engineering*, 149(September), 106806. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106806>
- Díaz De León Guillén, M. Á., Morales-Rocha, V., & Fernández Martínez, L. F. (2020). A systematic review of security threats and countermeasures in SaaS. *Journal of Computer Security*, 28(6), 635–653. <https://doi.org/10.3233/JCS-200002>

- Divya Dhatri, P. V. S., Pachiyannan, M., Jyothi Swaroopa Rani, K., & Pravallika, G. (2019). A Low-Cost Arduino based Automatic Irrigation System using Soil Moisture Sensor: Design and Analysis. *2nd International Conference on Signal Processing and Communication, ICSPC 2019 - Proceedings*, 104–108. <https://doi.org/10.1109/ICSPC46172.2019.8976483>
- Domínguez-Niño, J. M., Oliver-Manera, J., Girona, J., & Casadesús, J. (2020). Differential irrigation scheduling by an automated algorithm of water balance tuned by capacitance-type soil moisture sensors. *Agricultural Water Management*, 228(October 2019), 105880. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105880>
- Fernández del Amo, I., Erkoyuncu, J. A., Roy, R., Palmarini, R., & Onoufriou, D. (2018). A systematic review of Augmented Reality content-related techniques for knowledge transfer in maintenance applications. *Computers in Industry*, 103, 47–71. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.08.007>
- Giri, M. B., & Pippal, R. S. (2018). Use of linear interpolation for automated drip irrigation system in agriculture using wireless sensor network. *2017 International Conference on Energy, Communication, Data Analytics and Soft Computing, ICECDS 2017, D*, 1599–1603. <https://doi.org/10.1109/ICECDS.2017.8389716>
- Grant, M. J., & Booth, A. (2009). A typology of reviews: An analysis of 14 review types and associated methodologies. *Health Information and Libraries Journal*, 26(2), 91–108. <https://doi.org/10.1111/j.1471-1842.2009.00848.x>
- Gutierrez, J., Villa-Medina, J. F., Nieto-Garibay, A., & Porta-Gandara, M. A. (2014). Automated irrigation system using a wireless sensor network and GPRS module. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 63(1), 166–176. <https://doi.org/10.1109/TIM.2013.2276487>
- Karpagam, J., Merlin, I. I., Bavithra, P., & Kousalya, J. (2020). Smart Irrigation System Using IoT. *2020 6th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems, ICACCS 2020*, 1292–1295. <https://doi.org/10.1109/ICACCS48705.2020.9074201>
- Kawai, T., & Mineno, H. (2020). Evaluation environment using edge computing for artificial intelligence-based irrigation system. *Proceedings - 2020 16th International Conference on Mobility, Sensing and Networking, MSN 2020*, 214–219. <https://doi.org/10.1109/MSN50589.2020.00046>
- Kodali, R. K., & Sarjerao, B. S. (2017). A low cost smart irrigation system using MQTT protocol. *TENSYMP 2017 - IEEE International Symposium on Technologies for Smart Cities*. <https://doi.org/10.1109/TENCONSpring.2017.8070095>
- Komal Kumar, N., Vigneswari, D., & Rogith, C. (2019). An Effective Moisture Control based Modern Irrigation System (MIS) with Arduino Nano. *2019 5th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems, ICACCS 2019*, 70–72. <https://doi.org/10.1109/ICACCS.2019.8728446>
- Masseroni, D., Moller, P., Tyrell, R., Romani, M., Lasagna, A., Sali, G., Facchi, A., & Gandolfi, C. (2018). Evaluating performances of the first automatic system for paddy irrigation in Europe. *Agricultural Water Management*, 201, 58–69. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.12.019>

- Math, A., Ali, L., & Pruthviraj, U. (2019). Development of Smart Drip Irrigation System Using IoT. *2018 IEEE Distributed Computing, VLSI, Electrical Circuits and Robotics, DISCOVER 2018 - Proceedings*, 126–130. <https://doi.org/10.1109/DISCOVER.2018.8674080>
- Meher, C. P., Sahoo, A., & Sharma, S. (2019). IoT based Irrigation and Water Logging monitoring system using Arduino and Cloud Computing. *Proceedings - International Conference on Vision Towards Emerging Trends in Communication and Networking, ViTECoN 2019*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/ViTECoN.2019.8899396>
- Mekonnen, Y., Burton, L., Sarwat, A., & Bhansali, S. (2019). IoT Sensor Network Approach for Smart Farming: An Application in Food, Energy and Water System. *GHTC 2018 - IEEE Global Humanitarian Technology Conference, Proceedings*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/GHTC.2018.8601701>
- Mendes, W. R., Araújo, F. M. U., Dutta, R., & Heeren, D. M. (2019). Fuzzy control system for variable rate irrigation using remote sensing. *Expert Systems with Applications*, 124, 13–24. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.01.043>
- Mengist, W., Soromessa, T., & Legese, G. (2020). Method for conducting systematic literature review and meta-analysis for environmental science research. *MethodsX*, 7, 100777. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2019.100777>
- Mishra, D., Khan, A., Tiwari, R., & Upadhyay, S. (2018). Automated Irrigation System-IoT Based Approach. *Proceedings - 2018 3rd International Conference On Internet of Things: Smart Innovation and Usages, IoT-SIU 2018*, 2018–2021. <https://doi.org/10.1109/IoT-SIU.2018.8519886>
- Mohamad Jaafar, M. F., Hussin, H., Rosman, R., Kheng, T. Y., & Ja'Far Hussin, M. (2019). Smart cocoa nursery monitoring system using irt for automatic drip irrigation. *TSSA 2019 - 13th International Conference on Telecommunication Systems, Services, and Applications, Proceedings*, 108–113. <https://doi.org/10.1109/TSSA48701.2019.8985463>
- Mohammed, T. S., Khan, O. F., & Al-Bazi, A. (2019). A Novel Algorithm Based on LoRa Technology for Open-Field and Protected Agriculture Smart Irrigation System. *2019 2nd IEEE Middle East and North Africa COMMunications Conference, MENACOMM 2019*, 0–5. <https://doi.org/10.1109/MENACOMM46666.2019.8988583>
- Mohanraj, I., Gokul, V., Ezhilarasie, R., & Umamakeswari, A. (2018). Intelligent drip irrigation and fertigation using wireless sensor networks. *Proceedings - 2017 IEEE Technological Innovations in ICT for Agriculture and Rural Development, TIAR 2017*, 2018-Janua, 36–41. <https://doi.org/10.1109/TIAR.2017.8273682>
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., Altman, D., Antes, G., Atkins, D., Barbour, V., Barrowman, N., Berlin, J. A., Clark, J., Clarke, M., Cook, D., D'Amico, R., Deeks, J. J., Devereaux, P. J., Dickersin, K., Egger, M., Ernst, E., ... Tugwell, P. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. *PLoS Medicine*, 6(7). <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>

- Mulenga, R., Kalezhi, J., Musonda, S. K., & Silavwe, S. (2018). Applying Internet of Things in Monitoring and Control of an Irrigation System for Sustainable Agriculture for Small-Scale Farmers in Rural Communities. *2018 IEEE PES/IAS PowerAfrica, PowerAfrica 2018*, 841–845. <https://doi.org/10.1109/PowerAfrica.2018.8521025>
- Nageswara Rao, R., & Sridhar, B. (2018). IoT based smart crop-field monitoring and automation irrigation system. *Proceedings of the 2nd International Conference on Inventive Systems and Control, ICISC 2018, Icisc*, 478–483. <https://doi.org/10.1109/ICISC.2018.8399118>
- Nandanwar, H., Chauhan, A., Pahl, D., & Meena, H. (2020). A Survey of Application of ML and Data Mining Techniques for Smart Irrigation System. *Proceedings of the 2nd International Conference on Inventive Research in Computing Applications, ICIRCA 2020*, 205–212. <https://doi.org/10.1109/ICIRCA48905.2020.9183088>
- Ocampo, A. L. P. De, & Dadios, E. P. (2017). *2017 IEEE National Aerospace and Electronics Conference (NAECON) : 27-30 June 2017*.
- Padalalu, P., Mahajan, S., Dabir, K., Mitkar, S., & Javale, D. (2017). Smart water dripping system for agriculture/farming. *2017 2nd International Conference for Convergence in Technology, I2CT 2017, 2017-Janua*, 659–662. <https://doi.org/10.1109/I2CT.2017.8226212>
- Patil, B., Gabhane, S. K., & Repal, S. S. (2019). Efficient automated irrigation system. *Proceedings of the International Conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud), I-SMAC 2018*, 682–687. <https://doi.org/10.1109/I-SMAC.2018.8653697>
- Premkumar, A., Thenmozhi, K., Praveenkumar, P., Monishaa, P., & Amirtharajan, R. (2018). IoT Assisted Automatic Irrigation System using Wireless Sensor Nodes. *2018 International Conference on Computer Communication and Informatics, ICCCI 2018*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/ICCCI.2018.8441209>
- Priandana, K., & Wahyu, R. A. F. (2020). Development of Automatic Plant Irrigation System using Soil Moisture Sensors for Precision Agriculture of Chili. *Proceeding - ICoSTA 2020: 2020 International Conference on Smart Technology and Applications: Empowering Industrial IoT by Implementing Green Technology for Sustainable Development*. <https://doi.org/10.1109/ICoSTA48221.2020.1570615896>
- Rajendrakumar, S., Parvati, V. K., & Rajashekarappa, R. (2019). An efficient irrigation system for agriculture. *Proceedings of the 2018 International Conference On Communication, Computing and Internet of Things, IC3IoT 2018*, 132–136. <https://doi.org/10.1109/IC3IoT.2018.8668206>
- Ramachandran, V., Ramalakshmi, R., & Srinivasan, S. (2018). An Automated Irrigation System for Smart Agriculture Using the Internet of Things. *2018 15th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision, ICARCV 2018*, 210–215. <https://doi.org/10.1109/ICARCV.2018.8581221>
- Rani, D., Kumar, N., & Bhushan, B. (2019). Implementation of an Automated Irrigation System for Agriculture Monitoring using IoT Communication. *Proceedings of IEEE International Conference on Signal Processing, Computing and Control, 2019-Octob*, 138–143. <https://doi.org/10.1109/ISPCC48220.2019.8988390>

- Ranjith, Anas, S., Badhusha, I., Ot, Z., Faseela, K., & Shelly, M. (2017). Cloud based automated irrigation and plant leaf disease detection system using an android application. *Proceedings of the International Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology, ICECA 2017, 2017-Janua*, 211–214. <https://doi.org/10.1109/ICECA.2017.8212798>
- Rau, A. J., Sankar, J., Mohan, A. R., Das Krishna, D., & Mathew, J. (2017). IoT based smart irrigation system and nutrient detection with disease analysis. *TENSYMP 2017 - IEEE International Symposium on Technologies for Smart Cities*, 3–6. <https://doi.org/10.1109/TENCONSpring.2017.8070100>
- Reghukumar, A., & Vijayakumar, V. (2019). Smart Plant Watering System with Cloud Analysis and Plant Health Prediction. *Procedia Computer Science*, 165(2019), 126–135. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.01.088>
- Rehman, A. U., Asif, R. M., Tariq, R., & Javed, A. (2017). Gsm based solar automatic irrigation system using moisture, temperature and humidity sensors. *2017 International Conference on Engineering Technology and Technopreneurship, ICE2T 2017, 2017-Janua*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/ICE2T.2017.8215945>
- Rudy Hendrawan, I. N., Putu Yulyantari, L., Pradipta, G. A., & Bayu Starriawan, P. (2019). Fuzzy Based Internet of Things Irrigation System. *2019 1st International Conference on Cybernetics and Intelligent System, ICORIS 2019, 1(August)*, 146–150. <https://doi.org/10.1109/ICORIS.2019.8874900>
- Sagar, S. V., Kumar, G. R., Xavier, L. X. T., Sivakumar, S., & Durai, R. B. (2017). SISFAT: Smart irrigation system with flood avoidance technique. *ICONSTEM 2017 - Proceedings: 3rd IEEE International Conference on Science Technology, Engineering and Management, 2018-Janua*, 28–33. <https://doi.org/10.1109/ICONSTEM.2017.8261252>
- Savić, T., & Radonjić, M. (2018). WSN architecture for smart irrigation system. *2018 23rd International Scientific-Professional Conference on Information Technology, IT 2018, 2018-Janua*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/SPIT.2018.8350859>
- Shi, W., Cao, J., Zhang, Q., Li, Y., & Xu, L. (2016). Edge Computing: Vision and Challenges. *IEEE Internet of Things Journal*, 3(5), 637–646. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2016.2579198>
- Shilpa, A., Muneeswaran, V., & Devi Kala Rathinam, D. (2019). A Precise and Autonomous Irrigation System for Agriculture: IoT Based Self Propelled Center Pivot Irrigation System. *2019 5th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems, ICACCS 2019, 533–538*. <https://doi.org/10.1109/ICACCS.2019.8728550>
- Shrivastava, A., & Rajesh, M. (2018). Automatic Irrigation System with Data Log Creation. *Proceedings of the International Conference on Inventive Communication and Computational Technologies, ICICCT 2018, Iccict*, 632–635. <https://doi.org/10.1109/ICICCT.2018.8473250>
- Singh, G., Sharma, D., Goap, A., Sehgal, S., Shukla, A. K., & Kumar, S. (2019). Machine Learning based soil moisture prediction for Internet of Things based Smart Irrigation System. *Proceedings of IEEE*

- International Conference on Signal Processing, Computing and Control, 2019-Octob*, 175–180.
<https://doi.org/10.1109/ISPCC48220.2019.8988313>
- Singhal, A., Kohli, R., Dhamija, C., & Singh, N. (2019). RAIS - Remotely Accessible Irrigation System. *Proceedings of the 2nd International Conference on Intelligent Computing and Control Systems, ICICCS 2018, Iciccs*, 640–644. <https://doi.org/10.1109/ICCONS.2018.8663181>
- Srilikhitha, I., Saikumar, M. M., Rajan, N., Neha, M. L., & Ganesan, M. (2018). Automatic irrigation system using soil moisture sensor and temperature sensor with microcontroller AT89S52. *Proceedings of IEEE International Conference on Signal Processing and Communication, ICSPC 2017, 2018-Janua*(July), 186–190. <https://doi.org/10.1109/CSPC.2017.8305835>
- Sudharshan, N., Karthik, A. V. S. K., Kiran, J. S. S., & Geetha, S. (2019). Renewable Energy Based Smart Irrigation System. *Procedia Computer Science*, 165(2019), 615–623. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.01.055>
- Sureephong, P., Wiangnak, P., & Wicha, S. (2017). The comparison of soil sensors for integrated creation of IOT-based Wetting front detector (WFD) with an efficient irrigation system to support precision farming. *2nd Joint International Conference on Digital Arts, Media and Technology 2017: Digital Economy for Sustainable Growth, ICDAMT 2017*, 132–135. <https://doi.org/10.1109/ICDAMT.2017.7904949>
- Thakare, S., & Bhagat, P. H. (2019). Arduino-Based Smart Irrigation Using Sensors and ESP8266 WiFi Module. *Proceedings of the 2nd International Conference on Intelligent Computing and Control Systems, ICICCS 2018, Iciccs*, 1085–1089. <https://doi.org/10.1109/ICCONS.2018.8663041>
- Vaishali, S., Suraj, S., Vignesh, G., Dhivya, S., & Udhayakumar, S. (2018). Mobile integrated smart irrigation management and monitoring system using IOT. *Proceedings of the 2017 IEEE International Conference on Communication and Signal Processing, ICCSP 2017, 2018-Janua*, 2164–2167. <https://doi.org/10.1109/ICCSP.2017.8286792>
- Vij, A., Vijendra, S., Jain, A., Bajaj, S., Bassi, A., & Sharma, A. (2020). IoT and Machine Learning Approaches for Automation of Farm Irrigation System. *Procedia Computer Science*, 167(2019), 1250–1257. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.03.440>
- Vijay, Saini, A. K., Banerjee, S., & Nigam, H. (2020). An IoT Instrumented Smart Agricultural Monitoring and Irrigation System. *2020 International Conference on Artificial Intelligence and Signal Processing, AISP 2020*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/AISP48273.2020.9073605>
- Wakhare, P. B., Neduncheliyan, S., & Sonawane, G. S. (2020). Automatic Irrigation System Based on Internet of Things for Crop Yield Prediction. *2020 International Conference on Emerging Smart Computing and Informatics, ESCI 2020*, 129–132. <https://doi.org/10.1109/ESCI48226.2020.9167626>
- Waleed, A., Riaz, M. T., Muneer, M. F., Ahmad, M. A., Mughal, A., Zafar, M. A., & Shakoar, M. M. (2019). Solar (PV) Water Irrigation System with Wireless Control. *RAEE 2019 - International Symposium on Recent Advances in Electrical Engineering*, 4, 1–4. <https://doi.org/10.1109/RAEE.2019.8886970>

- Yashaswini, L. S., Vani, H. U., Sinchana, H. N., & Kumar, N. (2018). Smart automated irrigation system with disease prediction. *IEEE International Conference on Power, Control, Signals and Instrumentation Engineering, ICPSI 2017*, 422–427. <https://doi.org/10.1109/ICPSI.2017.8392329>
- Zavala, V., López-Luque, R., Reca, J., Martínez, J., & Lao, M. T. (2020). Optimal management of a multisector standalone direct pumping photovoltaic irrigation system. *Applied Energy*, 260(December 2019), 114261. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114261>



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons
Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 2.5 México.

Recibido 15 abr. 2022

ReCIBE, Año 11 No. 1, may. 2022

Aceptado 09 jun. 2022

**User- Centered Methodologies for Requirements Engineering: A
Comparative Analysis using ISO/IEC/IEEE 29148**

Metodologías Centradas en el Usuario para la Ingeniería de Requisitos: un Análisis
Comparativo utilizando ISO/IEC/IEEE 29148

Alex Llanque¹

allanquef@unam.edu.pe

Vaneza Flores¹

vfloresg@unam.edu.pe

Abraham Dávila²

abraham.davila@pucp.edu.pe

¹Escuela de Ingeniería de Sistemas e Informática Universidad Nacional de Moquegua, UNAM, Moquegua, Perú

²Departamento de Ingeniería Pontificia Universidad Católica del Perú, PUCP Lima, Perú

ABSTRACT

Requirement engineering is a fundamental process of the software development life cycle processes that allows defining the functionalities, quality and scope of a software. Requirement engineering is a human-intensive participation process and that have in ISO/IEC/IEEE 29148 a standard that defines a set of process (activities, tasks, information items, etc.) that provide support for its formalization. However, in the software industry there are many types of deficiencies have been reported. In this context, proposals for User-Centered Methodologies for Requirement Engineering (UCMRE) have emerged and need to be studied to determine their alignment to the ISO 29148. The objective of this study is to compare User-Centered Methodologies for Requirement Engineering taking process elements from ISO 29148 as criteria. For this research, a systematic mapping study and a comparative analysis of the UCMREs obtained were performed. In the systematic mapping study, 4,463 studies were obtained from three relevant digital databases in the first stage, and after the selection process, five User-Centered Methodologies for Requirement Engineering were identified. These methodologies were characterized and analyzed from process elements perspective for comparison to ISO 29148. The DoRCU methodology is the closest to ISO 29148, followed by Ammeth and Borja methodologies; and the XRE methodology is the most away to ISO 29148.

Keywords: Software requirements, Requirement engineering, User centered, Software methodology, ISO/IEC 29148.

RESUMEN

La ingeniería de requisitos es un proceso fundamental de los procesos del ciclo de vida del desarrollo de software que permite definir las funcionalidades, la calidad y el alcance de un software. La ingeniería de requisitos es un proceso de participación humana intensiva y que tiene en ISO/IEC/IEEE 29148 un estándar que define un conjunto de procesos (actividades, tareas, elementos de información, etc.) que brindan soporte para su formalización. Sin embargo, en la industria del software se han reportado muchos tipos de deficiencias. En este contexto, han surgido propuestas de Metodologías Centradas en el Usuario para Ingeniería de Requisitos (MCUIR) y necesitan ser estudiadas para determinar su alineación con la ISO 29148. El objetivo de este estudio es comparar Metodologías Centradas en el Usuario para Ingeniería de Requisitos tomando elementos de proceso de ISO 29148 como criterio. Para esta investigación se realizó un mapeo sistemático de la literatura y un análisis comparativo de las UCMRE obtenidas. En el mapeo sistemático de la literatura, se obtuvieron 4.463 estudios de tres bases de datos digitales relevantes en la primera etapa, y luego del proceso de selección, se identificaron cinco Metodologías Centradas en el Usuario para Ingeniería de Requisitos. Estas metodologías se caracterizaron y analizaron desde la perspectiva de los elementos del proceso para compararlas con la norma ISO 29148. La metodología DoRCU es la más cercana a la norma ISO 29148, seguida de las metodologías Ammeth y Borja; y la metodología XRE es la que más se aleja de la ISO 29148.

Palabras clave: Requisitos de software, Ingeniería de requisitos, Centrado en el usuario, Metodología de Software, ISO/IEC 29148.

1 INTRODUCTION

Requirement engineering (RE) is the initial phase of the software life cycle (Nuseibeh & Easterbrook, 2000) and represents, in the software industry, a process where many defects are introduced (Kelly et al., 1992), (Westfall, 2011). These defects affect the scope and performance of the project, the work teams and the quality of the product (Hu et al., 2017). By the nature of software development, defects introduced in the requirement phase are related to people (users, customers, developers and other stakeholders) (Westfall, 2011) and have been classified in different ways (Anu et al., 2018).

For several decades, some proposals and researches have been performed in the RE domain. In Nuseibeh & Easterbrook (2000) the roadmap of RE is identified, in Nazir et al. (2017) RE is presented related to natural language processing, and in Ambreen et al. (2018) with formal methods, among others related to techniques. There has also been research on RE practices, methodologies and process (Niazi, 2005), (Beecham et al., 2005), (Niazi & Shastry, 2003) and RE maturity model (Shafiq et al., 2019). Finally, the international standard ISO/IEC/IEEE 29148 (or simply ISO 29148) on RE in systems and software has become an important reference for the industry (ISO/IEC/IEEE, 2018).

In the current context, ISO standards represent an accepted reference in different industries and have allowed various companies to increase their competitiveness (Mioti, 2009). This benefit has also been noted in the software industry, where process models have contributed to increase the competitiveness of companies (UNCTAD, 2012), as the case with CMMI and ISO/IEC 12207. In this sense, the software industry, have in ISO 29148, a highly specialized reference for requirements engineering processes, so it is convenient to consider it as a reference to evaluate existing methodologies.

On the other hand, recognizing that RE is a human insensitive activity, and that the concept of "user-centered (UC) design" has already been consolidated as a new paradigm in software engineering (Chang, 2018), (De Bellis & Haapala, 1995), it is necessary to identify the proposals of UCMRE (User-Centered Methodology of Requirement Engineering) and contrast them with respect to the ISO/IEC/IEEE 29148 international standard (ISO/IEC/IEEE, 2018). In this contrast, it is possible to evaluate the alignment that a UCMRE has with respect to the standard; and that information is one more element of judgment to make future decisions about which UCMRE to adopt.

This article presents a comparison of a set of UCMRE, taking the RE standard processes and activities as the criteria for comparison. The article is organized as follows: in Section 2, fundamental concepts and related works are reviewed; in Section 3, the research model followed is presented; in Section 4, the selected methodologies are described and their comparison is presented; in Section 5, conclusions are presented.

2 BACKGROUND

This section briefly describes ISO 29148 emphasizing the suggested process items with which the axes of analysis are established and presents the relevant aspects of RE and the UC paradigm.

2.1 ISO/IEC/IEEE 29148

ISO 29148 is a systems and software engineering standard that specifies the required processes to determine the product requirements (including services) of systems and software throughout the life cycle (ISO/IEC/IEEE, 2018), (IEEE-CS, 2014). ISO 29148 is aligned with ISO/IEC/IEEE 12207 standard for software life cycle processes and ISO/IEC/IEEE 15288 standard for system life cycle processes (IEEE-CS, 2014). ISO 29148, in its first edition (2011), replaced the IEEE 830-1998, IEEE 1233-1998 and IEEE 1362-1998 standards, also related to requirements engineering (IEEE SA, 2011), becoming the main standard in RE by providing a model adaptable to different organizations (Selvyanti & Bandung, 2017). In 2018, the second edition was published, due to the need to adopt a framework oriented towards a more detailed

technical approach (Ward et al., 2018), and in Boyarchuk et al. (2020) the importance of having a structured process in RE to build a good software product is highlighted.

ISO 29148 establishes (ISO/IEC/IEEE, 2018): (i) a set of 3 main processes that are iteratively and recursively applied in the system and software life cycle (see Fig. 1); (ii) a set of 2 related technical processes; (iii) each main process is composed of activities with established objectives to achieve a correct identification and good description of requirements; (iv) a set of 4 types of documents for requirements specification at business, stakeholder, system and

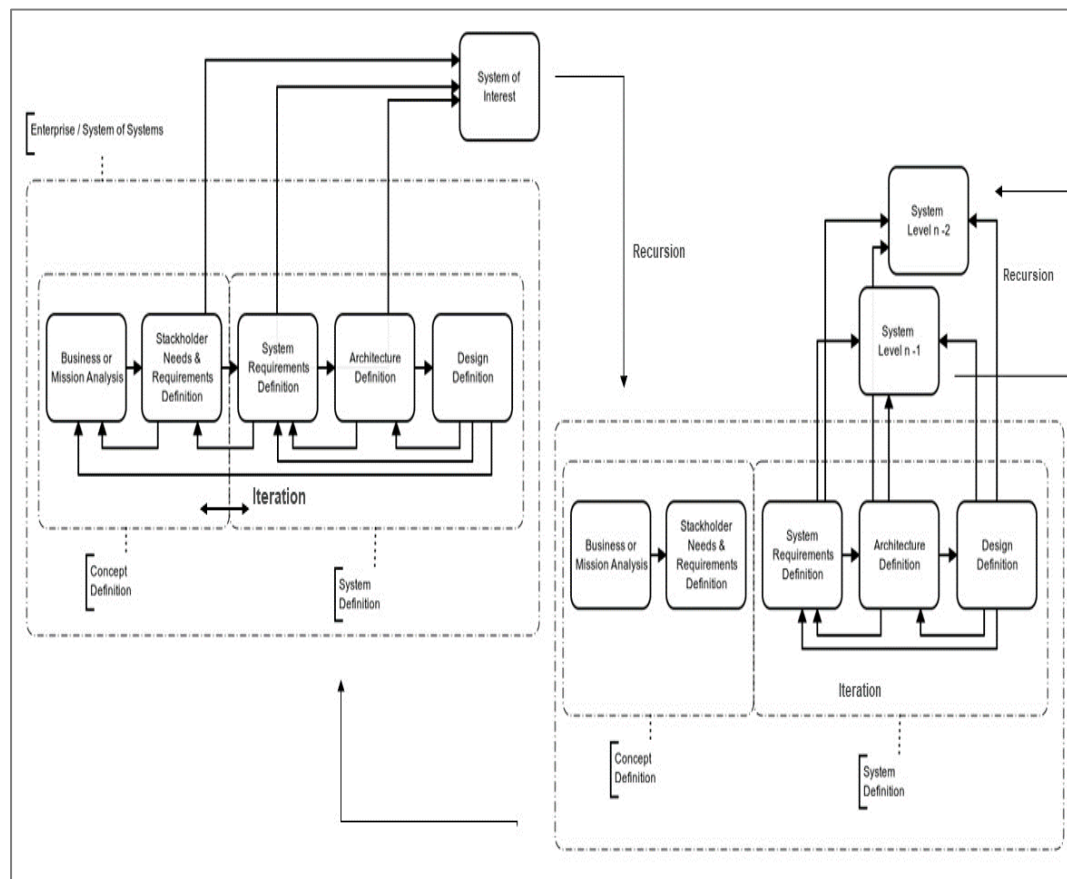


Figure 1. Requirements Engineering Process set out in 29148:2018 adapted from (ISO/IEC/IEEE, 2018)

software levels; (v) the concept of operations and System operational concept; and, (vi) guidelines to manage the evolution of requirements.

2.2 User-Centered Software Requirements

The user-centered software development approach (UCD), was established as a response to existing software development schemes, which in practical terms can be noted, were focused on the technical aspect of the software and associated hardware (De Bellis & Haapala, 1995), (Norman & Draper, 1987). The UCD gained some relevance with the publication of ISO 13407:1999 Human-centred Design Processes for Interactive Systems (Juárez-Ramírez, 2017) and after that, when the stakeholders are included into ISO 9241-210:2010 Ergonomics of human-system interaction - Part 210: Human-centred Design for Interactive Systems (Vidal et al., 2012). Finally, the latest edition of the ISO 9241-210 standard is, recently, from 2019 (IEEE SA, 2011). In short, as pointed out by several authors (Juárez-Ramírez, 2017), (Forbrig, 2016), (Nieva et al., 2016), (Wanderley et al., 2014), and the ISO 13407 standard itself (ISO, 2019), RE should allow to reach an understanding of the needs, attitudes, motivations and behaviors of users that are the basis for achieving successful products and services, with a wide margin of end-user satisfaction.

3 RESEARCH METHOD

In this research a hybrid model was used. In the first part, a Systematic Mapping Study (SMS) was performed to identify user-centric methodologies for requirement engineering (UCMRE); and in the second part, a comparative analysis was performed using process elements from ISO 29148 as criteria.

3.1 Systematic Mapping Study

In order to select the methodologies, an SMS was carried out, taking as a reference what was established by Petersen (2015). The stages carried out were:

3.1.1 SMS Planification

The main research question established was “what user-centered software requirements engineering methodologies (UCMREs) have been proposed?” To answer this question, the search string was elaborated using the concepts of Population and Intervention, according to Petersen (2015). For the population the terms “requirements engineering” and for the intervention “methodology” were considered. From these main terms and the alternate terms, the final search string was set as “(“Software Requirement” OR “Requirements Engineering”) AND (methodology OR process) AND (elicitation OR analysis OR specification OR validation)”. In addition, we searched the bibliographic references of some secondary studies related to RE,

Id	Study	Author(s)
S01	DoRCU Methodology for Requirement Engineering.	G. Báez & B. Brunner
S02	Extreme Requirement Engineering (XRE)	N. Ikram & S. Naz
S03	AMMETH: A Methodology for Requirements Analysis of Advanced Human-System Interfaces	G. Guida & G. Lamperti
S04	Methodology for the Specification of Software Requirements Based on the IEEE 830-1998 Standard	C. Borja & V. Cuji
S05	Methodology for developing requirements in applications with web services	P. Páez, C. Arias & L. Wanumen

Table 1. Comparison of processes / activities between ISO 29148 and UCMRE

with the purpose of identifying other possible candidates. We established 1999 as the cut-off date for the search, which was when the ISO 13407 Human-Centred design processes for interactive systems standard was published for the first time, which is a reference point for this study. Although English keywords were used, articles whose contents were also in Portuguese or Spanish were accepted. The inclusion criteria applied were: (i) refer to RE methodologies; (ii) are in the range 2000 to date; and, (iii) refer to user-centered. The exclusion criteria applied were: (i) refer to RE techniques (ii) refer to secondary studies; (ii) are not accessible in the databases consulted. In addition, the contents were quickly reviewed and compliance with the criteria was verified.

3.1.2 SMS Performed

The selected databases were IEEE Xplore, Scopus and Web of Science. The query was carried out in April 2021, obtaining 4,463 studies. The selection process used inclusion and exclusion criteria by stages, applied to titles, abstracts and content. In the title reading stage, 231 articles remained, in the abstract reading stage, 39 articles were selected, and finally, in the rapid review of abstracts, 5 articles remained (see Table 1). In Section 4, every methodology identified is described.

3.2 Comparative Analysis

The comparison of methodologies is an activity that is carried out constantly as can be seen in the studies of (Saleh et al., 2017), (Chandra, 2015), (Subbarayudu et al., 2017), (Cano et al., 2015). In these studies, they establishing, in all cases, the comparison criteria according to the purpose sought. In addition, literature research has been carried out on the characteristics of the methodologies (Toro & Gálvez, 2016).

Id*	Process element	Description(s)
6.2	Business or mission analysis process	Identify problems and opportunities in the organization. Define the analysis strategy to propose solutions aligned with the organization's objectives.
6.3	Stakeholder needs and requirement definition processes	Define and perform activities related to defining the needs and requirements of stakeholders in the established environment and its context.
6.3.3.2	Prepare for Stakeholder Needs and Requirement Definitions	Define and perform activities related to preparing for Stakeholder Needs and Requirements Definition.
	Identify the stakeholders	Define and perform activities related to identify stakeholders in the system and organize them in levels according to their influence.
	Requirements definition strategy	Define and perform activities related to planning the necessary tasks and resources to obtain and manage the needs of stakeholders
6.3.3.3	Define stakeholder needs	Define and perform activities related to defining the objectives and problems of stakeholders.
	Identify stakeholder needs.	Define and perform activities related to describing and documenting needs of stakeholder.
	Prioritize and down-select needs.	Define and perform activities related to reviewing, classifying and selecting needs of the stakeholder.
6.3.3.4	Develop the operational concept and other life cycle concepts	Define and perform activities related to define usage sceneries aimed at developing the operational concept and other life cycle concepts.
	Identify the interaction between users and the system.	Define and perform activities related to understanding and documenting the relationship between the user and the system.
	Identify the factors affecting interactions between users and the system.	Define and perform activities related to understand and document the factors affecting interactions between users and systems.
6.3.3.5	Transform stakeholder needs into stakeholder requirements	Define and perform activities related to define stakeholder requirements based on their need statements and the constraints of the environment.
6.3.3.6	Analyze stakeholder requirements.	Define and perform activities related to classifying, reviewing and prioritizing the requirements, to validate them against the stakeholders.
6.3.3.7	Manage the stakeholder needs and requirements definition	Define and perform activities related to manage the stakeholder needs and requirements definition.
6.4	System [System/Software] Requirements definition process	Define and perform activities related to System/Software requirement definition.
6.4.3.2	Prepare for [System/Software] Requirement Definitions	Define and perform activities related to prepare for System/Software requirements definition.
6.4.3.3	Define system[/software] requirements	Define and perform activities related to define System/Software requirements.
6.4.3.4	Analyze system[/software] requirements	Define and perform activities related to analyze System/Software requirements.
6.4.3.5	Manage system[/software] requirements	Define and perform activities related to manage System/Software requirements.
	Maintain traceability of the system[/software] requirements.	Define and perform activities related to maintain traceability of the System/Software requirements.
6.5	Requirements engineering activities in other technical processes	Define and perform activities related to requirements in other technical processes.
6.5.1	Requirements activities in architecture definition	Define and perform activities related to requirements in the architecture definition phase.
6.5.2	Requirements activities in verification	Define and perform activities related to requirements in the verification phase.
6.5.3	Requirements activities in validation	Define and perform activities related to requirements in the validation phase.
6.6	Requirements management	Manage requirements (needs and change) and keep them consistent.
9.3	Business requirement specification (BRS)	Describe elements of Business requirements specification (BRS).
9.4	Stakeholder requirements specif. (StRS)	Describe elements of Stakeholder requirement specification (StRS).
9.5	System requirements specification (SyRS)	Describe elements of System requirement specification (SyRS).
9.6	Software requirements specification (SRS)	Describe elements of Software requirement specification (SRS).

Table 2. Criteria description based on ISO29148 to compare UCMRE's model

For the comparative analysis, in this study, some process elements (activities and information items) proposed in ISO 29148 were used as comparison criteria. In Table 2, every criterion is shortly described.

In order to compare the methodologies obtained in the SMS, the following activities were carried out: (i) a detailed review of the existing documentation of each methodology was performed; (ii) a process diagram of each methodology including activities and deliverables was elaborated; (iii) criteria and a base structure for comparison of the methodologies was established from ISO 29148; (iv) the ISO 29148 standard was carefully reviewed understanding what applies to the software engineering context; (v) the similarity of the methodology with respect to the ISO 29148 standard was analyzed and discussed in a qualitatively way.

4 RESULTS

This section presents, in summary, the user-centric methodologies for requirement engineering (UCMRE) identified in the SMS and their comparison.

4.1 DoRCU Methodology

DoRCU, according to Griselda Báez & Barba Brunner (2001), has been developed in an academic environment and validated in a project during a public health context in Cuba. It is called DoRCU for Documentation of User-Centered Requirements. The article presents the following characteristics (Griselda Báez & Barba Brunner, 2001): (i) it consists of 4 stages: elicitation, analysis, specification and validation and certification of requirements; (ii) it describes an iterative process; (iii) it involves high user participation in all its stages; (iv) it prioritizes the satisfaction of user needs; and (v) it is adaptable to other models (flexibility). Fig. 2 shows a representation of DoRCU based on its proposal.

4.2 XRE Methodology

XRE, according to Ikram & Naz (2015), is based on an agile approach, from a survey of RE experts around the world, on the valuable practices of Extreme Programming (XP) and Scrum. The features noted are (Ikram & Naz, 2015): (i) it comprises the following activities Daily Standup Meeting, Sprint Planning, Initial/Product Planning Meeting, Sprint Review, Sprint Retrospective Meeting and Sprint Planning; (ii) it is described as an iterative and evolutionary process with ongoing communication; (iii) the role nature of an agile team is maintained, integrating the user as part of the team; (iv) it employs graphical requirements management in order to maintain traceability and communication with users; and (v) the requirements document is adaptable to the needs. In Fig. 3, XRE has been represented based on what is established in its proposal.

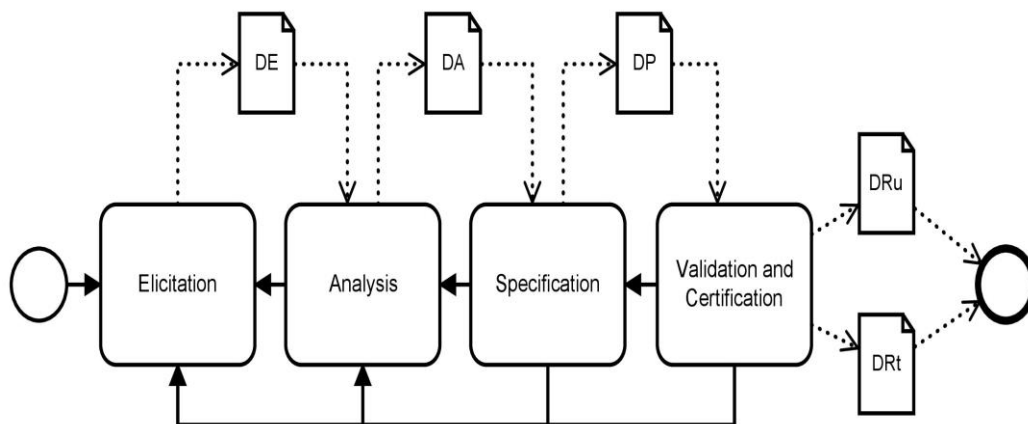


Figure 2. DoRCU Methodology adapted from (Griselda Báez & Barba Brunner, 2001)

4.3 AMMETH Methodology

AMMETH is a methodology that can help in performing Human-System interface (HSI) requirements analysis in a disciplined and effective way (Guida & Lamperti, 2000). AMMETH was applied in a complex diagnostic and process monitoring system of a power plant (Guida & Lamperti, 2000). The methodology involves seven steps based on some proven analysis techniques presented below (Guida & Lamperti, 2000): (i) analyzing the context, (ii) stating interaction goals, (iii) eliciting user needs and expectations, (iv) identifying and rating interaction features, (v) defining interaction patterns, (vi) collecting usability feedback, and (vii) defining requirements. Finally, AMMETH (Guida & Lamperti, 2000), is declared iterative because it allows refinement by stages, involves user participation from early stages to the evaluation of the scenarios, being the heart of the methodology. In Fig. 4, AMMETH has been represented based on what is established in its proposal.

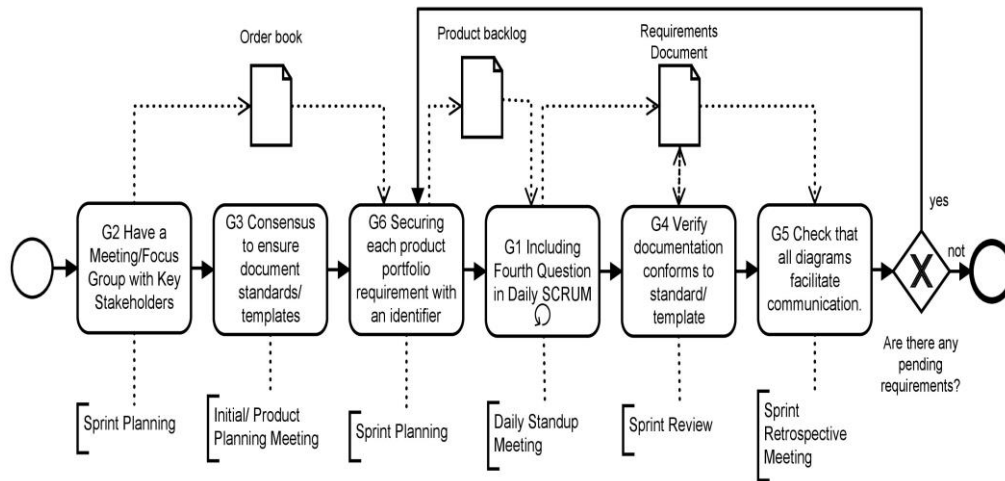


Figure 3. XRE Methodology adapted from (Ikram & Naz, 2015)

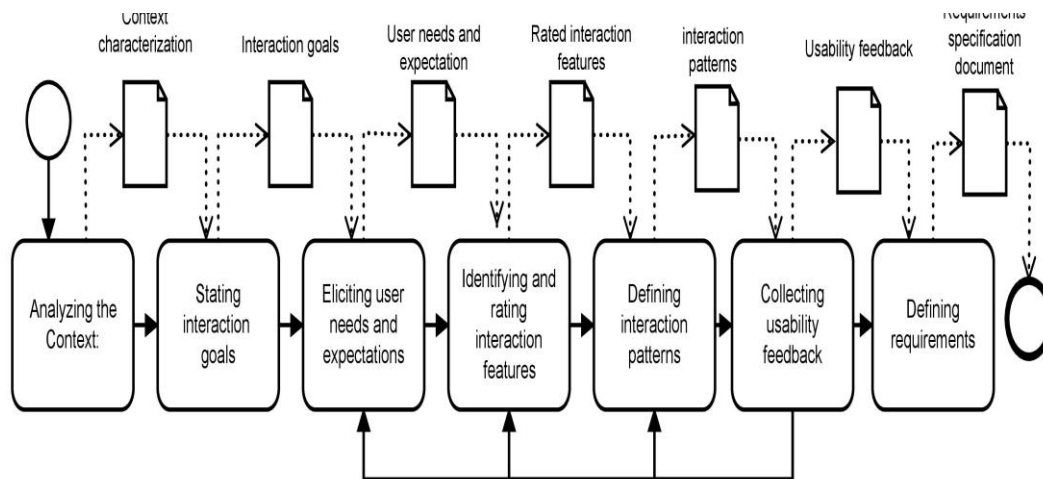


Figure 4. AMMETH Methodology adapted from (Guida & Lamperti, 2000)

4.4 Borja Methodology

The Borja's methodology is based on the IEEE 830-1998 standard and was applied for its validation in a management system of an industrial technical college (Borja Buestán & Cuji Torres, 2013). The methodology has the following characteristics (Borja Buestán & Cuji Torres, 2013): (i) it has four phases such as elicitation, analysis, specification and validation of requirements; (ii) it is defined as an iterative, incremental and cooperative process; (iii) it incorporates the participation of the user as the main actor in all stages; (iv) it recommends to

apply the use case diagrams; and, (v) the elaboration of a software requirements specification document under the structure of the standard. Fig. 5 shows Borja's proposal based on what is established in his proposal.

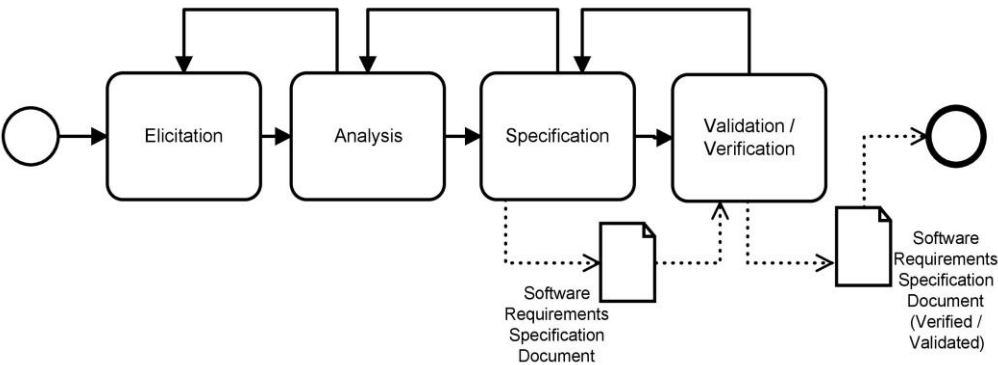


Figure 5. Borja Methodology adapted from (Borja Buestán & Cuji Torres, 2013)

4.5 Paez Methodology

The Paez’s methodology for requirements elaboration in web services applications (Paez Cardenas et al., 2018) was validated by means of a survey applied to 2 software development teams using the Technology Acceptance Model (TAM). The Paez’s methodology (Paez Cardenas et al., 2018) comprises 7 phases: soft requirements capture, elicitation, analysis, semantic validation, specification, validation and verification. The methodology has the following characteristics (Paez Cardenas et al., 2018): (i) it is presented as an iterative process; (ii) it incorporates aspects related to System Soft Methodology; (iii) it is oriented to address the goals of the end users as well as that of the development team; and (iv) it employs a set of adaptable artifacts in the different stages. Fig. 6 shows Paez's proposal based on what is established in his model.

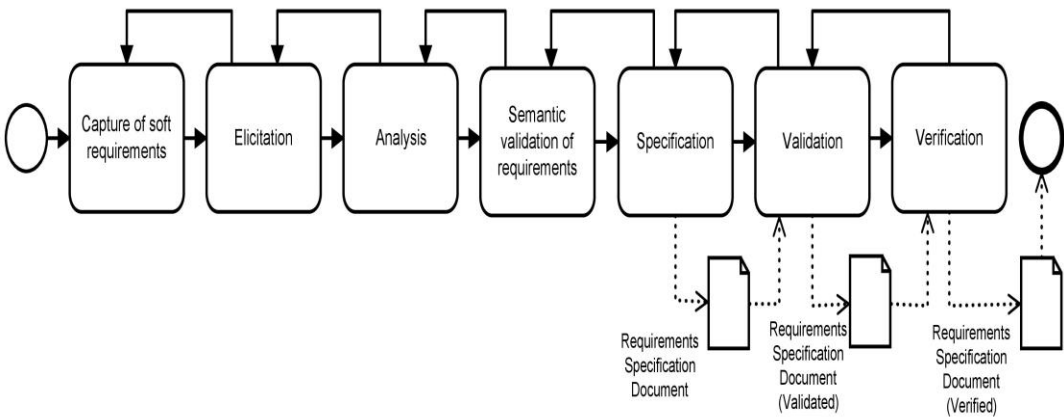


Figure 6. Paez Methodology adapted from (Paez Cardenas et al., 2018)

4.6 Comparison of Methodologies

In Table 3 shows the ISO 29148 processes and activities. The numbers in the item column correspond to the section of the process/activity within the Standard, followed by the description column. The following columns correspond to the methodologies considered.

5 DISCUSSION AND CONCLUSIONS

In this study, an SMS has been carried out where five user-centric methodologies for requirement engineering (UCMRE) were obtained: DoRCU, XRE, Ammeth, Borja and Paéz. The SMS has followed a process based on the methodology based on Petersen (2015) in three digital databases of interest for software engineering.

Subsequently, considering the relevance of ISO 29148, a standard updated in 2018, process elements from this standard were used as criteria to compare the five UCMRE identified. This comparison has made it possible to identify that DoRCU is the most aligned with ISO 29148, followed by, without an important distinction between them, Ammeth, Borja and Paéz; finally, XRE is the least aligned of the group of UCMRE evaluated. Likewise, it is observed that all

Id*	Process element	DoRCU	XRE	AMMETH	Borja	Páez
6.2	Business or mission analysis process	Y	Y	Y	Y	Y
6.3	Stakeholder needs and requirements definition process	---	---	---	---	---
6.3.3.2	Prepare for Stakeholder Needs and Requirements Definition	Y	-	Y	Y	Y
	Identify the stakeholders	Y	Y	Y	Y	Y
	Requirements definition strategy	Y	-	Y	Y	Y
6.3.3.3	Define stakeholder needs	Y	-	Y	Y	Y
	Identify stakeholder needs.	Y	Y	Y	Y	Y
	Prioritize and down-select needs.	Y	Y	Y	Y	Y
6.3.3.4	Develop the operational concept and other life cycle concepts	Y	-	Y	Y	Y
	Identify the interaction between users and the system.	Y	-	Y	Y	Y
	Identify the factors affecting interactions between users and the system.	Y	-	Y	Y	-
6.3.3.5	Transform stakeholder needs into stakeholder requirements	Y	Y	Y	Y	Y
6.3.3.6	Analyze stakeholder requirements.	Y	Y	Y	Y	Y
6.3.3.7	Manage the stakeholder needs and requirements definition	Y	Y	-	Y	Y
6.4	System [System/Software] Requirements definition process	---	---	---	---	---
6.4.3.2	Prepare for System [System/Software] Requirements Definition	Y	Y	Y	-	Y
6.4.3.3	Define system/[software] requirements	Y	Y	Y	Y	Y
6.4.3.4	Analyze system/[software] requirements	Y	Y	Y	Y	Y
6.4.3.5	Manage system/[software] requirements	Y	-	Y	Y	-
	Maintain traceability of the system/[software] requirements.	Y	Y	Y	-	-
6.5	Requirements engineering activities in other technical processes	---	---	---	---	---
6.5.1	Requirements activities in architecture definition	-	-	-	Y	-
6.5.2	Requirements activities in verification	Y	Y	Y	Y	Y
6.5.3	Requirements activities in validation	Y	Y	Y	Y	Y
6.6	Requirements management	Y	Y	Y	Y	Y
9.3	Business requirement specification (BRS)	Y	-	-	-	-
9.4	Stakeholder requirements specification (StRS)	Y	-	Y	Y	Y
9.5	System requirements specification (SyRS)	Y	-	-	-	-
9.6	Software requirements specification (SRS)	Y	Y	Y	Y	Y
	Total	25	15	22	22	20

Table 3. Comparison of processes / activities between ISO 29148 and UCMRE identified

complete the SRS document (software requirements specifications); all but XRE also complete the StRS (stakeholder requirements specifications) document; and neither covers the Concept of Operations item, nor the System Operational Systems; that are more related to the system level and less to the software level.

ACKNOWLEDGMENTS

This work is partially supported by Department of Engineering and the Software Engineering Research and Development Group (GIDIS) from the Pontifical Catholic University of Peru (PUCP). The work is also funded by the Data Science and Technology Research Group (CITEC) of the National University of Moquegua (UNAM).

REFERENCES

- Ambreen, T., Ikram, N., Usman, M., & Niazi, M. (2018). Empirical Research in Requirements Engineering: Trends and Opportunities. *Requirements Engineering*, 23(1), 63–95. <https://doi.org/10.1007/s00766-016-0258-2>
- Anu, V., Hu, W., Carver, J. C., Walia, G. S., & Bradshaw, G. (2018). Development of a Human Error Taxonomy for Software Requirements: A Systematic Literature Review. *Information and Software Technology*, 103, 112–124. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2018.06.011>
- Beecham, S., Hall, T., & Rainer, A. (2005). Defining a Requirements Process Improvement Model. *Software Quality Journal*, 13, 247–279. <https://doi.org/10.1007/s11219-005-1752-9>
- Borja Buestán, C. D., & Cuji Torres, V. A. (2013). Metodología para la Especificación de Requerimientos de Software Basado en el Estándar IEEE 830-1998. In *Tesis - Universidad Politécnica Salesiana - Sede Cuenca*.
- Boyarchuk, A., Pavlova, O., Bodnar, M., & Lopatto, I. (2020). Approach to the Analysis of Software Requirements Specification on its Structure Correctness. *CEUR Workshop*, 85–95. <http://ceur-ws.org/Vol-2623/paper9.pdf>
- Cano, C., Melgar, A., Dávila, A., & Pessoa, M. (2015). Comparison of Software Process Models. A Systematic Literature Review. *41st Latin American Computing Conference - CLEI 2015*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/CLEI.2015.7360025>
- Chandra, V. (2015). Comparison between Various Software Development Methodologies. *International Journal of Computer Applications*, 131(9), 7–10. <https://doi.org/10.5120/ijca2015907294>
- Chang, C. K. (2018). Situation Analytics — at the Dawn of a New Software Engineering Paradigm. *Science China - Information Sciences*, 61(5), 1–14. <https://doi.org/10.1007/s11432-017-9372-7>
- De Bellis, M., & Haapala, C. (1995). User-Centric Software Engineering. *IEEE Expert*, 10(1), 34–41.
- Forbrig, P. (2016). Continuous Requirements Engineering and Human-Centered Agile Software Development. *International Working Conference on Requirement Engineering Foundation for Software Quality - REFSQ 2016*, 1–11.
- Griselda Báez, M., & Barba Brunner, S. I. (2001). Metodología DoRCU para la Ingeniería de Requerimientos. *WorkShop on Requirement Engineering*, 1–13.
- Guida, G., & Lamperti, G. (2000). AMMETH: a Methodology for Requirements Analysis of Advanced Human-System Interfaces. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Part A: Systems and Humans*, 30(3), 298–321. <https://doi.org/10.1109/3468.844355>
- Hu, W., Carver, J. C., Anu, V., Walia, G., & Bradshaw, G. (2017). Defect Prevention in Requirements Using Human Error Information: An Empirical Study. *International Working Conference on Requirements Engineering: Foundation for Software Quality - REFSQ 2017. In Lecture Notes in Computer Science*, 10153 LNCS, 61–76. https://doi.org/10.1007/978-3-319-54045-0_5

- IEEE-CS. (2014). SWEBOK Guide V3.0 - Guide to the Software Engineering Body of Knowledge. In P. Bourque & R. Fairley (Eds.), *IEEE*.
- IEEE SA. (2011). *IEEE SA Standards*. Web EEE/ISO/IEC 29148-2011. <https://standards.ieee.org/standard/29148-2011.html>
- Ikram, N., & Naz, S. (2015). Extreme Requirements Engineering (XRE). *Requirements Engineering in the Big Data Era. In Communications in Computer and Information Science*, 558, 95–108. https://doi.org/10.1007/978-3-662-48634-4_7
- ISO/IEC/IEEE. (2018). ISO/IEC/IEEE 29148:2018 Systems and Software Engineering — Life Cycle Processes — Requirements Engineering. In *ISO* (2nd ed.). <https://www.iso.org/standard/72089.html>
- ISO. (2019). ISO 9241-210: 2019 Ergonomics of Human-System Interaction — Part 210: Human-Centred Design for Interactive Systems Ergonomie. 2do Edition. In *ISO*.
- Juárez-Ramírez, R. (2017). User-Centered Design and Adaptive Systems: Toward Improving Usability and Accessibility. *Universal Access in the Information Society*, 16, 361–363. <https://doi.org/10.1007/s10209-016-0480-1>
- Kelly, J. C., Sherif, J. S., & Hops, J. (1992). Analysis of Defect Densities Found During Software Inspections. *NASA -15th Annual Software Engineering Workshop*, 17(2), 111–117.
- Miotti, H. (2009). The Economic Impact of Standardization. Technological Change, Standards Growth in France. In *AFNOR*.
- Nazir, F., Butt, W. H., Anwar, M. W., & Khan Khattak, M. A. (2017). The Applications of Natural Language Processing (NLP) for Software Requirement Engineering - A Systematic Literature Review. *ICISA 2017 Information Science and Applications. In Lecture Notes in Electrical Engineering*, 424, 485–493. https://doi.org/10.1007/978-981-10-4154-9_56
- Niazi, M. (2005). An Instrument for Measuring the Maturity of Requirements Engineering Process. *Product Focused Software Process Improvement - PROFES 2005 . In Lecture Notes in Computer Science*, 3547, 574–585. https://doi.org/10.1007/11497455_44
- Niazi, M., & Shastry, S. (2003). Critical Success Factors for the Improvement of Requirements Engineering Process. *International Conference on Software Engineering Research and Practise*, 433–439.
- Nieva, A., Hardisty, A., & Jones, A. (2016). SCRAM–CK: Applying a Collaborative Requirements Engineering Process for Designing a Web Based e-Science Toolkit. *Requirements Engineering*, 21, 107–129. <https://doi.org/10.1007/s00766-014-0212-0>
- Norman, D. A., & Draper, S. W. (1987). User Centred System Design-New Perspectives on Human/Computer Interaction. *Journal of Educational Computing Research*, 3(1), 129–134.
- Nuseibeh, B., & Easterbrook, S. (2000). Requirements Engineering: A Roadmap. *International Conference on The Future of Software Engineering - ICSE 2000.*, 35–46. <http://mcs.open.ac.uk/ban25/papers/sotar.re.pdf%5Cn./CitaviFiles/Nuseibeh2000.pdf>
- Paez Cardenas, P., Arias Peralta, C. D., & Wanumen Silva, L. F. (2018). Metodología para Elaboración de Requerimientos en Aplicaciones con Servicios Web. *Revista Vínculos*, 15(2), 160–174. <https://doi.org/10.14483/2322939x.13505>
- Petersen, K., Vakkalanka, S., & Kuzniarz, L. (2015). Guidelines for Conducting Systematic Mapping Studies in Software Engineering: An Update. *Information and Software Technology*, 64, 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2015.03.007>
- Saleh, S. M., Rahman, M. A., & Asgor, K. A. (2017). Comparative Study on the Software Methodologies for Effective Software Development. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 8(4), 1018–1025.
- Selvyanti, D., & Bandung, Y. (2017). The Requirements Engineering Framework Based on ISO 29148:2011 and Multi-View Modeling Framework. *International Conference on Information Technology Systems and Innovation - ICITSI 2017*, 128–133. <https://doi.org/10.1109/ICITSI.2017.8267930>
- Shafiq, M., Zhang, Q., & Akbar, M. A. (2019). Software Requirements Engineering Maturity

- Model (SREMM) in Offshore Software Development Outsourcing. *International Conference on Frontiers of Information Technology - FIT 2019*, 101–104.
<https://doi.org/10.1109/FIT47737.2019.00028>
- Subbarayudu, B., Srija Harshika, D., Amareswar, E., Reddy, R. G., & Reddy, K. K. (2017). Review and Comparison on Software Process Models. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 8(8), 967–980.
- Toro, A., & Gálvez, J. G. (2016). Especificación de Requisitos de Software: Una Mirada desde la Revisión Teórica de Antecedentes. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 10(19), 108–113.
<http://biblioteca.ucp.edu.co/OJS/index.php/entrecei/article/view/2803/2785>
- UNCTAD. (2012). Information Economy Report 2012. The Software Industry and Developing Countries. In *United Nations Publication*.
- Vidal, D., Ibarra, J., Flores, B., & Lopez, G. (2012). Adopción del Estándar ISO 9241-210 : 2010 en la Construcción de Sistemas Interactivos Basados en Computadora. *Congreso Internacional de Investigación e Innovación En Ingeniería de Software - CONISOFT 2012*, 1–7.
- Wanderley, F., Silva, A., Araujo, J., & Silveira, D. S. (2014). SnapMind: A Framework to Support Consistency and Validation of Model-Based Requirements in Agile Development. *IEEE 4th International Model-Driven Requirements Engineering Workshop - MoDRE 2014*, 47–56.
<https://doi.org/10.1109/MoDRE.2014.6890825>
- Ward, D., Rossi, M., Sullivan, B. P., & Pichika, H. V. (2018). The Metamorphosis of Systems Engineering Through the Evolution of Today's Standards. *4th IEEE International Symposium on Systems Engineering - ISSE 2018*, 1–8.
<https://doi.org/10.1109/SysEng.2018.8544426>
- Westfall, L. (2011). Las Fallas en la Ingeniería de Requisitos. *Ingenierías USBMed*, 2(2), 40–47.
<https://doi.org/10.21500/20275846.257>

Biographical Notes



Alex Llanque Flores. Systems Engineer from the National University of Moquegua. His research area is Requirements Engineering and process management. I work as a systems analyst in private entities. Specialist in Educational Informatics in mobile banking for financial institutions. Participate as an integrant in the software development team of the Provincial Municipality of Ilo (2013-2014).



Vaneza Flores Gutiérrez is a professor at the Professional School of Systems Engineering and Informatics at the National University of Moquegua (UNAM) in Peru, since 2008. Master in Business Management (2019), with concluded studies of Master in Systems Engineering (2008) and a diploma in University Teaching (2021). Initiating research activities in the line of artificial intelligence.



PhD student in Engineering at the Pontifical Catholic University of Peru (PUCP). He is a researcher and principal professor at the PUCP since 2000. He directed and was principal investigator of the ProCal-ProSer project phase II (2017-2019) and phase I (2013-2016) and a founding member of Software Engineering Research and Development Group at PUCP. He has published several scientific articles in journals and international congresses. Process evaluator using ISO/IEC 15504. Evaluator, auditor, consultant and trainer in models of Information Technology (MoProSoft, ISO/IEC 29110 VSE, CMMI, ISO/IEC 12207, ISO 9001, ISO/IEC 20000, CMMI, ISO/IEC 25000 series), formulator projects for competitive funds, IT solutions consultant.



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 2.5 México.

Recibido 28 sep. 2021

ReCIBE, Año 11 No. 1, may. 2022

Aceptado 22 jun. 2022

Implementación de un almacén de datos en el Centro de Enseñanza del Laboratorio Nacional de Informática Avanzada (LANIA) aplicado al estudio de perfiles de deserción.

Implementation of a data Warehouse in the Centro de Enseñanza del Laboratorio Nacional de Informática Avanzada (LANIA) applied to the study of desertion profiles.

Jesús Alberto Torres Sosa
jtorres@lania.edu.mx

Juan Manuel Gutiérrez Méndez

Idali Nieto Jiménez

Resumen: En la actualidad las organizaciones generan mucha información día a día, misma que puede ser de utilidad para adquirir conocimiento y para la toma de decisiones. El proyecto se enfoca en la construcción de un almacén de datos, que contiene las variables correspondientes para poder aplicar estadísticas descriptivas y así visualizar patrones de comportamiento en la deserción académica de los alumnos de posgrado del Centro de Enseñanza LANIA; dichas variables se obtuvieron de un estudio del estado del arte. El trabajo brinda al lector un panorama de la construcción del almacén de datos, donde se destaca principalmente el proceso ETL, el cual se refiere a la extracción, transformación y carga de los datos. También se puede destacar la aplicación de la metodología CRISP-DM (Cross Industry Standard Process for Data Mining), donde se llevó a cabo cuatro fases de seis que contiene. Se pudo observar en los resultados que el 57.14% de los estudiantes que desertaron de la Maestría en Computación Aplicada (MCA) está en el rango de 23 a 25 años y el 40.47% de los estudiantes que desertaron de la Maestría en Redes y Sistemas Integrados (MRySI) está en el rango de 27 a 31 años.

Palabras claves: Deserción académica, almacén de datos, metodología CRISP-DM, proceso ETL.

Abstract: Today, organizations generate a lot of information every day, which can be useful to acquire knowledge and for decision making. The project focuses on the construction of a data warehouse, which contains the corresponding variables to be able to apply descriptive statistics and thus visualize behavior patterns in the academic desertion of postgraduate students of the Centro de Enseñanza LANIA; these variables were obtained from a study of the state of the art. The work provides the reader with an overview of the construction of the data warehouse, where the ETL process stands out, which refers to the extraction, transformation and loading of data. The application of the CRISP-DM (Cross Industry Standard Process for Data Mining) methodology can also be highlighted, where four phases of the six it contains were carried out. It was observed in the results that 57.14% of the students who dropped out of the Maestría en Computación Aplicada (MCA) are in the range of 23 to 25 years old and 40.47% of the students who dropped out of the Maestría en Redes y Sistemas integrados (MRySI) is in the range of 27 to 31 years.

Keywords: Academic desertion, Warehouse, CRISP-DM methodology, ETL process

1. Introducción.

En América Latina las Instituciones de Educación Superior (IES), representan una alta tasa de deserción estudiantil, especialmente en los primeros semestres, según (Pereira et al., 2013). Por otra parte, la deserción académica es un fenómeno que no solo se presenta en las IES, sino que es un problema en todos los niveles educativos (Díaz Peralta, citado por (Eckert & Suénaga, 2015)). Por lo tanto, este tipo de problema conlleva a varios tipos de efectos como lo son financieros, académicos y sociales, como para las instituciones educativas, para el alumno y hasta para los países (Pereira et al., 2013). Actualmente existen varias definiciones de lo que es deserción; la deserción académica: "es el abandono de las actividades estudiantiles antes de terminar algún grado o nivel educativo" esta es una definición de la Secretaría de Educación Pública citada por (Romo et al., 2015). La deserción se entiende como "la interrupción que realizan los alumnos en los estudios emprendidos antes de culminar el total de número de las asignaturas del programa académico en el cual se encuentra matriculado" (Romo et al., 2015).

En respuesta a este tipo de problemática, varias instituciones de América Latina han estudiado este problema con ayuda de la tecnología y se han utilizado técnicas de minería de datos. La minería de datos, también conocida como Descubrimiento de Conocimiento en Bases de Datos por sus siglas en inglés ("KDD; Knowledge Discovery in Databases"), es el campo el cual permite descubrir información en grandes volúmenes de datos (Galindo & García, 2010). También han analizado los datos de los alumnos a través del tiempo que pasa en la institución, esto gracias a los almacenes de datos (data Warehouse). Los repositorios de almacenes de datos se crean con el propósito de generar reportes y de analizar datos históricos de una organización de forma eficaz, y así encontrar tendencias de comportamiento en el tiempo (Matamala et al., 2011).

En este artículo se presenta la construcción de una data Warehouse, como un almacén de datos que guarde información de los alumnos que hayan estudiado y se encuentren cursando actualmente en LANIA, el cual se construyó de la revisión literaria que han abordado problemas similares a la deserción académica, el cual sirvió para determinar las variables o atributos que llevó la data Warehouse.

1.1 Problemática.

Actualmente existen registro donde hay alumnos de las maestrías que se han dado de baja del programa académico quienes argumentan como causas: el rendimiento académico, problemas económicos, problemas de salud entre otros aspectos personales; pero dicha información no es clara en las fuentes de información con las que cuenta LANIA para gestionar los datos de los alumnos, las cuales incluyen entre otras fuentes de información como Moodle ya que se encarga de llevar el registro de las actividades y tareas de los alumnos al interior de cada materias del mapa curricular; SIPAL que se encarga del control y seguimiento de los pagos de las inscripciones de los alumnos y Vfront que se encarga del acceso a la información de la trayectoria académica de los alumnos. Estas fuentes de información muestran datos en vistas parciales y no es posible identificar indicios de que existe un problema con el alumno, lo que origina que la detección de riesgo se lleve a cabo de forma tardía y no permita atender el problema a tiempo ya que no se cuenta con una herramienta que se alimente de las diferentes fuentes de información de LANIA, donde se guarde los datos de los alumnos para que se puedan analizar, procesar y encontrar patrones o indicios de que alumnos son candidatos a desertar.

2 Trabajos relacionados.

2.1 Estudios sociales sobre deserción académica.

(Ander-Egg, 1980) menciona en su libro que un estudio social es un proceso que usa la metodología científica para obtener nuevos conocimientos mediante las entrevistas o las encuestas, ya que son unas de las técnicas más utilizadas por los investigadores (Cerón & Cerâon, 2006). En este tipo de estudio se encontró variables que influyen en la toma de decisión al momento de desertar, pero dichas variables se encuentran categorizadas.

(Romo et al., 2015) en su trabajo analiza las características que involucran a los alumnos que desertan de los programas de posgrado, donde identificaron cinco categorías con sus respectivas variables que influyen en la deserción académica a nivel posgrado durante su investigación del estado del arte. Las clasificaciones de las categorías se muestran en la Tabla 1. Una vez identificadas las categorías realizaron un caso práctico de los posgrados del Centro Universitario de Ciencias Económico-Administrativas de la Universidad de Guadalajara donde obtuvieron como resultados que las categorías que intervienen en la deserción de los alumnos son los sociológicos y los socioeconómicos.

Categorías	Variables
Individuales	● Problemas de salud. ● Problema Psicológico. ● Acontecimiento biológico. ● Expectativas personales. ● Hábito de estudio.
Socioeconómicos	● Situación económica familiar. ● Situación económica personal. ● Expectativa de ingreso. ● Necesidad económica.
Sociológicos	● Situación laboral. ● Problema laboral. ● Nivel educativo de los padres. ● Familia disfuncional. ● Problema familiar.
Institucionales	● Calidad del programa. ● Método de estudio. ● Estructura curricular. ● Modalidad de estudio. ● Apoyo institucional.
Académicos	● Integración a la comunidadestudiantil. ● Calidad de los profesores. ● Acompañamiento estudiantil. ● Desempeño académico anterior. ● Compromiso con el programa.

Tabla 1. Categorías y variables identificadas por Romo et al. (2015).

Otro de los trabajos revisado fue el de (Agudelo & Angulo, 2015) realizado en Colombia donde utilizaron un enfoque cualitativo haciendo uso de las entrevistas para conocer los motivos que se involucran en la deserción de los alumnos, donde en su investigación logró identificar tres categorías; en la Tabla 2 se muestra las categorías encontradas con sus respectivas variables. Al finalizar su estudio identificó que la categoría con más presencia al momento de la deserción es el Académico por lo que sugiere monitorear las plataformas académicas que se utilizan para el programa, así como también tener sesiones de chat e incorporar foros para los alumnos.

Categorías	Variables
Proceso de admisión	• Información incompleta.
Institucionales	• Plan de estudio. • Calidad del programa. • Método de estudio.
Académicos	• Mal servicio del tutor académico. • Integración al trabajo de equipo. • Nivel educativo de los padres. • Falta de atención al alumno. • Dificultad con la plataforma de apoyo.

Tabla 2. Categorías y variables identificadas por Agudelo & Angulo (2015).

(Barrientos & Umaña, 2010) realizó una investigación en Costa Rica a nivel posgrado, donde la información para dicho trabajo la obtuvo consultando bases de datos, entrevistas estructuradas, entrevistas libres a alumnos y, por último, registros internos del posgrado; logrando identificar seis categorías con sus respectivas variables que afecta en la deserción académica; las categorías y sus variables; se muestra en la Tabla 3.

Categorías	Variables
Psicológicas	• Egresado no titulado. • Modalidad del programa. • Estado civil. • Tener hijos. • Sexo. • Edad. • Apoyo económico.
Académicos	• Educación previa. • Grado académico. • Promedio de hora a la semana. • Promedio de calificación.
Sociológicos	• Grado académico del núcleo familiar. • Situación laboral.
Socioeconómicos	• Casa propia. • Vive con los padres. • Cuenta con ingreso familiar.
Organizacionales	• Capacidad del docente. • Perfil de salida del programa. • Cambio en el proyecto de tesis.
Institucionales	• Calidad de la institución. • Programas menos interesantes. • Cambio de modalidad de estudio.

Tabla 3. Categorías y variables identificadas por Barrientos & Umaña (2010).

2.2 Estudios técnicos sobre deserción académica.

En el estudio técnico se hace uso de las técnicas computacionales como es la minería de datos, la inteligencia artificial, entre otras; con el propósito de crear modelos predictivos. Para llevar a cabo la creación de modelo predictivo es necesario extraer información existente con el propósito de predecir tendencia y encontrar patrones de comportamientos (Espino Timón, 2017).

(Eckert & Suénaga, 2015) en su trabajo analizó información académica para identificar factores que influyen en la deserción de los alumnos de la carrera en Informática. Gastón Dachary en Argentina, analizó variables relacionadas con los resultados académicos del alumno como los siguientes: promedio general del alumno en el primer año, número de materias cursadas en el primer año, localización geográfica, entre otras. Utilizó tres algoritmos en la herramienta de WEKA (Waikato Environment for Knowledge Analysis), los cuales fueron: árbol de decisión (J48), clasificador Naive Bayes y el algoritmo clasificador OneR. Teniendo como resultado que el algoritmo J48 fue el que mayor porcentaje de clasificación obtuvo correctamente y el clasificador OneR fue el que menor porcentaje de clasificación obtuvo.

(Azoumana, 2014) realizó un análisis sobre la deserción de los alumnos de la Universidad Simón Bolívar donde seleccionó una población de 707 alumnos del programa de Ingeniería de Sistemas, tomando las variables siguientes: pérdida de semestre, dificultad financiera, ingreso al mercado laboral, otros intereses y por último indeterminado. Para procesar la información utilizó la herramienta de WEKA donde aplicó el algoritmo de clasificación y como resultado obtuvo un margen de confianza de 94% y la variable que se pudo observar que era determinante para que el alumno tomara la decisión de desertar fueron: Indeterminado y Dificultad financiera.

(Matamala et al., 2011) en su trabajo realizó un almacén de datos con el objetivo de analizar el desempeño académico de los estudiantes, dicho almacén de datos se utilizó con el enfoque de Procesamiento Analítico OnLine Relacional (ROLAP por sus siglas en inglés) ya que les permitió la acción de explorar a través de operaciones definidas el análisis y la creación de reportes bajo el modelo relacional, uno de los procesos que se llevó a cabo en la creación del almacén de datos fue el ETL (Extraction, Transformation, Load), el cual les permitió obtener la información de las bases de datos originales para posteriormente pasar a la limpieza o transformación de los datos y por último cargarla al almacén de datos. También implementaron una red neuronal con el propósito de predecir el comportamiento del alumno en el siguiente semestre el cual se alimentaba de la información del almacén de datos.

(Pereira et al., 2013) en su trabajo detectó patrones de deserción de los alumnos utilizando técnicas de minería de datos tomando como referencia datos socioeconómicos, académicos, disciplinares e institucionales de los alumnos de programas de pregrado de la Universidad de Nariño y la Institución Universitaria de la ciudad de Pasto Colombia. También optaron por la implementación de un repositorio de datos, utilizando PostgreSQL como su sistema gestor de base de datos, el cual alimentaron con datos de los alumnos que ingresaron en los años 2004, 2005 y 2006 con el propósito de realizar un seguimiento completo de los alumnos. En su trabajo pudieron observar patrones generales en la deserción de los alumnos al momento de aplicar técnicas de clasificación y de agrupamiento sobre los datos. Las variables que encontraron al momento de la deserción fueron: un promedio bajo, materias reprobadas en los primeros semestres y alto costo de la colegiatura.

(Pereira & Toledo, 2014) en su trabajo detectó patrones de deserción de alumnos de la Universidad de Nariño e Institución Universitaria, donde aplicó la metodología CRISP-DM para su proyecto de minería de datos, construyeron un repositorio con el objetivo de tener los datos centralizados para encontrar patrones que inciden en la deserción de los alumnos, la información utilizada fueron: datos socioeconómicos y datos académicos. Para la técnica de minería de datos utilizaron el algoritmo de árboles de decisión (J48), donde obtuvieron como resultado las siguientes variables involucradas en la deserción: promedio bajo, materias reprobadas en los primeros semestres y puntaje bajo en la prueba de admisión.

(Moreno Serrano, 2017) en su trabajo muestra la aplicación de la metodología CRISP-DM, donde aplicó técnicas de minería de datos con los alumnos de los diferentes diplomados impartidos por el Laboratorio de Informática Avanzada, utilizando los algoritmos de árbol de decisión (J48), red bayesiana y redes neuronales con el objetivo de tener una predicción semanal del riesgo de deserción que tiene un alumno. Obteniendo mejores resultados con el algoritmo de red bayesiana y la red neuronal.

En la Tabla 4; se muestra los nombres de los estudios revisados así como el número de variables y la técnica utilizada en la investigación, el cual es un resumen general de lo encontrado en el estudio técnico.

Autores	Estudios	Número de variables	Técnicas
(Eckert & Suénaga, 2015)	Análisis de deserción permanencia de estudiantes universitarios utilizando técnica de clasificación en minería de datos.	10	• Árbol de decisión • Naive Bayes • Regla OneR
(Azoumana, 2014)	Análisis de la deserción estudiantil en la Universidad Simón Bolívar, facultad Ingeniería de Sistemas, con técnica de minería de datos.	5	• Clasificaciones
(Matamala et al., 2011)	Análisis de rendimiento académico estudiantil usando almacén de datos y redes neuronales.	15	• Análisis Rolap • Redes neuronales
(Pereira et al., 2013)	Descubrimiento de perfiles de deserción estudiantil con técnica de minería de datos.	13	• Árbol de decisión • K-Means
(Pereira & Toledo, 2014)	Detección de patrones de deserción estudiantil en programas de pregrado de Institución Superior con CRISP-DM.	30	• Árbol de decisión • K-Means • Apriori
(Moreno Serrano, 2017)	A2: MP Prototipo del módulo de predicción del asesor de asesores.	35	• Redes neuronales • Naive Bayes • Árbol de decisión

Tabla 4. Resumen de los estudios técnicos.

2.3 Metodología CRISP-DM.

(Parra et al., 2010) la metodología CRISP-DM por sus siglas en inglés (Cross Industry Standard Process for Data Mining) es una de las principales metodologías seguida por los analistas en la inteligencia de negocios, donde se puede rescatar primordialmente el almacén de datos y la minería de datos, ya que está sustentada en estándares internacionales por lo que facilitan la unificación de sus fases. (Chapman et al., 2000) y (Galán Cortina, 2016) la metodología cuenta con seis fases, las cuales se describen a continuación:

- **Fase 1: Comprensión del negocio.** Se centra en comprender los objetivos del proyecto y los requisitos desde una perspectiva de negocio.
- **Fase 2: Comprensión de los datos.** Se comienza con la recolección inicial de los datos y posteriormente identificar problemas de calidad de los datos y descubrir los primeros conocimientos.
- **Fase 3: Preparación de los datos.** Abarca todas las actividades necesarias para construir el conjunto de datos finales a partir de los datos iniciales, es probable que esta tarea se realice varias veces.
- **Fase 4: Modelado.** Se centra en seleccionar y aplicar técnicas de modelado, también en calibrar los parámetros para la optimización de los datos y construir modelos de pruebas y finales.
- **Fase 5: Evaluación.** Antes de proceder a la última fase, es importante evaluar y revisar los pasos ejecutados, para estar seguro de que el modelo logra adecuadamente los objetivos.
- **Fase 6: Despliegue.** Dependiendo de los requisitos, el cliente puede realizar la implementación y no el analista ya que en esta fase se generan los reportes finales.

De las seis fases que tiene esta metodología, solamente se emplearon las primeras cuatro para la creación del almacén de datos, como se muestra en la Figura 1 de color amarillo claro.

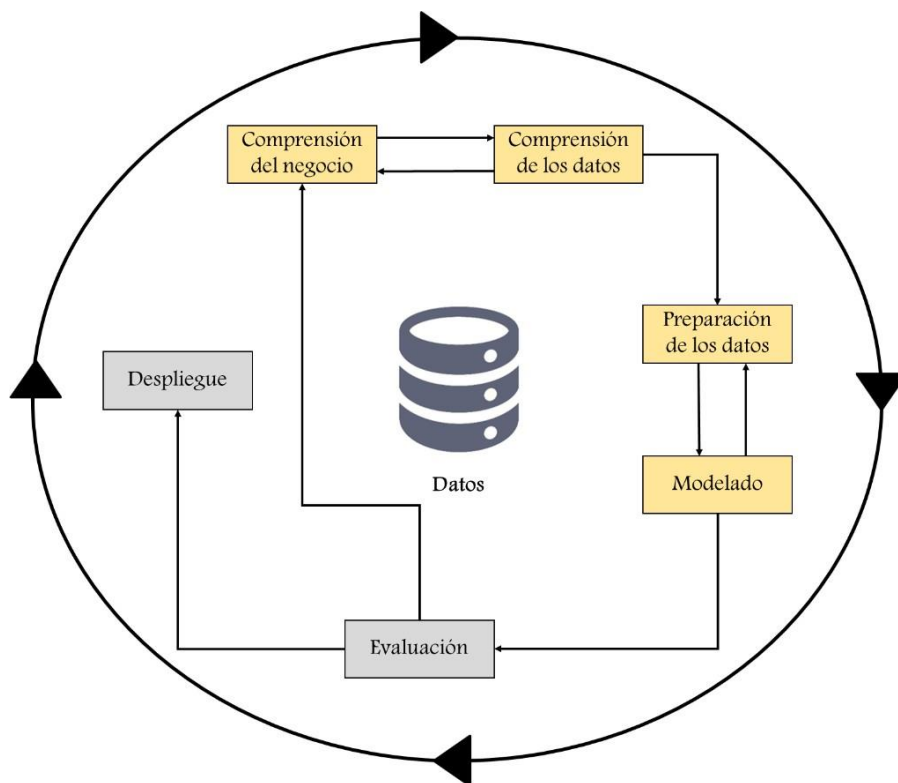


Figura 1. Fases de la metodología CRISP-DM.
Fuente: Elaboración propia.

3 Metodología.

La metodología que se utilizó para llevar a cabo la investigación estuvo compuesta de las siguientes fases:

Fase 1: Estudio de la literatura. (El cual se realizó en el apartado 2.)

Fase 2: Selección de variables y categorías.

Fase 3: Modelado e implementación del almacén de datos.

- Aplicación de la metodología CRISP-DM

Fase 4: Proceso ETL.

Fase 5: Validación de los datos

Fase 6: Aplicación de estadística descriptiva.

3.1 Selección de variables y categorías.

En la Fase 2; se seleccionó las categorías y variables para la construcción del almacén de datos a partir de la revisión de la literatura que se realizó en la Fase 1, se determinaron seis categorías y cuarenta y seis variables que son cualitativa y cuantitativa y por último dos variables que son de control. Estas últimas dos variables no sirven para un modelo predictivo, la única función es la de identificar al alumno. Las categorías y variables seleccionadas se muestran en la Tabla 5.

Categorías	Variables
Personales	• Nombre. • Id del usuario. • Fecha de nacimiento. • Dirección. • Estado civil. • Procedencia. • Nacionalidad.
Individuales	• Problemas de salud. • Problema psicológico. • Acontecimiento biológico. • Expectativas personales.
Sociológicos	• Situación laboral. • Problema laboral. • Nivel educativo del padre. • Nivel educativo de la madre. • Familia disfuncional. • Tiempo invertido en el trabajo. • Problemas personales.

Socioeconómicos	• Necesidades económicas. • Casa propia. • Cantidad que paga en el estudio. • Vive con sus padres. • Dependientes económicos. • Cuenta con deudas.
Académicos	• Integración estudiantil. • Acompañamiento estudiantil. • Desempeño académico anterior. • Compromiso con el programa. • Trabajo de equipo. • Plataforma de apoyo. • Grado académico actual. • Horas invertidas. • Promedio actual. • Número de materias cursadas. • Número de materias aprobadas. • Número de materias reprobadas. • Calificación de la prueba de admisión. • Tipo de colegio previo. • Generación. • Estatus académico. • Motivo de deserción. • Programa al que pertenece. • Fecha del periodo. • Número de periodo.
Psicológicas	• Tiene hijos. • Sexo. • Edad. • Apoyo económico.

Tabla 5. Categorías y variables finales.

3.2 Modelado e implementación del almacén de datos.

Para la Fase 3; se llevó a cabo el modelado y la implementación del almacén de datos, donde se utilizó la metodología CRISP-DM en sus primeras 4 etapas.

Etapas 1; comprensión del negocio, se realizó una evaluación de los recursos de LANIA, en dicha evaluación se determinaron las fuentes de información con las que se cuenta, con el propósito de saber de dónde se podría obtener la información de los alumnos, también se identificó si son fuentes internas o externas y por último si las fuentes se encontraban de manera On-line u Off-line. A continuación se muestran las fuentes de información que tiene LANIA.

- SICEES - On-line / Externo: Es un sistema de la secretaría de educación para uso de control escolar en donde se realizan inscripciones/reinscripciones también se gestiona los planes de estudios, entre otras cosas.
- SISBEC - On-line / Externo: Es un sistema de la secretaría de educación del estado de Veracruz para instituciones particulares donde pueden postular a los alumnos para becas particulares.
- Moodle - On-line / Interno: Es el sistema que se encarga de gestionar las actividades del alumno como son las tareas.
- CONACyT - On-line / Externo: Es el sistema donde se sube un reporte general del alumno de lo que realizó durante el periodo escolar.
- Vfront - Off-line / Interno
- SIPAL - On-line / Interno: Es el sistema encargado de gestionar los pagos de colegiatura e inscripción del alumno durante su trayectoria académica.
- SharePoint - On-line / Interno
- Documentos de Excel - Off-line / Interno

Etapas 2; comprensión de los datos; se dividieron en dos conjuntos las variables que se muestran en la Tabla 6; el primer conjunto hace referencia a las variables, con las que cuentan LANIA que es un total de veinticinco variables incluyendo una variable para identificar al alumno que es el **Nombre** y son las primeras veinticinco variables y el segundo conjunto de datos son con las que no cuenta actualmente LANIA que es un total de veintitrés variables las cuales empiezan en la veintiséis. En esta fase también se identificaron variables con diferentes formatos uno de ellos fue el sexo que se encontró como (H y M) y (Masculino y Femenino), también se encontraron datos nulos; las diferencias de formato en esta variable se deben a que la información revisada viene de dos departamentos diferentes y los datos nulos se debe a que los alumnos no llenan el formulario de inscripción o reinscripción completo.

Variables		
1. Materias cursadas.	17. Dirección.	33. Endeudamiento.
2. Materias aprobadas.	18. Fecha de nacimiento.	34. Familia disfuncional.
3. Promedio general actual.	19. Nombre completo.	35. Examen aprobado.
4. Materias reprobadas.	20. Nacionalidad.	36. Promedio de admisión.
5. Tipo de colegio previo.	21. Sexo.	37. Integración estudiantil.
6. Promedio académico anterior.	22. Edad.	38. Trabajo en equipo.
7. Acompañamiento estudiantil.	23. Apoyo económico.	39. Dificultad con la plataforma de apoyo.
8. Compromiso con el programa.	24. Estatus.	40. Tiene hijo.
9. Grado académico actual.	25. Periodo.	41. Dependientes económicos.

10. Hora semanal en la escuela.	26. Factor económico.	42. Cuenta con casa propia.
---------------------------------	-----------------------	-----------------------------

11. Estado de procedencia.	27. Expectativas personales.	43. Vive con sus padres.
12. Estado civil.	28. Acontecimiento.	44. Tipo de residencia.
13. Programa.	29. Problemas psicológicos.	45. Problema laboral.
14. Generación	30. Problemas de salud.	46. Educación del padre.
15. Fecha fin del periodo.	31. Situación laboral.	47. Educación de la madre.
16. Motivo de deserción.	32. Hora semanal al trabajo.	48. Situación personal.

Tabla 6. Variables consideradas para la construcción del almacén de datos.

A continuación, se describen algunas variables que su función no es sencilla de interpretar de la tabla anterior.

Materia cursada: almacena el número de materias cursadas por el alumno.

Materia aprobada: almacena el número de materias que aprobó durante el trimestre o cuatrimestre.

Materias reprobadas: almacena el número de materias que reprobó durante el trimestre o cuatrimestre.

Tipo de colegio previo: almacena si el colegio previo era privada o pública.

Periodo: almacena el número de trimestre o cuatrimestre que se encuentra el alumno.

Fecha fin del periodo: almacena la fecha en que termina el trimestre o cuatrimestre según el calendario escolar.

Factor económico: almacena un número, el cual se obtiene entre la división de ingreso del alumno y los gastos de este.

Acontecimiento: almacena si el alumno recientemente está pasando por una pérdida familiar o si tiene un familiar enfermo.

Endeudamiento: almacena si el alumno tiene deudas externas a LANIA.

Examen aprobado: almacena el total de exámenes que el alumno aprobó.

Tipo de residencia: almacena si el lugar donde vive es prestada, rentada o propia.

En la preparación de los datos que es la Etapa 3; se seleccionaron las variables con las que se trabajó las cuales son veintiséis; dichas variables se pueden observar en la Tabla 6, ya que son las primeras veinticinco variables y se agregó una nueva variable que no se encuentra en la tabla anterior que es la Matrícula del alumno. La preparación de los datos de estas variables se llevó a cabo en archivos de Excel, ya que las fuentes de información primarias fueron otros archivos de Excel y documentos en físico de los alumnos como por ejemplo actas de nacimiento y certificado de licenciatura.

En la Etapa 4; para el modelado del almacén de datos se utilizó el esquema copo de nieve, porque tiene la ventaja de representar las dimensiones de manera normalizadas (Tamayo & Moreno, 2006); el cual permite a partir de un esquema en estrella expandir la jerarquía de cada dimensión del almacén de datos (Hernández del Razo, 2009). En la Figura 2, se muestra el diseño que se realizó para el almacén, en ella se puede observar la tabla central o la tabla de hecho, sus seis dimensiones principales y por último una dimensión secundaria que es una dimensión normalizada, de la dimensión *dPersonales*.

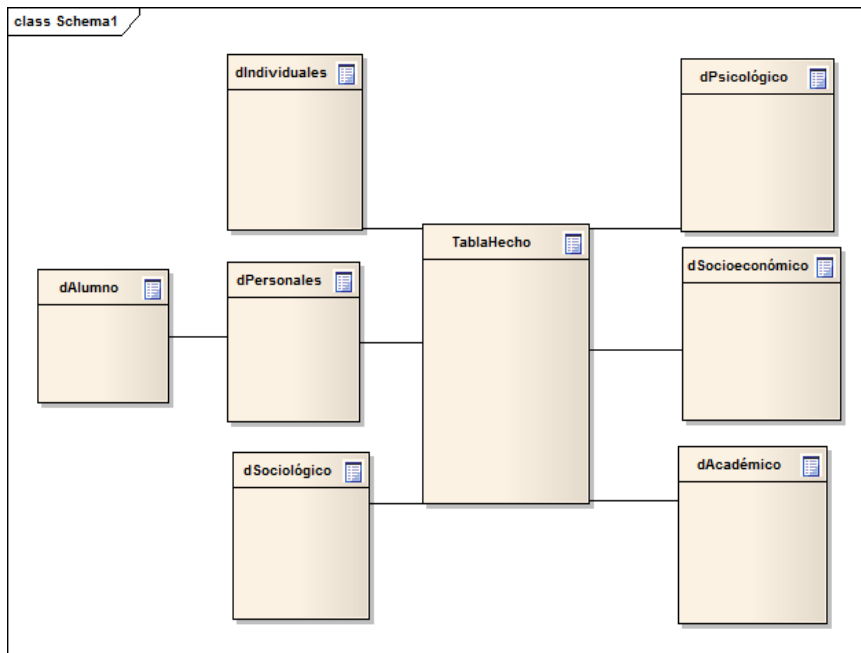


Figura 2. Modelo del almacén de datos.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez que se obtuvo el diseño, se creó el script correspondiente del almacén de datos utilizando PostgreSQL, ya que es un gestor de software libre y es multiplataforma (Camps et al., 2005).

3.3 Proceso ETL.

Una vez creado el almacén de datos, se dio por concluida la aplicación de la metodología CRISP-DM y se prosiguió con la Fase 4 de la metodología general; que es el proceso ETL el cual es el encargado de extraer los datos de las fuentes de información originales, transformándola y por último realizar la carga al almacén de datos (Matamala et al., 2011); dicho proceso se realizó en la herramienta llamada Kettle que es una herramienta de la suite de Pentaho que ofrece análisis de negocios (Sekar, 2017).

En el proceso de Extracción, fue uno de los procesos que más tiempo se le invirtió debido a que se prepararon los archivos en Excel para realizar la carga masiva de información al almacén de datos, los datos que se cargaron se tuvieron que capturar en Excel debido a que las fuentes de información originales se encontraban de manera física, es decir, en papel, por ejemplos: acta de nacimiento, copia del INE, copia de la CURP, formato de inscripción o reinscripción, entre otros, pero también se contó con archivos de Excel para obtener datos. Una vez concluido el preparado de los archivos se procedió a configurar la extracción de los datos en la herramienta de Kettle, como se muestra en la Figura 3.

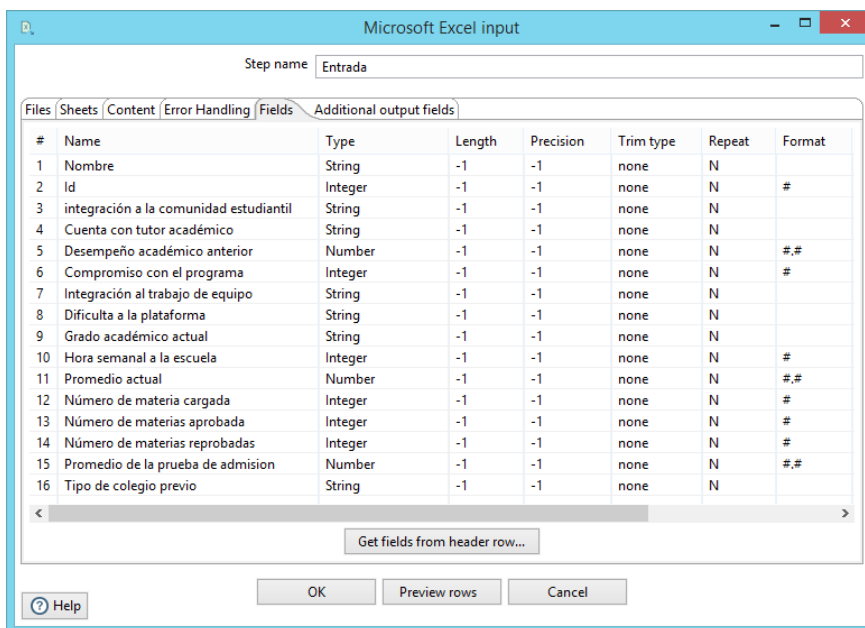


Figura 3. Configuración de la extracción de los datos.

Fuente: Elaboración propia.

Para el proceso de Transformación, se realizó dos tipos de transformaciones las cuales fueron: 1, reducción de cadena de la variable fecha_nacimiento y la variable fecha_fin_periodo, ya que se extrajo como tipo date, pero se necesitó guardar como tipo cadena, por ejemplo, dd/MM/yyyy:HH:MI:SS→dd/MM/yyyy; y 2, fue convertir los datos de tipo cadena a mayúsculas, ya que había datos con minúscula y mayúscula por los diferentes departamentos de donde se obtuvieron dichos datos, por ejemplo, Omar→OMAR; en la Figura 4 se muestra el proceso de la segunda transformación.

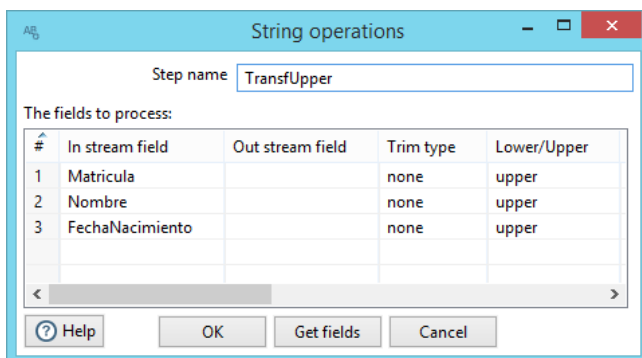


Figura 4. Transformación de cadena a mayúscula.

Fuente: Elaboración propia.

El último proceso en llevarse a cabo fue la carga de los datos al almacén de datos, la carga se realizó al motor de bases de datos de PostgreSQL, se configuró la herramienta de Kettle para realizar el proceso, donde se creó una conexión a la base de datos como se muestra en la Figura 5.

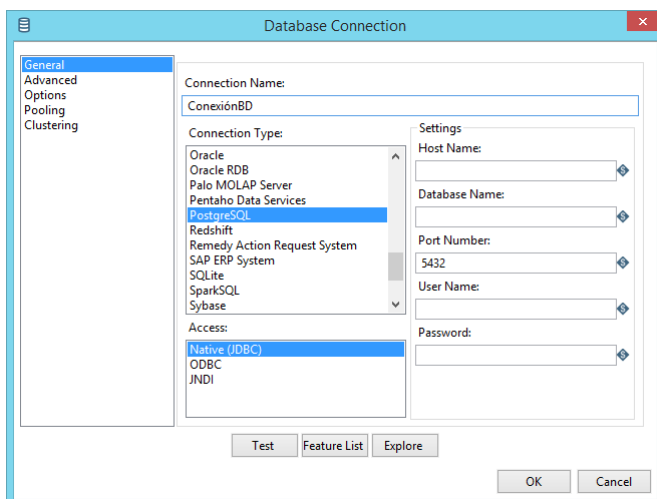


Figura 5. Creación de la conexión a PostgreSQL.

Fuente: Elaboración propia.

Para finalizar el proceso fue preciso mapear las variables que se estaban mandando con las variables contenidas en la base de datos como se muestra en la Figura 6, esto con el objetivo de que no hubiera errores al momento de ejecutar la carga y que los datos se guardaran en los campos correspondientes.

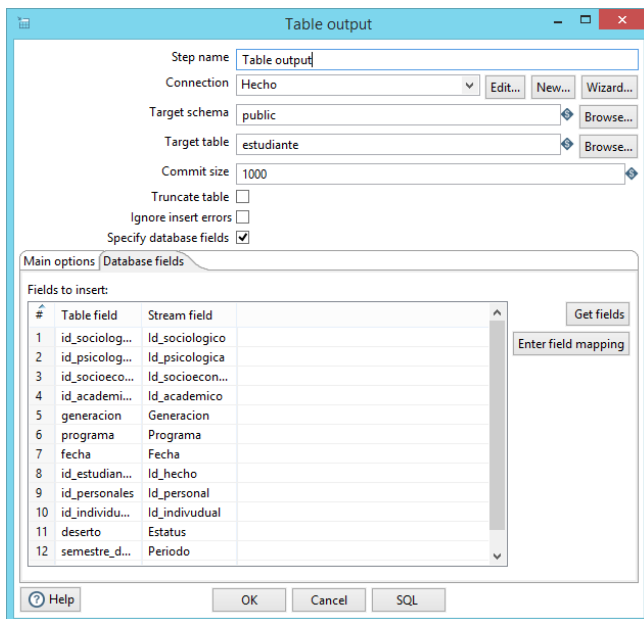


Figura 6. Mapeo de las variables.

Fuente: Elaboración propia.

3.4 Validación de los datos.

En la fase 5 se llevó a cabo una validación de la información que se cargó al almacén de datos, con la finalidad de comprobar que la información que se encontraba en el departamento de control escolar coincidiera con la información contenida en el almacén de datos. Para esta validación se realizaron dos pruebas, en la primera prueba se tomó el número de alumnos que existen por generaciones y por maestrías de control escolar y se comparó con la información que existen en el almacén de datos, los resultados de esta prueba se pueden observar en la Tabla 7, donde se puede apreciar que la generación 2010 para la maestría MRySI no coincide el número de datos, eso se debió a que un alumno realizó un cambio de la especialidad de redes a la MRySI.

Generación	Control escolar	Almacén de datos	Maestría
2010	11	12	MRySI
2011	9	9	MCA
2012	17	17	MRySI
2013	21	21	MCA
2014	19	19	MRySI
2015	17	17	MCA
2016	9	9	MRySI
2017	20	20	MCA

Tabla 7. Validación de números de alumnos.

La segunda prueba consistió en tomar una muestra de la población, ya que es rápido en obtener los resultados (Ciro, 2016), el tamaño de la muestra fue tomar cincuenta y cuatro fechas de nacimiento totalmente al azar para realizar la comparación de los datos, donde el tamaño de la muestra salió aplicando la siguiente fórmula (Caparó, 2017):

(1)

$$\text{Tamaño muestral} = \frac{Z^2 * P(1 - P) * N}{Z^2 * P * (1 - P) + E^2 * (N - 1)}$$

Donde:

N = tamaño de la población total.

E = margen de error.

Z = puntuación de la desviación estándar en porcentaje.

P = probabilidad de que suceda el fenómeno.

6

Valores de las variables:

N = 250

E = 10% = 0.1

Z = 1.65

P = 0.5

De las cincuenta y cuatro fechas de nacimiento que se compararon, dos de las fechas no coinciden con los datos de control escolar, variaron por un día. Se cree que eso se debe que al principio de la extracción la fecha de nacimiento se extrajo en formato POSIX y a momento de realizar la conversión al formato fecha la conversión no fue exacta.

4 Resultados.

Una vez finalizado el proceso ETL, se tiene un almacén de datos, donde cada dimensión principal y la tabla de hecho cuenta con un total de 1,114 registros y la dimensión secundaria cuenta con un total de 250 registros los cuales están comprendidos del año 2010 hasta el 2017. También se cuenta con una implementación desarrollada con el framework Yii 2.0, con el fin de visualizar la información que se encuentra en el almacén de datos. Se utilizó esta herramienta porque genera una estructura básica del código fuente lo que ahorra tiempo a la hora de programar (Enríquez, 2019). En la Figura 7 se muestra parte de la información que se encuentra en la tabla de hecho, se puede observar celdas con la leyenda (not set) eso se debe a que al momento de buscar la información en las fuentes primarias, no se encontraron datos por lo que se decidió dejarlo vacío.

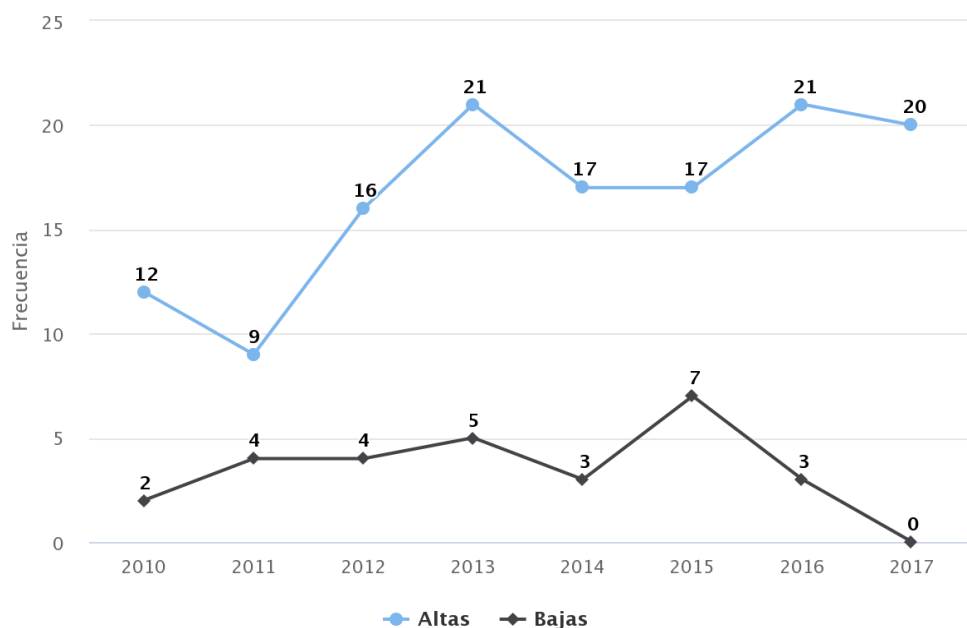
Alumnos Personales Individuales Académico Psicológicas Sociológicas Socioeconómicas Estudiantes Gráficas														
Estado	Nacionalidad	Estado Civil	Edad	Sexo	Beca	Promedio Licenciatura	Grado Actual	Promedio Actual	Tipo De Escuela	Generacion	Deserto	Semestre Deserto	Programa	Fecha
VERACRUZ	MEXICANA	SOLTERO	28	MASCULINO	NO	9.0	LICENCIATURA	6.3	PÚBLICA	2013	IRREGULAR	8	MRYSI	15/08/2015
VERACRUZ	MEXICANA	SOLTERO	27	MASCULINO	NO	9.8	LICENCIATURA	9.5	PÚBLICA	2013	EGRESADO	8	MRYSI	15/08/2015
VERACRUZ	MEXICANA	CASADO	39	MASCULINO	NO	9.0	LICENCIATURA	6.8	PÚBLICA	2013	IRREGULAR	8	MRYSI	15/08/2015
VERACRUZ	MEXICANA	SOLTERO	35	MASCULINO	NO	9.7	LICENCIATURA	9.5	PÚBLICA	2013	EGRESADO	8	MRYSI	15/08/2015
VERACRUZ	MEXICANA	SOLTERO	36	FEMENINO	NO	9.2	LICENCIATURA	9.6	PÚBLICA	2013	EGRESADO	8	MRYSI	15/08/2015
VERACRUZ	MEXICANA	CASADO	28	FEMENINO	NO	9.0	LICENCIATURA	9.6	PÚBLICA	2013	EGRESADO	8	MRYSI	21/11/2005
VERACRUZ	MEXICANA	SOLTERO	(not set)	MASCULINO	NO	8.7	LICENCIATURA	6.7	PÚBLICA	2013	IRREGULAR	8	MRYSI	21/11/2005
CHIAPAS	MEXICANA	SOLTERO	25	MASCULINO	(not set)	8.8	LICENCIATURA	9.3	PÚBLICA	2012	REGULAR	2	MCA	26/04/2013
VERACRUZ	MEXICANA	SOLTERO	24	FEMENINO	(not set)	8.1	LICENCIATURA	8.3	PÚBLICA	2012	REGULAR	2	MCA	26/04/2013
VERACRUZ	MEXICANA	SOLTERO	23	MASCULINO	(not set)	9.2	LICENCIATURA	9.1	PÚBLICA	2012	REGULAR	2	MCA	26/04/2013
VERACRUZ	MEXICANA	SOLTERO	25	MASCULINO	SI	8.5	LICENCIATURA	8.1	PÚBLICA	2013	REGULAR	2	MCA	25/04/2014
VERACRUZ	MEXICANA	SOLTERO	(not set)	FEMENINO	NO	9.2	LICENCIATURA	9.7	PRIVADA	2013	EGRESADO	8	MRYSI	21/11/2005
VERACRUZ	MEXICANA	CASADO	42	MASCULINO	NO	9.2	LICENCIATURA	9.7	PÚBLICA	2014	EGRESADO	8	MRYSI	

Figura 7. Vista de la tabla de hecho con Yii 2.0.

Fuente: Elaboración propia.

Por último, se realizó estadística descriptiva el cual permitió visualizar la información del almacén de datos de manera de gráficos donde se utilizó la herramienta de Highcharts, ya que tiene una gran cantidad de gráficos, tiene una velocidad de respuesta muy rápida y por último se le puede agregar contenido JavaScript (Wang & Wang, 2015).

Una de las gráficas realizada fue para observar la comparación de los alumnos que se dieron de alta en las diferentes generaciones y el número de alumnos que se dieron de baja de su respectiva generación. En la Figura 8 se puede observar la gráfica que le corresponde a la MCA donde se puede ver que en la generación 2015 fue la generación con un mayor número de alumno dado de baja, también se puede observar un total de 28 alumnos que se dieron de baja, lo que representa un 21.53% de las 8 generaciones.



Highcharts.com

Figura 8. Altas y bajas de la MCA.
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 9 se muestra la gráfica que le corresponde a la MRySI donde se observa que la generación 2014 tiene el mayor número de alumno dado de baja, también se puede observar un total de 46 alumnos que se dieron de baja lo que representa el 39.65% de las 8 generaciones.

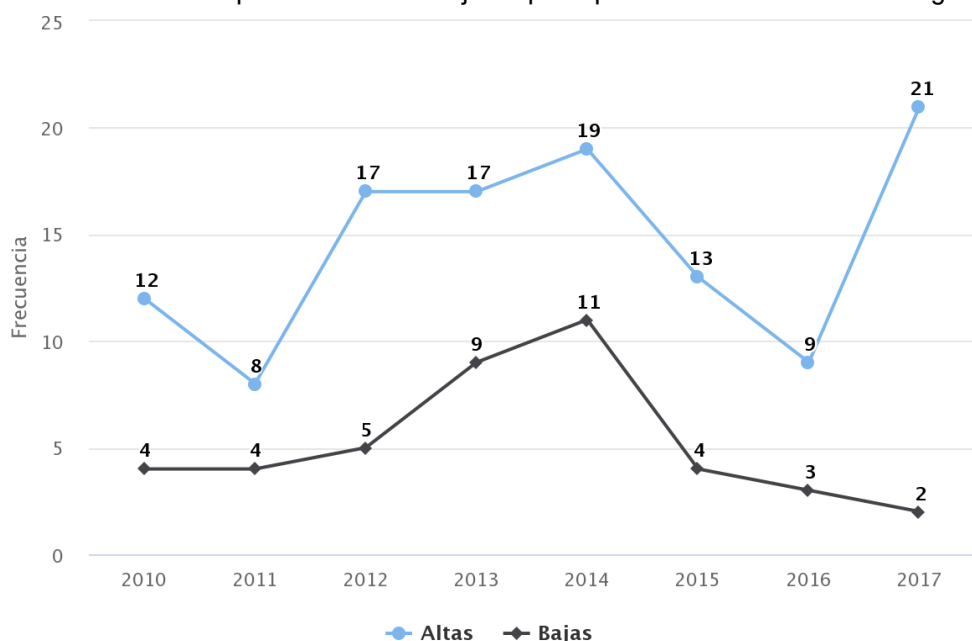


Figura 9. Altas y bajas de la MRySI.
Fuente: Elaboración propia.

Para las gráficas anteriores la línea azul representa el número de alumnos que se dieron de alta y la línea negra representa el número de alumnos que se dieron de baja, el eje de la X representa la generación; por ejemplo, el 2010 hace referencia a la Generación 2010, es decir, los alumnos que ingresaron en ese año o en su caso los alumnos que se dieron de baja.

En la Figura 10 se muestra una gráfica de caja y bigote, donde se puede observar la distribución de los datos de las bajas con referencia a la mediana, también se puede observar que la MRySI ha tenido un mayor número de deserción en una de sus generaciones eso se observa a través de su bigote máximo, para ambas maestrías la mediana es igual, ya que en ambas maestrías el número de baja en una generación fue cuatro y eso se puede observar a través de la línea que divide la caja y por último también para ambas maestrías el número mínimo de deserción por generación es dos y se puede observar en el bigote mínimo. Para la elaboración de la gráfica de la MCA no se incluyó la generación 2017.

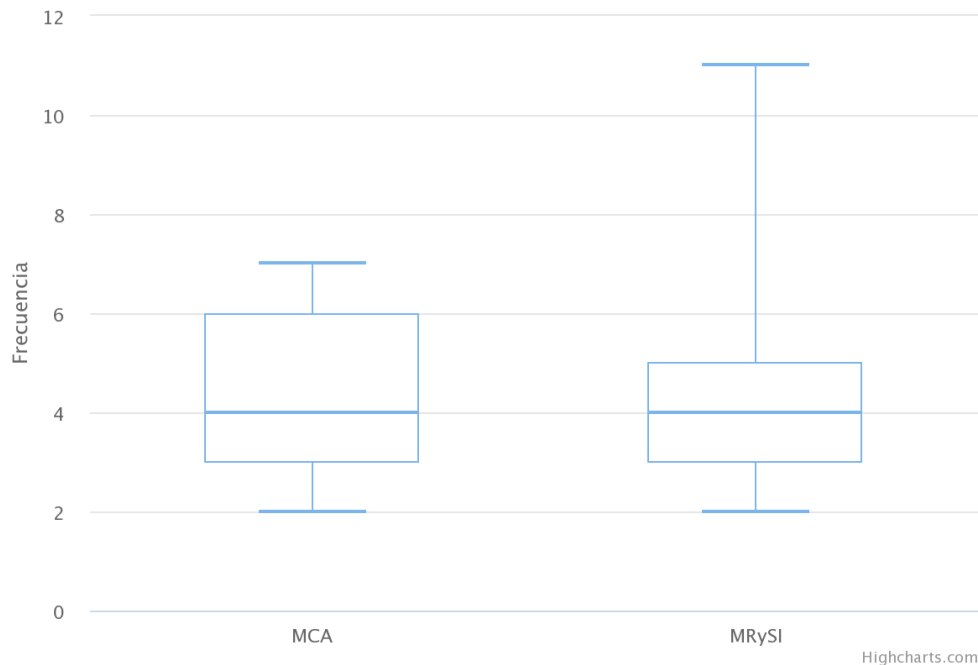


Figura 10. Distribución de baja de las maestrías.
Fuente: Elaboración propia.

También se realizaron gráficas de intervalos que muestran las edades de los alumnos al momento de solicitar la baja de las diferentes maestrías, en la Figura 11 se muestra la gráfica correspondiente a la MCA donde se observa que los alumnos entre 23 a 25 años son los que más solicitan su baja y representa el 57.14% del total de los alumnos que ha desertado. En la Figura 12 la gráfica correspondiente a la MRySI donde se observa que los alumnos entre 27 a 31 años son los que más solicitan su baja y representa el 40.47% del total de los alumnos que ha desertado. Existen reglas empíricas que se utilizan para calcular el número de intervalos o clases, la más empleada es la regla de Sturges (Pereyra, 2021). La regla de Sturges (k) es:

(2)

$$K = 1 + 3.3220 * \log(N)$$

Donde:

N = total de frecuencia

K = número de clases

Log N= logaritmo decimal o base 10 de N

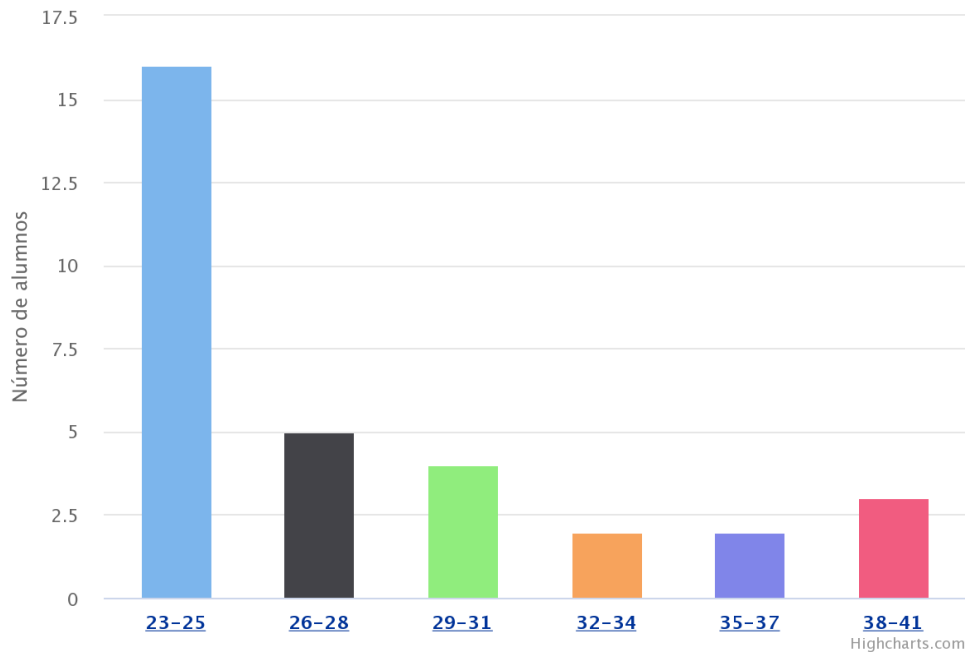


Figura 11. Edad de los alumnos al momento de desertar de la MCA.
Fuente: Elaboración propia.

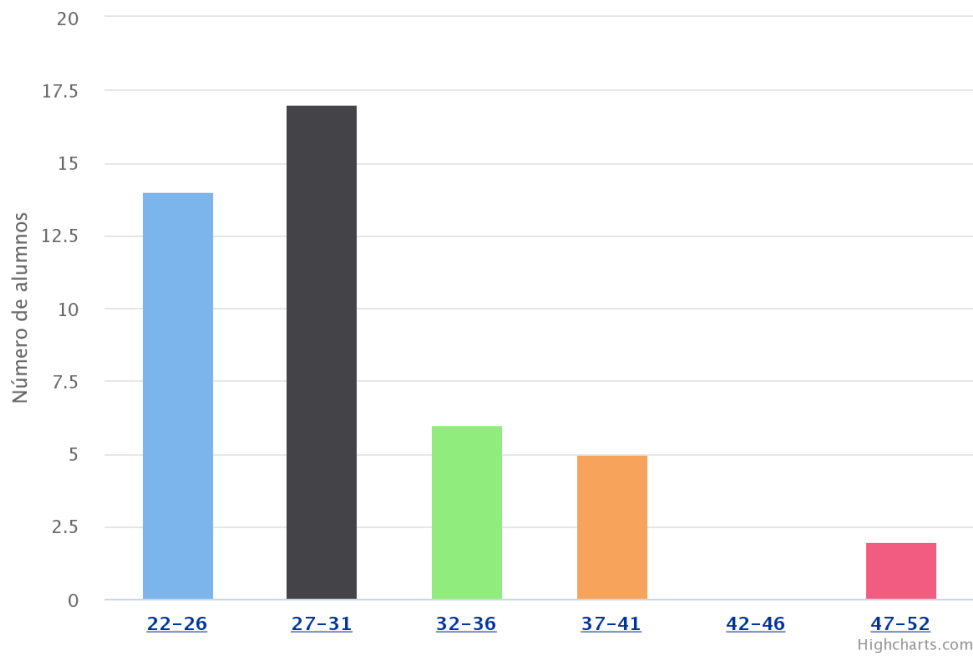


Figura 12. Edad de los alumnos al momento de desertar de la MRySI.
Fuente: Elaboración propia.

5 Conclusiones.

El problema de la deserción académica, como se puede evidenciar en el presente trabajo, no es solo una problemática propia de México, si no que podemos encontrarlo en otros países, quienes ya se encuentran trabajando en el tema a fin de frenar la deserción académica en los diferentes niveles educativos con ayuda de las herramientas tecnológicas. Son muchos los factores que lleva a que el alumno tome la decisión de desertar del programa académico y uno de los factores detectados en el presente trabajo y del que es, el más reiterativo, versa sobre la situación económica del alumno

Haciendo uso de las herramientas tecnológicas, se desarrolló un almacén de datos optando por el modelado copo de nieve, se decidió hacer uso de este modelo porque permite la normalización de dimensiones. Al final se obtuvo un almacén de datos con una tabla de hecho, seis dimensiones primarias y una dimensión secundaria que salió de la normalización de una dimensión primaria. Con la implementación del almacén de datos se propone tener las pautas a la hora de tomar decisiones con ayuda de la creación de reportes gráficos, para visualizar el progreso de los alumnos, también se tiene una base sólida con información histórica para la creación de un sistema de predicción de deserción académica dentro del Centro de Enseñanza LANIA.

Por otro lado, se realizó estadística descriptiva con la información que contiene el almacén de datos donde se tuvo como resultado diferentes reportes gráficos, como reporte de frecuencia que muestra las edades de los alumnos al momento de desertar de las maestrías, otro de los reportes fue saber la distribución de las bajas respecto a la mediana en las generaciones, teniendo como resultado una mediana de cuatro bajas en una de sus generaciones para ambas maestrías.

La carga del almacén de datos se llevó a cabo gracias al proceso ETL, ya que permitió realizar carga masiva, pero también fue la actividad donde se invirtió más tiempo en el proyecto al momento de extraer los datos ya que se tuvieron que construir los archivos con los datos a extraer.

Por último, el optar por una metodología como es CRISP-MD en la construcción de este proyecto proporcionó mucha ayuda para llevar el control de las actividades ya que facilitó la planificación durante todo el proyecto y tener un proyecto estandarizado, de tal manera que facilita llevar a cabo las últimas dos fases que no se utilizaron qué es la Evaluación y el Despliegue por otra persona.

Referencias.

- Agudelo, N. E. M. and Angulo, P. J. R. (2015). Motivos de deserción estudiantil en programas virtuales de posgrado: revisión de caso y consideraciones desde el mercadeo educativo y el mercadeo relacional para los programas de retención. *Revista de Educación a Distancia*, (45).
- Ander-Egg, E. (1980). *Técnicas de investigación social* (Vol. 14). Buenos Aires: El Cid Editor.
- Azoumana, K. (2013). Analysis of student desertion at Universidad Simon Bolívar, faculty of systems engineering, with data mining techniques. *REVISTA PENSAMIENTO AMERICANO*, 6(10):41-51.
- Barrientos, Z. and Umaña, R. (2010). Deserción estudiantil en posgrados semi-presenciales de la universidad estatal a distancia (UNED), costa rica: ¿deserción o retraso? *UNED Research Journal/Cuadernos de Investigación UNED*, 1(2).
- Camps, R., Casillas, L., Costal, D., Gibert, M., Martín, C., & Pérez, O. (2005). Bases de datos. *España. Editorial Eureka Media SL*.
- Carrillo, J. A. B., Villalobos, R. S., Madera, C. G. A., and Ramos, A. (2016). Estimación de porosidad en areniscas a partir de micrografía digitales utilizando r-studio.
- Caparó, E. V. (2017). El tamaño muestral para la tesis. ¿cuántas personas debo encuestar?. *Odontología Activa Revista Científica*, 2(1), 59-62.
- Cerón, M. C. and Cerâon, M. C. (2006). Metodología de la investigación social. LOM ediciones.
- Chapman, P., Clinton, J., Kerber, R., Khabaza, T., Reinartz, T., Shearer, C., and Wirth, R. (2000). *Crisp-dm 1.0 step-by-step data mining guide*.
- Ciro, M. B. (2016). *Estadística básica aplicada*. Ecoe Ediciones.
- Eckert, K. B. and Suénaga, R. (2015). Análisis de deserción-permanencia de estudiantes universitarios utilizando técnica de clasificación en minería de datos. *Formación universitaria*, 8(5):03-12.
- Enríquez Tarapues, L. G. (2018). *Sistema web utilizando framework Yii 2.0 para la evaluación de desempeño docente en la unidad educativa "La Paz"* (Bachelor's thesis).
- Espino Timón, C. (2017). Análisis predictivo: Técnicas y modelos utilizados y aplicaciones del mismo-herramientas open source que permiten su uso.
- Galán Cortina, V. (2016). Aplicación de la metodología crisp-dm a un proyecto de minería de datos en el entorno universitario. B.S. thesis.
- Galindo, A. and García, H. (2010). Minería de datos en la educación. Universidad Carlos III, pages 1-8.
- Hernández del Razo, J. A. (2009). Optimización de la ejecución de escenarios ETL para almacén de datos. M.S. thesis, LANIA.
- Matamala, C. Z., Díaz, D. R., Cuello, K. C., and Leiva, G. A. (2011). Análisis de rendimiento académico estudiantil usando almacén de datos y redes neuronales/analysis of students' academic performance using almacén de datos and neural networks. *Ingeniare: Revista Chilena de Ingeniería*, 19(3):369.
- Moreno Serrano, A. K. (2017). A2: MP prototipo del módulo de predicción del asesor de asesores.

M.S. thesis, LANIA.

Parra, O. J. S., Galeano, R. M., and Rodríguez, L. G. (2010). Metodología crisp para la implementación almacén de datos. *Tecnura*, 14(26):35-48.

Pereira, R. T., Romero, A. C., and Toledo, J. J. (2013). Descubrimiento de perfiles de deserción estudiantil con técnicas de minería de datos. *Revista vínculos*, 10(1):373-383.

Pereira, R. T. and Toledo, J. J. (2014). Detección de patrones de deserción estudiantil en programas de pregrado de instituciones de educación superior con crisp-dm. *Congreso Iberoamericano de Ciencia, Tecnología, Innovación y Educación*.

Pereyra, L. E. (Ed.). (2021). *Probabilidad y estadística*. Klik.

Romo, O. K. H., Mora, R. P., and Estévez, G. G. (2015). La deserción en los posgrados, un problema no menor. *Diálogos sobre educación*, (8).

Sekar, V. (2017). *Restructuring the Internals of kettle/Pentaho platform* (Doctoral dissertation).

Tamayo, M. and Moreno, F. J. (2006). Comparing the molap the rolap storage models. *Ingeniería e Investigación*, 26(3):135-142.

Wang, Y., & Wang, J. (2015, April). Application of Highcharts in the Analysis of the Multi-source Track Inspection Data. In *2015 International Conference on Mechatronics, Electronic, Industrial and Control Engineering (MEIC-15)*. Atlantis Press.



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons
Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 2.5 México.

Biomarcadores identificados mediante estudios de EEG para la descripción objetiva del padecimiento de acúfeno, revisión del estado del arte

Biomarkers identified by EEG studies for the objective description of tinnitus, a review of the state of the art

Andrés Álvarez Terríquez¹
andres.alvarez@alumnos.udg.mx *

Ricardo A. Salido Ruiz¹
ricardo.salido@academicos.udg.mx

David Isaac Ibarra Zárate²
david.ibarra@tec.mx

¹División de Tecnologías para la Integración Ciber-Humana, Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jalisco, México.

²Tecnológico de Monterrey, Escuela de Ingeniería y Ciencias, Monterrey, Nuevo León, México.

Resumen: El acúfeno es un padecimiento descrito como la percepción de un sonido, similar al emitido por un campana, zumbido o silbido, en ausencia de una fuente acústica que lo genere. Los principales métodos utilizados para evaluar esta condición son cuestionarios, escalas visuales análogas o pruebas de audiometría de tono puro, sin embargo, estas no son del todo confiables al obtener resultados que dependen de lo expresado por los pacientes con esta condición. El presente trabajo tiene como objetivo la revisión de diferentes fuentes de información en la búsqueda de trabajos que reporten la identificación de biomarcadores, es decir una medida objetiva a partir de datos de electroencefalografía (EEG) en el estudio del padecimiento de acúfeno. Con base en lo encontrado, se observó que existen una variedad de trabajos que reportan mediante diferentes metodologías una o varias características asociadas al padecimiento de acúfeno; sin embargo, un aspecto que se identificó fue que hoy en día no se han realizado las evaluaciones pertinentes para determinar si una característica pudiera ser considerada un biomarcador, es decir que ésta pueda describir de manera objetiva, precisa y reproducible el padecimiento de acúfeno, lo cual es importante considerar para la propuesta y desarrollo de futuros trabajos.

Palabras clave: Acúfeno, Biomarcadores, EEG.

Abstract: Tinnitus is a condition described as the perception of a sound, similar to that emitted by a bell, buzzing or whistling, in the absence of an acoustic source that generates it. The main methods used to evaluate this condition are questionnaires, visual analogue scales or pure tone audiometry tests; however, these are not completely reliable because the results depend on what is expressed by patients with this condition. The objective of this work is to review different sources of information in the search for works that report the identification of biomarkers, in other words an objective measurement based on electroencephalography (EEG) data in the study of tinnitus. Based on what was found, it was observed that there are a variety of works that report, through different methodologies, one or several features associated with the tinnitus; however, an aspect identified was that the pertinent evaluations have not been made to determine if a feature can be considered a biomarker, which can objectively, precisely and reproducibly describe the tinnitus condition, which is important to consider for the proposal and development of future works.

Keywords: Tinnitus, Biomarkers, EEG.

1. Introducción

El acúfeno es un padecimiento definido como la percepción de un sonido en ausencia de una fuente acústica que lo esté generando (Henry et al., 2008; Sedley et al., 2016; Alonso-Valerdi et al., 2017). Aproximadamente entre el 5 al 17% de la población adulta en el mundo experimenta en algún grado este padecimiento, de los cuales el 1% han sido diagnosticados con un caso severo (Espinosa-Sánchez et al., 2014; Curet & Roitman, 2016). El tono y la intensidad del sonido percibido puede variar entre sujetos, siendo en ocasiones descrito como un sonido similar al emitido por una campana, zumbido o silbido; y este a su vez puede ser percibido de manera unilateral o bilateral. Existe una variedad de razones por las que un individuo puede desarrollar este padecimiento, siendo entre las causas la exposición a ruido intenso, problemas neurovasculares, lesiones en la cóclea, pérdida súbita de la audición, el envejecimiento, factores emocionales y angustia (Eggermont & Roberts, 2012; Langguth et al., 2013; Alonso-Valerdi et al., 2017); así como una posible secuela de la enfermedad de COVID-19 (Chirakkal et al., 2020).

Hasta el día de hoy no se cuenta con una cura para eliminar la percepción de este sonido debido al acúfeno; sin embargo, actualmente se dispone de diferentes tratamientos que buscan ayudar a un individuo con este padecimiento mediante la reducción de la intensidad del sonido percibido, o bien a habituar a los individuos para que puedan realizar sus actividades sin ningún problema. De entre los tratamientos que llevan a cabo estos objetivos destacan el uso de terapias acústicas (Searchfield et al., 2017). Con el fin de conocer la condición de un individuo con acúfeno, muchos especialistas utilizan cuestionarios (Inventario de discapacidades por acúfenos), escalas visuales análogas (EVA) o pruebas de audiometría de tono puro como herramientas de evaluación (Searchfield et al., 2017; Nascimento et al., 2018); sin embargo, los resultados obtenidos a través de estos métodos son considerados subjetivos al depender de lo expresado por los individuos, lo cual es un factor muy importante a considerar, ya que de ello depende el tratamiento a utilizar para tratar la condición de acúfeno de un individuo y en ocasiones pueden ser poco confiables (Alonso-Valerdi et al., 2017).

Debido a esta problemática, una gran cantidad de investigadores han realizado grandes esfuerzos en la búsqueda de una medida objetiva que permita brindar una descripción adecuada de la condición de acúfeno de un individuo. Un ejemplo de ello es la búsqueda de biomarcadores, los cuales son una medida objetiva que describen de manera precisa y reproducible el estado de salud de un individuo (Biomarkers Definitions Working Group, 2001; Strimbu & Tavel, 2010).

Con base en lo anterior, el presente trabajo tiene como objetivo la búsqueda y recopilación de trabajos que reporten alguna medida objetiva o biomarcador asociado al padecimiento de acúfeno, enfocando nuestra búsqueda en trabajos que hayan hecho uso de la herramienta de electroencefalografía (EEG). La razón de dirigir la búsqueda a trabajos que utilizaron la EEG es debido a que es una de las herramientas que brinda una gran resolución temporal en el estudio del comportamiento de la corteza cerebral, y por ello identificar comportamientos asociados a una tarea, enfermedades o padecimientos, como lo es el acúfeno.

2. Metodología

Para llevar a cabo la investigación e identificación de trabajos que reportan características asociadas al padecimiento de acúfeno, se definió una serie de criterios que permitieron realizar una búsqueda adecuada de trabajos de potencial interés.

La búsqueda de información se llevó a cabo mediante la consulta de diferentes repositorios de artículos científicos que abordan temas asociados al campo de la medicina y/o ingeniería, como lo son PubMed, Elsevier Science, Frontiers y IEEE Xplore. Dentro de estos repositorios se definió una serie de palabras clave para la búsqueda de trabajos de interés y revisar a profundidad. Las palabras clave fueron Acúfeno, Biomarcadores y Electroencefalografía (EEG).

Los trabajos identificados mediante la búsqueda definida fueron revisados y evaluados para determinar si son de relevancia para el objetivo de este trabajo. Para ello, se definió una serie de criterios de selección que los trabajos deben de cumplir, los cuales son:

1. La fecha de publicación de los trabajos debe corresponder al periodo de tiempo de 2012 a 2022, y el idioma en el cual son escritos debe ser inglés o español.
2. Los trabajos deben mencionar los criterios de inclusión y exclusión en la selección de los participantes en su estudio, principalmente los correspondientes a la selección de sujetos que padecen acúfeno.
3. Los trabajos deben presentar de manera clara la metodología seguida para el desarrollo del trabajo (descripción de los materiales y métodos utilizados).
4. Los resultados obtenidos en cada trabajo deben corresponder con la metodología implementada, reportando principalmente características obtenidas que estén asociados a comportamientos de sujetos con acúfeno.
5. Los resultados son analizados y discutidos a detalle, además de reportar observaciones realizadas en el desarrollo de los trabajos.
6. La conclusión de los trabajos corresponde a los resultados reportados y discutidos.

Los trabajos que no cumplan estos criterios de selección no fueron considerados en el análisis de este trabajo.

3. Resultados

Con base a la búsqueda realizada, se identificaron 6 trabajos que utilizan la herramienta de electroencefalografía (EEG) y que reportan una o más características que les permitieron distinguir un grupo de sujetos con acúfeno de un grupo de sujetos control, o bien distinguir diferentes condiciones de este padecimiento. Cada uno de estos trabajos destaca en las metodologías implementadas para la identificación de las características reportadas (ver Tabla 1). En la figura 1 se presenta un diagrama donde se presenta de manera resumida los procesos realizados por los trabajos identificados, así como una descripción de las ventajas y desventajas de las pruebas y modelos implementados para llevar a cabo la identificación de características que puedan ser consideradas un biomarcador del padecimiento de acúfeno.

Uno de los trabajos identificados mediante la búsqueda definida fue el realizado por Asadpour et al. (2018), quienes mediante la descomposición de los registros de EEG en sus respectivos coeficientes Wavelet lograron identificar diferencias significativas ($p < 0.01$) entre un grupo de pacientes con acúfeno que presentó inhibición del sonido percibido por su padecimiento y un grupo de pacientes con esta misma condición que no presentó inhibición después de la aplicación de una terapia acústica. Mediante un análisis estadístico, la característica de media de los coeficientes wavelets pertenecientes a la banda delta en el canal FC3 permitió determinar esta diferencia significativa entre los dos grupos estudiados, observando valores más bajos en el grupo de pacientes con acúfeno que presentó inhibición.

De igual manera, Asadpour et al. (2018) desarrollaron un trabajo en el que mediante la aplicación de un estímulo auditivo a través del “paradigma oddball” a un grupo de pacientes con acúfeno y un grupo de sujetos control, se identificó que el potencial P300 en las regiones frontal (F7) y frontal-temporal (FT7 y FT8) tuvo una amplitud menor en el caso de sujetos con acúfeno al llevar a cabo una prueba estadística.

En el caso del trabajo realizado por Campbell et al. (2018), se implementó el paradigma de sonidos pareados para obtener características asociadas a diferentes potenciales evocados en un grupo de pacientes que presentan acúfeno y un grupo control, donde se identificó que la amplitud del potencial Pa (25-45 ms) no permitía diferenciar estadísticamente ambos grupos; sin embargo, se identificó que existía una correlación negativa moderada entre la amplitud de este potencial y los puntajes obtenidos mediante el cuestionario de Inventario de discapacidades por acúfenos.

En el trabajo realizado por Cai et al. (2019) se identificó a partir de un análisis de microestados en señales EEG, que el comportamiento de cobertura y duración asociados al mapa topográfico A (microestado) que exhibe una actividad en una orientación de la región frontal derecha a la región posterior de la corteza cerebral fueron mayores en un grupo de sujetos con acúfeno en comparación a un grupo de sujetos control; y a su vez, estas mismas características asociadas al microestado D que exhibe una actividad centrada en la región frontal-central fueron menores en el grupo de sujetos con acúfeno. Además, la característica de probabilidad de transición del microestado D al B (el cual exhibe mayor actividad en la región frontal izquierda y disminuye hacia la región posterior derecha) fue menor en el grupo de pacientes con acúfeno; mientras que duración promedio asociada al microestado C que exhibe una actividad en una orientación de la región anterior a la región posterior en sujetos con acúfeno correlacionó con la intensidad del acúfeno reportado por estos sujetos.

Por otro lado, Zhang et al. (2021) analizaron el comportamiento de sujetos con acúfeno antes y después de una terapia acústica de neuromodulación. Este análisis fue realizado mediante la aplicación de un estudio de coherencia y herramientas de la teoría de grafos. En este análisis se identificó que las características de coeficiente de agrupamiento, eficiencia local y eficiencia local mostraron valores más altos en los sujetos con acúfeno antes de la aplicación de la terapia acústica, mientras que la característica de distancia del camino característico de la red cerebral presentó valores menores.

Tabla 1. Estudios relevantes que reportan características asociadas al padecimiento de acúfeno.

Año	Autores	Análisis implementado	Característica
2018	Asadpour et al.	Análisis de Coeficientes Wavelet	Valor medio de los coeficientes wavelet asociados a la banda delta - Mayor valor en pacientes con acúfeno sin inhibición residual (FC3).
2018	Asadpour et al.	Análisis de Potenciales relacionados a eventos (PREs) (implementación de Paradigma Oddball)	Amplitud del potencial P300 - Amplitud reducida en el grupo de sujetos con acúfeno (FT7, FT8 y T7).
2018	Campbell et al.	Análisis de Potenciales relacionados a eventos (PREs) (implementación del paradigma de sonidos pareados)	Correlación negativa moderada entre la amplitud del potencial Pa (25 – 45ms) y puntajes obtenidos en el cuestionario de Inventario de discapacidades por acúfeno - Por parte del grupo de pacientes con acúfeno (región frontal) y sus correspondientes puntajes obtenidos en el cuestionario de Inventario de discapacidades por acúfeno.*
2019	Cai et al.	Análisis de Microestados en EEG	Cobertura y duración asociada a microestados - Microestado A: mayor en el grupo de pacientes con acúfeno. - Microestado D: menor en el grupo de pacientes con acúfeno. - Menor probabilidad de transición del microestado D al B en el grupo de pacientes con acúfeno. - Correlación positiva entre la duración del Microestado C e intensidad del acúfeno.*
2019	Mohagheghian et al.	Análisis de Coherencia e implementación del modelo de Máquina de soporte vectorial.	- El promedio de las características de coeficiente de agrupamiento de los nodos, eficiencia local y distancia del camino característico de la red mostraron ser estadísticamente mayores en el grupo de sujetos con acúfeno en comparación al grupo de sujetos control para las bandas alfa 2, beta 2 y beta 3; mientras que la fuerza de los nodos fue estadísticamente menor en el grupo de sujetos con acúfeno en estas bandas. - El promedio de las características de coeficiente de agrupamiento en las bandas delta, theta y alfa 1, la eficiencia local en las bandas theta y alfa 1, y la distancia del camino característico de la red en las bandas theta y beta 1 mostraron ser mayores en comparación con el grupo de sujetos con acúfeno, mientras que la fuerza de los nodos en las bandas delta, theta y beta 1 fue menor.

*Sugerido como posible biomarcador.

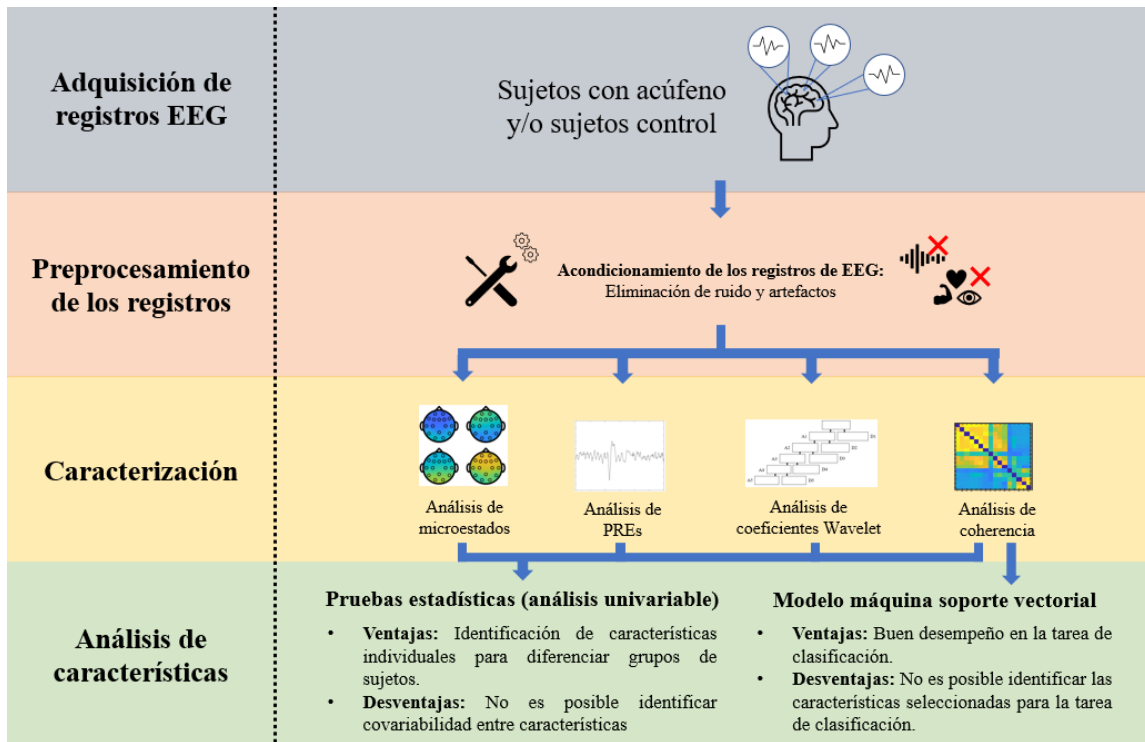


Figura 1. Metodologías implementadas por trabajos en la literatura para la identificación de una medida objetiva para la descripción del padecimiento de acúfeno.

Por último, en el caso del trabajo realizado por Mohagheghian et al. (2019), donde fue implementado un análisis de coherencia y la teoría de grafos al igual que el trabajo previo, se reportó que la característica de la fuerza en un grupo de sujetos con acúfeno fue menor al estudiar las bandas alfa2, beta2 y beta3 en comparación de un grupo de sujeto control. Por otro lado, este valor fue mayor en las bandas delta, theta y beta1. En el caso de los coeficientes de agrupamiento, éste fue mayor en las bandas alfa2, beta2 y beta3 en sujetos con acúfeno, mientras este valor fue menor en las bandas delta, theta y alfa1. La medida de eficiencia local del grupo este mismo grupo fue mayor en las bandas alfa2, beta2 y beta3, mientras que este valor menor en las bandas theta y alfa1. Además, el valor de la distancia del camino característico fue mayor en las bandas alfa2, beta2 y beta3, mientras que éste valor fue menor en las bandas theta y beta1. A su vez, en este trabajo se implementó el modelo de clasificación de máquina de soporte vectorial para identificar a sujetos con acúfeno y sujetos control al proporcionar al modelo la información correspondiente de las características fuerza de los nodos, coeficiente de agrupamiento, eficiencia local y la distancia del camino característico de la red, obteniendo un buen desempeño en esta tarea. El modelo obtuvo una exactitud del 91.7% al utilizar la información correspondiente a las redes de las bandas delta, alfa1 y beta1, y una exactitud del 100% al utilizar la banda beta2; sin embargo, el modelo no nos entrega información sobre la característica específica con la que se logró esta clasificación, es decir no podría ser considerado un biomarcador.

4. Discusión

Con base en los resultados obtenidos, se identificó una serie de trabajos que reportan una o más características que permitieron diferenciar a un grupo de sujetos con acúfeno de un grupo de sujetos control, o identificar diferentes condiciones de este padecimiento.

Un aspecto importante que podemos destacar entre los trabajos identificados es que a partir de las diferentes metodologías propuestas es posible llevar a cabo la caracterización de sujetos que padecen acúfeno y sujetos control, enfocándonos principalmente en la caracterización de la actividad eléctrica cerebral (EEG). Sin embargo, un aspecto a analizar es que tan reproducible pueden ser los resultados presentados por los diferentes trabajos previamente mencionados. En otras palabras, que tan robustas son estas características; ya que esto permitirá identificar y seleccionar aquellas y proponerlas como posibles biomarcadores; es decir, que nos den la mayor certeza a la hora de identificar si un sujeto padece acufeno o se encuentra control y/o la condición de su padecimiento. Un biomarcador como este nos permitiría dar seguimiento a un tratamiento, ya que nos permitiría verificar si el valor de la medición de éste se encuentra dentro del rango de valores de un sujeto control, próximo a los valores de un sujeto control o bien, si simplemente sigue dentro del rango de valores de un sujeto con acufeno después de la terapia.

Una observación realizada sobre algunos de los trabajos mencionados es el uso de pruebas estadísticas para la identificación de características que permitan diferenciar a un sujeto con acúfeno de un sujeto control, o identificar diferentes grados de severidad de este padecimiento. Sin embargo, las pruebas realizadas por los trabajos presentados llevaron cabo un análisis univariable, con las cuales no es posible identificar una relación entre dos o más características que permitan describir el comportamiento del padecimiento de acúfeno (Smith & Zheng, 2021), y con ello poder reconocerlos como un biomarcador.

Por otro lado, como se logró apreciar en el trabajo de Mohagheghian et al. (2019), el uso de herramientas como los algoritmos de modelos de aprendizaje automático pueden ser de gran ayuda al realizar pruebas que nos permitan determinar la importancia de características en una problemática en particular, como lo sería en este caso la identificación (clasificación) de sujetos con acúfeno y sujetos control. No obstante, en el caso del modelo de máquina de soporte vectorial es un poco complejo conocer la relevancia que tiene una característica en particular en la toma de decisión del clasificador, esto debido a que no es posible interpretar los procesos realizados por el modelo en la tarea de clasificación a pesar de desempeñarse manera excelente.

Dado lo anterior, es posible considerar el uso de otras pruebas estadísticas que lleven a cabo un análisis de covaribilidad entre características o la implementación de algoritmos de aprendizaje automático como el modelo de árbol de decisión o el de inducción de reglas para conocer las características, ya sea que éstas formen un complejo o de manera individual, que estén involucradas en la toma de decisiones en la tarea de identificación de un sujeto con acúfeno y uno control, así como sus rangos de variación, aunque sus desempeños pudieran ser menores a los que puedan obtenerse por otros modelos.

5. Conclusión

El acúfeno es un padecimiento que hoy en día aún no se comprende por completo, esto da lugar a que una gran cantidad de investigadores están haciendo grandes esfuerzos para poder encontrar una manera de tratar esta condición y eliminar la percepción del sonido a causa de este padecimiento. Un ejemplo de ello es la identificación de medidas objetivas que permitan describir los comportamientos asociados al acúfeno, las cuales nos permiten diferenciar a un sujeto con acúfeno de uno control, o identificar diferentes condiciones de este padecimiento.

La identificación de biomarcadores asociados al acúfeno es un tema que debe ser analizado a detalle, ya que éstas deben describir de manera objetiva, precisa y reproducible este padecimiento. Para llevar a cabo esta tarea, es posible proponer trabajos futuros en las que se defina una metodología que ayuden a determinar qué medida objetiva pudiera llegar a ser un biomarcador. Una manera de hacer esto pudiera ser la implementación de algoritmos de aprendizaje automático que evalúen características extraídas de sujetos con acúfeno y que brinden una descripción de los procesos realizados (que sean interpretables). Esto generaría resultados que después de ser analizados pudieran ayudar a tomar una decisión para el reconocimiento de biomarcadores.

El identificar un biomarcador del padecimiento de acúfeno permitirá comprender un poco más a cerca de este padecimiento; esto sería de gran ayuda para el desarrollo de nuevas terapias o el mejoramiento de las mismas o el desarrollo de tratamientos que busquen eliminar por completo la percepción del acúfeno.

Referencias

- Alonso-Valerdi, L. M., Ibarra-Zarate, D. I., Tavira-Sánchez, F. J., Ramírez-Mendoza, R. A., & Recuero, M. (2017). Electroencephalographic evaluation of acoustic therapies for the treatment of chronic and refractory tinnitus. *BMC Ear, Nose and Throat Disorders*, 17(1), 1-15. <https://doi.org/10.1186/s12901-017-0042-z>
- Asadpour, A., Alavi, A., Jahed, M., & Mahmoudian, S. (2018). Cognitive Memory Comparison Between Tinnitus and Normal Cases Using Event-Related Potentials. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 12, 1-6. <https://doi.org/10.3389/fnint.2018.00048>
- Asadpour, A., Jahed, M., & Mahmoudian, S. (2018). Brain Waves Evaluation of Sound Therapy in Chronic Subjective Tinnitus Cases Using Wavelet Decomposition. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 12, 1-7. <https://doi.org/10.3389/fnint.2018.00038>
- Biomarkers Definitions Working Group (2001). Biomarkers and surrogate endpoints: Preferred definitions and conceptual framework. *Clinical Pharmacology & Therapeutics*, 69(3), 89–95. <https://doi.org/10.1067/mcp.2001.113989>
- Cai, Y., Chen, S., Chen, Y., Li, J., Wang, C. D., Zhao, F., Dang, C. P., Liang, J., He, N., Liang, M., & Zheng, Y. (2019). Altered Resting-State EEG Microstate in Idiopathic Sudden Sensorineural Hearing Loss Patients With Tinnitus. *Frontiers in Neuroscience*, 13, 1-9. <https://doi.org/10.3389/fnins.2019.00443>
- Campbell, J., Bean, C., & LaBrec, A. (2018). Normal hearing young adults with mild tinnitus: Reduced inhibition as measured through sensory gating. *Audiology Research*, 8(2), 27-33. <https://doi.org/10.4081/audiores.2018.214>
- Chirakkal, P., al Hail, A. N., Zada, N., & Vijayakumar, D. S. (2020). COVID-19 and Tinnitus. *Ear, Nose & Throat Journal*, 100(2_suppl), 160S-162S. <https://doi.org/10.1177/0145561320974849>
- Curet, C., & Roitman, D. (2016). TINNITUS – EVALUACIÓN Y MANEJO. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 27(6), 848-862. <https://doi.org/10.1016/j.rmcl.2016.11.017>
- Eggermont, J. J., & Roberts, L. E. (2012). The Neuroscience of Tinnitus: Understanding Abnormal and Normal Auditory Perception. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 6, 1–4. <https://doi.org/10.3389/fnsys.2012.00053>
- Espinosa-Sánchez, J. M., Heitzmann-Hernández, T., & López-Escámez, J. A. (2014). Pharmacotherapy for tinnitus: much ado about nothing. *Rev Neurol*, 59(4), 164–74.
- Henry, J. A., Zaugg, T. L., Myers, P. J., & Schechter, M. A. (2008). Using Therapeutic Sound With Progressive Audiologic Tinnitus Management. *Trends in Amplification*, 12(3), 188-209. <https://doi.org/10.1177/1084713808321184>
- Langguth, B., Kreuzer, P. M., Kleinjung, T., & De Ridder, D. (2013). Tinnitus: causes and clinical management. *The Lancet Neurology*, 12(9), 920–930. [https://doi.org/10.1016/s1474-4422\(13\)70160-1](https://doi.org/10.1016/s1474-4422(13)70160-1)
- Mohagheghian, F., Makkiabadi, B., Jalilvand, H., Khajepoor, H., Samadzadehaghdam, N., Eqlimi, E., & Deevband, M. R. (2019). Computer-Aided Tinnitus Detection based on Brain Network Analysis of EEG Functional Connectivity. *Journal of Biomedical Physics and Engineering*, 9(6), 687-698. <https://doi.org/10.31661/jbpe.v0i0.937>
- Nascimento, I. P., Almeida, A. A., Diniz, J., Martins, M. L., Freitas, T. M. M. W. C., & Rosa, M. R. D. (2018). Tinnitus evaluation: relationship between pitch matching and loudness, visual analog scale and tinnitus handicap inventory. *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology*, 85(5), 611-616. <https://doi.org/10.1016/j.bjorl.2018.05.006>

- Searchfield, G. D., Durai, M., & Linford, T. (2017). A State-of-the-Art Review: Personalization of Tinnitus Sound Therapy. *Frontiers in Psychology*, 8, 1-11. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01599>
- Sedley, W., Friston, K. J., Gander, P. E., Kumar, S., & Griffiths, T. D. (2016). An Integrative Tinnitus Model Based on Sensory Precision. *Trends in Neurosciences*, 39(12), 799-812. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2016.10.004>
- Smith, P. F., & Zheng, Y. (2021). Applications of Multivariate Statistical and Data Mining Analyses to the Search for Biomarkers of Sensorineural Hearing Loss, Tinnitus, and Vestibular Dysfunction. *Frontiers in Neurology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fneur.2021.627294>
- Strimbu, K., & Tavel, J. A. (2010). What are biomarkers? *Current Opinion in HIV and AIDS*, 5(6), 463-466. <https://doi.org/10.1097/coh.0b013e32833ed177>
- Zhang, X., Jiang, Y., Zhang, S., Li, F., Pei, C., He, G., Ao, M., Yao, D., Zhao, Y., & Xu, P. (2021). Correlation Analysis of EEG Brain Network With Modulated Acoustic Stimulation for Chronic Tinnitus Patients. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 29, 156–162. <https://doi.org/10.1109/tnsre.2020.3039555>

Notas bibliográficas



Andrés Álvarez-Terríquez recibió una licenciatura en Ingeniería Biomédica (2019) y maestría en Ciencias en Bioingeniería y Cómputo Inteligente (2022) de la Universidad de Guadalajara. Su principal línea de investigación corresponde al procesamiento de bioseñales asociadas a patologías o padecimientos, siendo de especial interés el estudio de señales electroencefalográficas (EEG); además, a iniciando actividades de investigación en la línea del aprendizaje automático.



Ricardo A. Salido-Ruiz recibió una licenciatura en Electrónica (2004) de la Universidad Autónoma de Baja California, México. Posteriormente trabajó en el sector privado (2004-2005) en Lawrence Electronics donde adquirió experiencia en el diseño y creación de prototipos de circuitos con componentes de montaje superficial. Posteriormente obtuvo el MsC (2008) en Bioelectrónica del CINVESTAV-IPN en la Ciudad de México. Luego, obtuvo el Ph.D. (2012) en Automática, Procesamiento de Señales e Imágenes del Instituto Politécnico Nacional de Lorraine, INPL (ahora la Universidad de Lorraine) en Francia. Durante el 2013 se desempeñó como Profesor en el programa de Bioingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California donde impartió cursos relacionados con el campo biomédico. Desde 2014 es Profesor e Investigador de la Universidad de Guadalajara, y miembro (Nivel 1) del Sistema Nacional de Investigadores de México. Sus áreas de investigación son el procesamiento de señales biomédicas enfocado a la resolución de problemas en campos como las neurociencias y el desarrollo de sistemas de monitorización de diabetes entre otros.



David Isaac Ibarra-Zárate recibió el grado en Ingeniería en comunicaciones y electrónica por la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y eléctrica (ESIME Culhuacán) del Instituto Politécnico Nacional (IPN), Ciudad de México (2006). Tiene maestría (2009) y doctorado (2013) en acústica por la Universidad Politécnica de Madrid y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Actualmente es Profesor Investigador de la escuela de Ingeniería y Ciencias y Líder del grupo de investigación en Neuroingeniería y Neuroacústica del Tecnológico de Monterrey.



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 2.5 México.