UCOMPENSAR: la academia motor en la TRANSFORMACIÓN DIGITAL y automatización de la INDUSTRIA 4.0

Compiladores
Raúl Bareño Gutiérrez
Néider Duan Barbosa Castro



GIIS Grupo de Investigación en Ingenierías

compensar | fundación universitaria

UCOMPENSAR: la academia motor en la TRANSFORMACIÓN DIGITAL y automatización de la INDUSTRIA 4.0

Compiladores

Raúl Bareño Gutiérrez
Néider Duan Barbosa Castro

Autores

Raúl Bareño Gutiérrez
Jeysson Alexander Riaño Pascagaza
Zully Elisa Johanna Guevara Maldonado
José de los Santos Solórzano
Sandra Milena García Córdoba
Constanza Alvarado Mariño
Libardo Gómez Díaz
José Luis Cabra López
Jhonn Hernández Martín
Néider Duan Barbosa Castro
Fabiola Sáenz Blanco
Francisco Zorrilla Briones
Fernanda Tapias Forero

GIIS Grupo de Investigación en Ingenierías

compensar | fundación universitaria

Margarita Áñez Sampedro
Rectora

Carolina Guzmán Ruíz
Vicerrectora académica

Nelson Felipe Rosas Jiménez
Decano Facultad de Ingeniería de Sistemas

Paul Alexander Díaz Montaña
Director de Ingeniería de Sistemas

Javier Alejandro Sáenz Leguizamón
Director de Ingeniería de Software

Javier André Chaparro Sánchez
Director de Ingeniería de Sistemas

Néider Duan Barbosa Castro
Líder del Grupo de Investigación en Ingeniería GIIS

Grupo de Investigación en Ingeniería de Sistemas - GIIS

Fundación Universitaria Compensar
Facultad de Ingeniería de Sistemas

Bareño Gutiérrez, Raúl. *et al.*

UCOMPENSAR: la academia motor en la transformación digital y automatización de la industria 4.0/Raúl Bareño Gutiérrez, Jeysson Alexander Riaño Pascagaza, Zully Elisa Johanna Guevara Maldonado, José de los Santos Solórzano, Sandra Milena García Córdoba, Constanza Alvarado Mariño, Libardo Gómez Díaz, José Luis Cabra López, Jhonn Hernández Martín, Néider Duan Barbosa Castro, Fabiola Sáenz Blanco, Francisco Zorrilla Briones, Fernanda Tapias Forero -- Bogotá: Fundación Universitaria Compensar, 1a.ed. 2023
188 ; 24 cm.
ISBN 978-958-792-631-6 e-ISBN 978-958-792-632-3
1. Educación I. Tít.
370 cd 24 ed.

Primera edición: Bogotá, Colombia, noviembre de 2023
ISBN 978-958-792-631-6

© Raúl Bareño Gutiérrez, Jeysson Alexander Riaño Pascagaza, Zully Elisa Johanna Guevara Maldonado, José de los Santos Solórzano, Sandra Milena García Córdoba, Constanza Alvarado Mariño, Libardo Gómez Díaz, José Luis Cabra López, Jhonn Hernández Martín, Néider Duan Barbosa Castro, Fabiola Sáenz Blanco, Francisco Zorrilla Briones, Fernanda Tapias Forero
© Fundación Universitaria Compensar
Avda. Calle 32 No. 17-30 - Tel. (+57 601) 3380666
www.ucompensar.edu.co - E-mail: gbarreras@ucompensar.edu.co
Bogotá, Colombia

Este libro es resultado de investigación de acuerdo con los criterios de Minciencias. Todos los capítulos incluidos en él son productos de investigaciones desarrolladas por sus autores. Fueron arbitrados bajo el sistema doble ciego por pares reconocidos avalados por Minciencias.

Los planteamientos y argumentos presentados en los capítulos del libro son responsabilidad única y exclusiva de sus autores, por lo tanto, los compiladores y la Universidad que, respalda esta obra, actúan como un tercero de buena fe.

Coordinador: Ediciones de la U
Diagramación de interiores: Oscar Javier Avendaño Yossa
Los costos editoriales fueron asumidos por la Fundación Universitaria Compensar.

Impreso y hecho en Colombia
Printed and made in Colombia

No está permitida la reproducción total o parcial de este libro, ni su tratamiento informático, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, por fotocopia, por registro y otros medios, sin el permiso previo y por escrito de los titulares del Copyright.

Contenido

Prefacio 11
Introducción 15

Capítulo 1. Algoritmos de *machine learning* aplicados al sector salud: una realidad para la toma de decisiones desde la analítica de datos. *Raúl Bareño Gutiérrez, Jeysson Alexander Riaño Pascagaza, Zully Elisa Johanna Guevara Maldonado* 19
Proyecto padre 20
Resumen 20
Abstract 21
Introducción 22
Metodología 29
Discusión 38
Conclusiones 41
Referencias 45

Capítulo 2. Migración a la nube en PYMES y MIPYMES: una revisión basada en buenas prácticas desde la gestión TI. *Raúl Bareño Gutiérrez, José de los Santos Solórzano, Sandra Milena García Córdoba, Constanza Alvarado Mariño* *51*
Proyecto padre 52
Resumen 52
Abstract 53
Introducción 54
Metodología 56
Discusión 57
Conclusiones 69
Referencias 71

Capítulo 3. Sistema de adquisición de datos para el monitoreo de servicios en el hogar aplicado a empresas. *Libardo Gómez Díaz, José Luis Cabra López y Jhonn Hernández Martín* 77
Proyecto padre 78
Resumen 78
Abstract 79
Introducción 80
Metodología 83
Discusión 88
Conclusiones 91
Referencias 92

Capítulo 4. Sistemas ciberfísicos: de la industria 4.0 Hacia la transformación digital. *José de los Santos Solórzano, Sandra Milena García Córdoba, Constanza Alvarado Mariño* 123
Proyecto padre 124
Resumen 124
Abstract 125
Introducción 126
Metodología 129
Discusión 134
Conclusiones 136
Referencias 139

Capítulo 5. Determinación de variables claves de recursos para un modelo de gestión de capacidades tecnológicas en la industria de generación eléctrica alternativa de Colombia y México, a través de árboles de decisión 115
Proyecto padre 116
Resumen 116
Abstract 117
Introducción 118
Metodología 121
Discusión 126

Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Tipos de machine learning 23
Ilustración 2. Algoritmo de clasificación 25
Ilustración 3. Algoritmos de regresión 26
Ilustración 4. Algoritmos de agrupación 27
Ilustración 5. Aprendizaje por refuerzo 28
Ilustración 6. Relación de valor y dificultad 30
Ilustración 7. Algoritmos de red neuronal 31
Ilustración 8. Regresión lineal 32
Ilustración 9. Regresión logística 33
Ilustración 10. Hiperplano de SVM 34
Ilustración 11. Bosques aleatorios 35
Ilustración 12. Árboles de decisión 36
Ilustración 13. Clustering K-means 38
Ilustración 14. Soluciones para pymes 55
Ilustración 15. Teoría de Acción Razonada (TRA) 60
Ilustración 16. Teoría del Comportamiento Planeado (TPB) 60
Ilustración 17. Modelo de Aceptación Tecnológica (TAM) 62
Ilustración 18. Tecnología de Organización y Entorno (TOE) 62
Ilustración 19. Difusión de la Teoría de Innovación (DTI) 63
Ilustración 20. Tarjeta electrónica de monitoreo y control prototipo sin modelado 81
Ilustración 21.Tarjeta electrónica de monitoreo y control 82
Ilustración 22. Descripción de la metodología aplicada 83
Ilustración 23. Ducha de prueba y toma de datos del sensor YF-S201 84
Ilustración 24. Pasos de la metodología del proyecto 86
Ilustración 25. Tarjeta electrónica de monitoreo y control prototipo modelo 3D 87
Ilustración 26. Aplicación móvil diseñada para la gestión y control de dispositivos 87

Ilustración 27. Sistema implementado en ducha para medición de agua....89
Ilustración 28. Mediciones obtenidas durante tres meses en el control de consumo de agua de la ducha....90
Ilustración 29. Mediciones obtenidas durante tres meses en el control de consumo de energía del baño....90
Ilustración 30. Los componentes básicos de CPS....103
Ilustración 31. Autonomic Computing Control Loop Process....105
Ilustración 32. Arquitectura genérica por capas de los CPS....108
Ilustración 33. Arquitectura genérica ECPS de un ecosistema educativo basado en Internet of Everything (IoE)....111
Ilustración 34. Comportamiento estadístico de la variable 1....131
Ilustración 35. Comportamiento estadístico de la variable 2....132
Ilustración 36. Comportamiento estadístico de la variable 3....132
Ilustración 37. Comportamiento estadístico de la variable 4....132
Ilustración 38. Comportamiento estadístico de la variable 5....133
Ilustración 39. Comportamiento estadístico de la variable 6....133
Ilustración 40. Comportamiento estadístico de la variable 7....133
Ilustración 41. Comportamiento estadístico de la variable 8....134
Ilustración 42. Árbol de decisión variable generado por algoritmo J48..136

Índice de tablas

Tabla 1. Diferencias entre aprendizaje supervisado, no supervisado y por refuerzo 40
Tabla 2. Comparativo de framework 64
Tabla 3. Alcances de las prácticas 66
Tabla 4. Modelos de madurez tecnológica 67
Tabla 5. Sensores de flujo 85
Tabla 6. Referentes modelado arquitecturas IoT-CPS 107
Tabla 7. Caracterización de las variables de dimensión administrativa según encuesta a expertos 130
Tabla 8. Caracterización de las variables de dimensión económica según encuesta a expertos 131
Tabla 9. Comportamiento estadístico de las variables 131
Tabla 10. Transformación de escala 135

Prefacio

Es para mí un honor presentar este libro titulado *UCompensar: La academia, motor en la transformación digital y automatización de la industria 4.0*. Esta obra es el resultado de una cuidadosa recopilación de resultados de proyectos de investigación, escritos por destacados académicos y profesionales comprometidos con el estudio y análisis de los desafíos y oportunidades que emergen en el contexto de la transformación digital y la industria 4.0.

En la actualidad, estamos inmersos en una era de rápidos avances tecnológicos, donde la digitalización y la interconexión están transformando radicalmente la forma en que operan las organizaciones. La transformación digital se ha convertido en una prioridad para las empresas y la industria 4.0 se ha erigido como el paradigma que redefine la manera en que se gestionan y automatizan los procesos industriales. El avance de las tecnologías que impulsan esta transformación juega un papel fundamental en la mejora de los procesos empresariales y en el desarrollo y fortalecimiento de las estrategias corporativas. Estas innovaciones abren oportunidades para satisfacer las demandas de los clientes, mejorar los procesos logísticos y facilitar la gestión de las cadenas de suministro.

La industria 4.0, ampliamente abordada en la literatura académica, se refiere a la Cuarta Revolución Industrial impulsada por la integración tecnológica en el desarrollo de los procesos de fabricación y la transformación digital en general. La adopción de estas tecnologías es fundamental para la implementación de procesos de "fabricación inteligente", donde dispositivos, máquinas, módulos de producción y productos pueden intercambiar información de manera autónoma, desencadenar acciones y controlarse mutuamente. Aunque el término industria 4.0 fue acuñado originalmente para abarcar la integración y adaptación generalizada de

tecnologías de la información en las industrias manufactureras, también puede ser definido en función de las tendencias tecnológicas que lo conforman. En este sentido, la industria 4.0 es una manifestación clave de la transformación digital en el ámbito industrial.

Con este enfoque, es crucial que la academia desempeñe un papel activo en comprender, analizar y difundir estos cambios. La relevancia de abordar la transformación digital desde la academia se encuentra en la preparación de futuros profesionales, la investigación y generación de ideas innovadoras, la formación de expertos cualificados y la promoción de la colaboración con la industria. Al abordar la transformación digital, la academia contribuye al desarrollo de soluciones innovadoras y prepara a las generaciones futuras para enfrentar desafíos y aprovechar oportunidades en el entorno digital en constante cambio.

Este libro se enfoca en el papel fundamental que desempeña la academia como motor impulsor de la transformación digital y la adopción de la industria 4.0. Los artículos presentados abordan no solo la generación de conocimiento y la formación de profesionales capacitados en estas áreas, sino también la colaboración entre la academia y las pequeñas y medianas empresas (pymes) en Colombia, con el objetivo de fomentar la adopción de tecnologías digitales en el sector industrial. A través de diferentes perspectivas disciplinarias y enfoques metodológicos, los autores de este libro exploran una amplia gama de temas relevantes. Estos incluyen la implementación de tecnologías disruptivas, los retos de la toma de decisiones en entornos digitales, la gestión de TI en las organizaciones, así como el impacto de la analítica de datos y la migración a la nube en las pymes colombianas.

Cada artículo presenta rigurosas investigaciones que proporcionan valiosas perspectivas y recomendaciones prácticas para enfrentar los desafíos y aprovechar las oportunidades que la transformación digital ofrece. Los lectores encontrarán análisis profundos, casos de estudio, buenas prácticas y reflexiones críticas sobre cómo impulsar la adopción de tecnologías digitales en el entorno empresarial.

Deseo expresar mi más profundo agradecimiento a todos los autores y colaboradores que han contribuido a este libro. Su experiencia, conocimientos y dedicación han enriquecido enormemente esta recopilación. Asimismo, quiero reconocer y agradecer a la Fundación Universitaria Compensar que siempre ha respaldado y apoyado este tipo de proyectos. Esta institución se ha caracterizado siempre por su fuerte vínculo con las empresas en la generación de conocimiento. Cabe resaltar que esta relación entre la universidad y la empresa es fundamental para el desarrollo económico, la innovación y la formación de profesionales capacitados. A través de esta colaboración, se comparten conocimientos, recursos y se promueve la transferencia de tecnología, lo que impulsa el crecimiento empresarial y la creación de empleo en el país.

Espero sinceramente que este libro sea una fuente de inspiración y conocimiento para académicos, profesionales y líderes empresariales interesados en la transformación digital y la automatización de la industria 4.0. Que los hallazgos y las reflexiones presentadas en estas páginas fomenten el diálogo, la colaboración y la acción para impulsar una industria más eficiente, competitiva y sostenible en Colombia.

PhD Omar León
Docente investigador
Grupo de Investigación GIO
Universidad de Oviedo
Gijón, España, 2023

Introducción

Algunas definiciones de industrias 4.0 proponen que esta tendencia académica, social, cultural y económica es una apuesta tecnológica de una nueva revolución que combina técnicas avanzadas de producción que incluyen las tendencias tecnológicas en búsqueda de satisfacer las nuevas formas de ver y tener mayor visibilidad por parte de las organizaciones acordes a sus modelos de negocios que dinamicen sus aplicaciones hacia la transformación digital.

Por ello, es importante recalcar que, según la *Guía técnica* del Ministerio de las TIC (MinTIC), en Colombia, las industrias 4.0 deben satisfacer los siguientes aspectos:

- Problemas de seguridad en las TIC.
- Necesidad de mantener la integridad de los procesos de producción.
- Necesidad de proteger el conocimiento industrial (incluido también en los archivos de control para equipos de automatización industrial).
- Renuencia general al cambio por parte de los agentes involucrados.

Es así que la Facultad de Ingeniería de la Fundación Universitaria Compensar, dentro del proyecto educativo institucional articulado con el sector empresarial, apoya la dinámica de las organizaciones público-privadas en la transición hacia proyectos en innovación, desarrollo e investigación de la industria; por ello, sus investigadores apoyan fuertemente el currículo académico de los 6 programas de pregrado (Ingeniería de Sistemas, Ingeniería de Telecomunicaciones, Ingeniería de *Software*, Ingeniería Industrial, Ingeniería Multimedia y Ciencias de Datos) y sus 2 programas de posgrado (Especialización en Seguridad Informática

y Especialización en *Big Data*). Además de ello, van a la vanguardia de la industria 4.0, proponiendo a los lectores de este libro 5 capítulos de alto impacto y articulados con sus aliados estratégicos del sector productivo.

El primer capítulo apunta a destacar la importancia del *machine learning* en la toma de decisiones del sector salud. Sus autores indagan y demuestran como el aprendizaje automático responde a esos retos de la revolución industrial que permite, mediante el uso de herramientas de inteligencia artificial y de la analítica de datos, la toma de decisiones y la optimización de sus recursos humanos y técnicos.

El segundo capítulo responde estratégicamente a los primeros desafíos para el Gobierno colombiano en cuanto a la industria 4.0 y cómo las soluciones en la nube apoyan y fortalecen las áreas de TI de las organizaciones, cualquiera que sea su portafolio de negocio, hacia entornos *cloud*, como IaaS, PaaS o SaaS, alineados a *framework* de trabajo que se alinean hacia gobernanza, políticas de buenas prácticas y seguridad informática, entre otras políticas a las cuales todas las organizaciones se deben alinear; por ello, los investigadores, en su análisis, enmarcan la importancia de una migración controlada de los servicios mirando hacia los diferentes actores y aspectos que pocas veces se contrastan en las organizaciones pequeñas o medianas en Colombia.

En el marco del tercer capítulo se articula la automatización en un sector de la economía con alto impacto, como lo es el entorno residencial, haciendo uso de la domótica al servicio de las personas y en entornos que optimicen procesos de alto consumo enérgico y de agua, para tener un mayor control de estas variables y que se articulen en un uso y consumo responsable, que ayude en la protección del medio ambiente, articulado con la tecnología hacia la migración de la industria 4.0; por ello, son clave las tecnologías enmarcadas en el internet de las cosas, de los objetos y de todos, las cuales son fundamentales para la implementación en entornos residenciales que generen confort y mejoren la calidad de vida, articulados estos con los entornos ambientales.

Dentro del capítulo 4, la transformación digital es primordial en la industria 4.0, por eso los espacios físicos pasan a ser ahora ciberespacios, tanto así que el cuarto capítulo diseña estrategias para lograr esa transformación digital hacia nuevas arquitecturas lógicas y funcionales en una sociedad de la información que requiere estar conectada en función de escenarios de tecnologías emergentes; por ello, los sistemas ciberfísicos deben conectar la realidad con la virtualidad, logrando así la implementación de entornos conectados en un mundo productivo donde sus distintos actores y su inminente convivencia con diversos elementos tecnológicos en numerosas situaciones apoyen la dinámica en servicios de salud, financieros y públicos, entre otros.

El capítulo final establece cómo la tecnología en esta revolución industrial genera capacidades, por lo tanto, se coloca a disposición del lector la determinación de esas variables claves que buscan que las empresas de un sector primario, como el de generación eléctrica, implementen un modelo para la gestión de las capacidades tecnológicas y de las variables que realmente influyan, específicamente aquellas que se enmarcan en la administración de sus recursos, haciendo uso de técnicas de minería de datos, por lo cual las organizaciones del sector eléctrico pueden destinar recursos para la gestión de sus capacidades tecnológicas

Basado en lo anterior, la Fundación Universitaria Compensar y los investigadores del Grupo de Investigación en Ingeniería GIIS presentan apartes de sus investigaciones para toda la comunidad empresarial y académica desde una mirada holística y de alto impacto en la comunidad científica enfocados en proyectos de I+D+i que apoyen la transformación digital hacia las industrias 4.0.

Capítulo 01

Algoritmos de *machine learning* aplicados al sector salud: una realidad para la toma de decisiones desde la analítica de datos

Machine Learning Algorithms Applied to the Healthcare Sector: A Reality for Data-Driven Decision Making

Raúl Bareño Gutiérrez
rbarenog@ucompensar.edu.co

Jeysson Alexander Riaño Pascagaza
jarianop@ucompensar.edu.co

Zully Elisa Johanna Guevara Maldonado
zeguevara@ucompensar.edu.co

Proyecto padre

Este capítulo emerge como fruto de la investigación denominada "**Modelo de machine learning para caracterizar datos sobre salud oral procedentes de EPS Compensar. Un análisis exploratorio"**, que cuenta con la aprobación oficial del Comité de Investigaciones bajo el código **PI1420221**.

Institución financiadora: **Fundación Universitaria Compensar**

Resumen

Con la cuarta revolución, el aprendizaje automático es una rama de la inteligencia artificial que se ha utilizado con éxito en distintos sectores, incluyendo la salud. La gran cantidad de información de pacientes almacenada digitalmente, de forma estructurada o no estructurada, mejora el sistema de los prestadores de salud y sus médicos, permitiendo crear modelos, pronósticos y diagnósticos haciendo uso de algoritmos supervisados, no supervisados y por refuerzo basados en inteligencia artificial, con beneficios respecto a reducir costos, mejorar los procesos y los procedimientos en los tiempos de servicio de pacientes, así como predefinir variables utilizando técnicas de ETL para lograr las diferentes correlaciones en el marco de la información o de los datos proporcionados. Por lo tanto, el carácter metodológico de la investigación es de tipo mixto con interacciones tanto cualitativo como cuantitativo de carácter documental y exploratorio en sistemas de búsqueda académicos como: Google Scholar, IEEE Xplore, PubMed, ScienceDirect, Medline, DynaMed y DynaMedPlus Scopus, los cuales permitieron validar el amplio campo de aplicación de los diferentes modelos en el sector de la medicina y la salud para predecir pronósticos y proveer diagnósticos. En diversas especialidades médicas que requieran de un trabajo repetitivo y de una manipulación de muchos datos, los diferentes algoritmos pueden apoyar en la toma de decisiones de enfermedades y consultas en pacientes con mayor o menor grado de complejidad.

Palabras claves

Aprendizaje automático, inteligencia artificial, salud, medicina, analítica de datos, técnicas y algoritmos.

Abstract

In the Fourth Revolution or 4.0 Industry, Machine Learning is a branch of Artificial Intelligence that has been used successfully in various sectors, including healthcare. A large amount of digitally stored patient information, whether structured or unstructured, improves the healthcare system and its physicians, enabling the creation of models, forecasts, and diagnoses using supervised, unsupervised, and reinforcement learning algorithms based on artificial intelligence. That has the benefit of reducing costs, improving processes and procedures, shortening patient service times, and predefining variables using Extract, Transform, and Load (ETL) techniques to achieve different correlations within the provided information or data. Therefore, the methodological character of the research is mixed, with both qualitative and quantitative interactions of a documentary and exploratory nature in academic search systems such as Google Scholar, IEEE Xplore, PubMed, ScienceDirect, Medline, DynaMed, DynaMedPlus, and Scopus. These systems have allowed validation of the scope of application of different models in the medicine and healthcare fields to predict prognoses and provide diagnoses in various medical specialties that require repetitive work and handling of large amounts of data. The different algorithms can support decision-making regarding diseases and patient consultations, whether of high or low complexity.

Keywords

Machine learning, artificial intelligence, health, medicine, data analytics, techniques, and algorithms.

Introducción

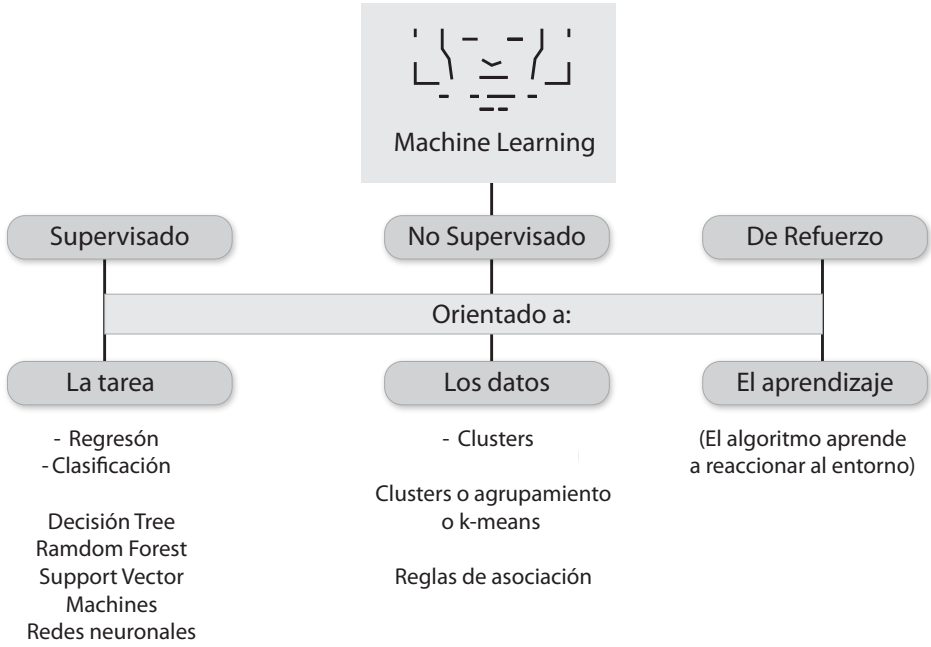
En el siglo XXI, el apoyo del *machine learning* en el sector salud es clave (Jiménez Herrera, 2021; Rong, Méndez, Assi, Zhao & Sawan, 2020), dado el continuo crecimiento para extraer y recopilar información desagregada en grandes volúmenes de datos que se encuentran en este campo, los cuales pueden estar de manera estructurada o no estructurada; ahora, el conjunto de formas con las cuales puede presentarse un algoritmo apoyado en la ciencia de los datos puede predecir resultados de manera descriptiva o predictiva para entrenar los algoritmos a partir de la información suministrada (Shortliffe & Sepúlveda, 2018). Los datos para el entrenamiento se deben alinear con los algoritmos de análisis y cálculos adecuados para el perfeccionamiento y entrenamiento de los modelos que entreguen confianza en los resultados (Noorbakhsh-Sabet, Zand, Zhang & Abedi, 2019).

El aprendizaje automático o *machine learning* (Jiang, Jiang, Zhi, Dong, Li, Ma ... & Wang, 2017) consiste en automatizar usando una diversidad de algoritmos entrenados que identifiquen patrones o tendencias dentro de un océano de información, que ayuden a resolver tareas y que aprendan a hacer predicciones.

Por ello, la tecnología y la ciencia usan el aprendizaje automático supervisado, el no supervisado o por refuerzo en todos los actores del sistema de salud (laboratorios, prestadores, seguros fabricantes de soluciones médicas y pacientes) para predecir o mitigar enfermedades (Purushotham, Meng, Che & Liu, 2018).

La multiplicidad y la diversidad de tipos, técnicas y algoritmos de *machine learning* son muy amplias (ver ilustración 1). Estos ayudan a reconocer, procesar, interpretar, clasificar, almacenar y recuperar datos identificando patrones y dinámicas que contribuyen a un mejor planeamiento y a una optimización en el sector salud (Jones, Golan, Hanna & Ramachandran, 2018).

Ilustración 1. Tipos de machine learning



Ahora, en el campo específico de la salud oral, varían acorde a los contextos de aplicación en el campo de la ortodoncia (Joda, Waltimo, Pauli-Magnus, Probst-Hensch & Zitzmann, 2018), de la periodoncia (Hung, Yeung, Tanaka & Bornstein, 2020) y de la endodoncia (Alauddin, Baharuddin & Mohd Ghazali, 2021). Algunas ventajas generalizadas del machine learning en el sector salud son (Rayan, Alfonse & Salem, 2019; Kavakiotis *et al.,* 2017; Doupe, Faghmous & Basu, 2019).

- En el análisis de datos en tratamientos, ayudan en su forma y precisión.
- Ayudan a generar *insights* para tratamientos (Santos, Ferreira, Wada, Tenorio, Barbosa & Marqués, 2019).
- Mejoran la disponibilidad y calidad de los datos.

- Apoyan e identifican las necesidades de los usuarios del sistema de salud (Rodríguez Martínez, 2021).

- Ayudan a identificar similitudes y patrones con los datos (López Martínez, 2020).

- Emiten diagnósticos predictivos sobre ciertas enfermedades (Pérez Benito, 2020).

- Mayor efectividad durante tratamientos concretos de pacientes.

- Fortalecen la capacidad de la transformación de los datos clínicos digitales.

- Crean modelos de optimización para ciertos problemas de salud (Reyes Cardoza, 2021).

- Permiten la atención médica y la medicina más personalizada (He, Baxter, Xu, Xu, Zhou & Zhang, 2019).

- Facilitan la innovación y el desarrollo de nuevos productos y servicios.

El aprendizaje automático emplea dos técnicas basadas en: el **aprendizaje supervisado**, para entrenar el modelo con datos de entrada y salida y que pueda predecir salidas futuras, y el **aprendizaje no supervisado**, que busca patrones ocultos con la información de entrada (Yao, Bi & Chen, 2018).

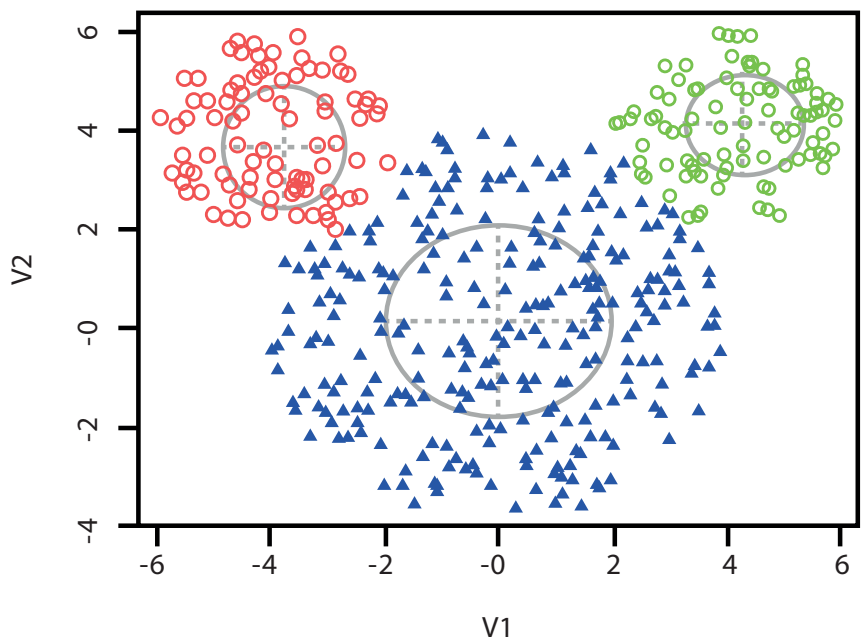
Aprendizaje supervisado

La máquina se enseña con el ejemplo. Este tipo de aprendizaje crea modelos que hacen predicciones a futuro basados en las pruebas con preguntas (características) en presencia de una incertidumbre, tomando datos de entrada del pasado y respuestas conocidas (etiquetas) para estos datos y entrenándose para generar predicciones como respuesta a

datos nuevos. Se basa en **modelos predictivos** que hacen uso de datos de entrenamiento y esto sigue hasta que se alcanza un alto nivel de precisión y rendimiento. Se debe utilizar si se tienen datos conocidos para la salida que se está intentando predecir. Utiliza algoritmos y técnicas de clasificación y regresión (Li, Chen & Wasserman, 2016).

Algoritmo de clasificación: son de tipo categórico y predictivo (Lee & Yoon, 2021). Intenta etiquetar cada ejemplo eligiendo entre dos o más clases diferentes; se espera que el algoritmo diga a qué grupo pertenece el elemento en estudio y se crea un modelo predictivo, donde encuentra patrones en los datos de entrada que se le entregan y los clasifica en grupos (ver ilustración 2), es decir, que compara los nuevos datos y los ubica en uno de los grupos. Se recomienda utilizar si los datos se pueden etiquetar, categorizar o dividir en grupos. La variable por predecir es un conjunto de estados discretos o categóricos (Schwalbe & Wahl, 2020).

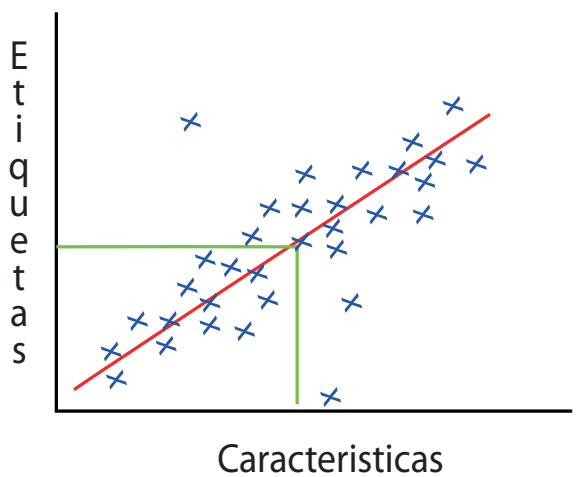
Ilustración 2. Algoritmo de clasificación



Algunos algoritmos para realizar la clasificación son: máquina de vectores de soporte (SVM), árboles de decisión o *random forest,* k-vecino más cercano, clasificadores bayesianos (Naïve Bayes), análisis discriminante, regresión logística, bosques aleatorios y redes neuronales (Char, Shah & Magnus, 2018).

Algoritmo de regresión: son de tipo numérico. Modelan la relación entre diferentes variables utilizando una medida de error que se intenta minimizar. Devuelve un valor específico y predice respuestas continuas (ver ilustración 3). Se usan con un intervalo de datos o si la naturaleza de la respuesta es un número real. Construye un modelo basado en las características y los valores de salida de los datos de entrenamiento y se usa para predecir los valores para nuevos datos. Los valores de salida en este caso son continuos y no discretos. Se aplican en análisis estadístico, intentando compensar la mejor respuesta a partir del menor error (Vayena, Blasimme & Cohen, 2018).

Ilustración 3. Algoritmos de regresión



Algunos algoritmos habituales son: modelo lineal, modelo no lineal, logística, regularización, regresión por pasos, árboles de decisión, redes neuronales, vectores de soporte y aprendizaje neuro difuso adaptativo.

Estos dos modelos tienen el problema del "*overfit*", que significa que se ajustan linealmente a los datos disponibles, con el riesgo que esto tiene para nuevos datos que pudieran llegar; no ofrecen resultados muy buenos para comportamientos más complicados.

Aprendizaje no supervisado

Se conocen como algoritmos de agrupamiento o ***clustering***, los cuales asocian grupos con los datos en función de las variables dentro de un conjunto. Encuentran patrones ocultos o estructuras intrínsecas en los datos. Se emplea para inferir información a partir de conjuntos de datos que constan de datos de entrada sin respuestas etiquetadas previamente. Se dividen en dos grupos (Sidey-Gibbons & Sidey-Gibbons, 2019):

1. **Agrupación:** son iterativos; comienzan con una asignación inicial de los datos en grupos y se van modificando siguiendo un criterio de optimización (ver ilustración 4). El más usado es K-medias. Se encuentran relaciones entre los datos que no se contemplan a simple vista.

Ilustración 4. Algoritmos de agrupación



Se utilizan para agrupar datos existentes de los que se desconocen sus características en común. Intentan crear puntos centrales y jerarquías para diferenciar grupos y descubrir características comunes por cercanía.

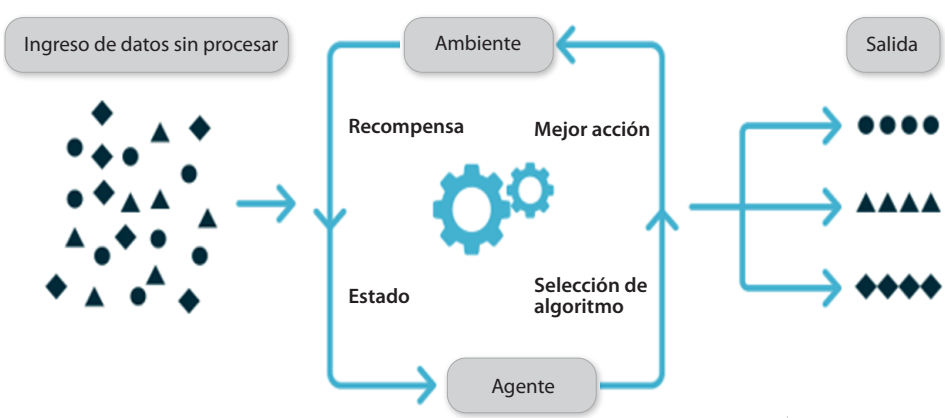
2. **Jerárquicos:** son algoritmos donde no se conoce el número de clústeres que se quieren y en los que en cada iteración solo un objeto cambia de grupo, estando los grupos anidados consecuentemente.

   El *clustering* es la técnica más utilizada y se emplea para el análisis exploratorio para encontrar patrones o agrupaciones ocultos en los datos. Algunos algoritmos son: *k-means, clustering* jerárquico, modelos de mezclas gaussianas, modelo oculto de Markov, mapas autoorganizados, difuso de *c-means* y sustractivo (Sidey-Gibbons, J. A., & Sidey-Gibbons, C. J

Aprendizaje por refuerzo

Se centra en los procesos de aprendizajes reglamentados, proporcionados por los aprendizajes automáticos con un conjunto de acciones, parámetros y valores finales (ver ilustración 5). Al definir las reglas, intenta explorar diferentes opciones y posibilidades, monitorizando y evaluando cada resultado para determinar cuál es el óptimo. Enseña a la máquina a través del proceso de ensayo y error. Aprende de experiencias pasadas y comienza a adaptar su enfoque en respuesta a la situación para lograr el mejor resultado posible.

Ilustración 5. Aprendizaje por refuerzo



Los principales algoritmos utilizados son: programación dinámica, *Q-learning* y SARSA.

Metodología

El método de revisión sistemática de literatura se basó en la metodología propuesta por Barbara Kitchenham (Navarro & Cedeno-Moreno, 2022; Ruiz Avendaño, 2021), hoy muy usada en el campo de la ingeniería. El proceso de búsqueda se efectuó así: 1) planificación de la búsqueda, 2) desarrollar la búsqueda y 3) presentación del informe (Kitchenham, 2004). Se desarrolló bajo un enfoque de tipo cualitativo, documental y de carácter exploratorio. Los referentes bibliográficos académicos fueron consultados en buscadores como: Google Scholar, IEEE Xplore, PubMed, ScienceDirect, Medline, DynaMed, DynaMedPlus o Scopus, dado que contienen información científica en campos de la ingeniería o la medicina. Se efectuaron filtros combinando palabras y/o expresiones con conectores AND (Y) y OR (O), específicamente, *machine learning* en *e-health*, en *health, artificial intelligence in medicine,* algoritmos *machine learning,* en medicina en salud oral. El criterio de inclusión fue la temporalidad, es decir, la fecha del artículo de los últimos seis años, en idiomas inglés y español.

Resultados

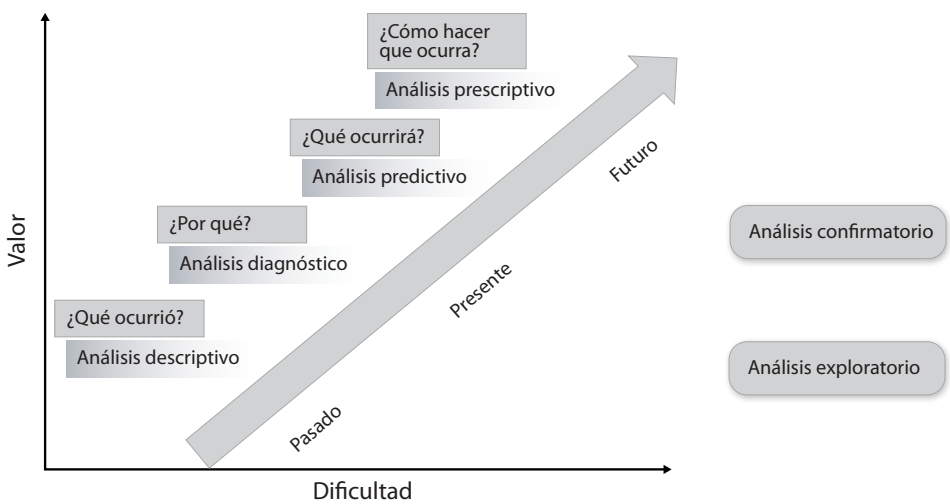
Se hace una descripción detallada de los diferentes tipos, técnicas y algoritmos de *machine learning* más utilizados para el sector salud o en el campo de la medicina. Generalmente, los tipos de análisis en el sector salud pueden ser: con un objetivo predictivo o de diagnóstico (exploratorio) o prescriptivo (predicción tras intervención) (Jiménez Herrera, 2021).

Por ello, el análisis descriptivo detalla la realidad con base en los datos disponibles (medias, medianas, dispersiones, gráficos, etc.). El diagnóstico, explica y evalúa el porqué, se busca validar la causalidad (cuando sea posible) o al menos describir asociaciones entre factores de riesgo (variables independientes) y resultados.

El predictivo busca pronosticar o predecir qué va a pasar en el futuro (eventos no ocurridos). El prescriptivo busca predecir qué va a pasar tras realizar una intervención, puede inferir cómo podemos influir mediante una intervención en el presente sobre los hechos futuros.

Por ello, el *machine learning* está ubicado en el entorno predictivo y prescriptivo, aunque los algoritmos diagnósticos y de patrones podrían encuadrarse en el análisis descriptivo (Char, Shah & Magnus, 2018) (ver Ilustración 6).

Ilustración 6. Relación de valor y dificultad



Aprendizaje supervisado

Son los más utilizados. Estos algoritmos operan con datos etiquetados; utilizan un historial de datos con el que aprenden a asignar la etiqueta de salida correspondiente a los nuevos valores, o lo que es lo mismo, predicen qué valor tendrán. Algunos de ellos son:

- Redes neuronales
- Regresión por mínimos cuadrados

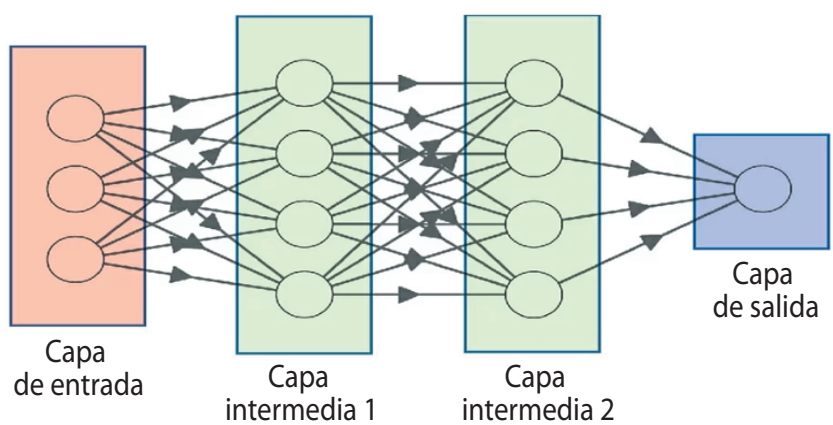
- Árboles de decisión
- Regresión logística.
- Clasificación de Naïve Bayes.
- Máquinas de vectores de soporte SVM (He, Baxter, Xu, Xu, Zhou & Zhang, 2019)

Redes neuronales

Se basa fundamentalmente en sucesivas capas de transformación de los datos, está diseñado para reconocer patrones, es muy potente y a su vez más complejo. Tienen renombre porque se han obtenido algunos de los resultados más impresionantes con grandes volúmenes de datos (Shahid, Rappon & Berta, 2019).

La primera capa se centra en aprender un concepto básico, la segunda en algo más complejo, y así sucesivamente va profundizando hasta alcanzar el resultado deseado (ver ilustración 7). Se usa para dar soluciones a problemas muy específicos. Aprenden con ejemplos, en lugar de ser programados con un conjunto específico de reglas. Son capaces de modelar procesos no lineales y pueden ser implementados en medicina en: reconocimiento de patrones, minería de datos, detección de variedades de cáncer en los pacientes, entre otros.

Ilustración 7. Algoritmos de red neuronal

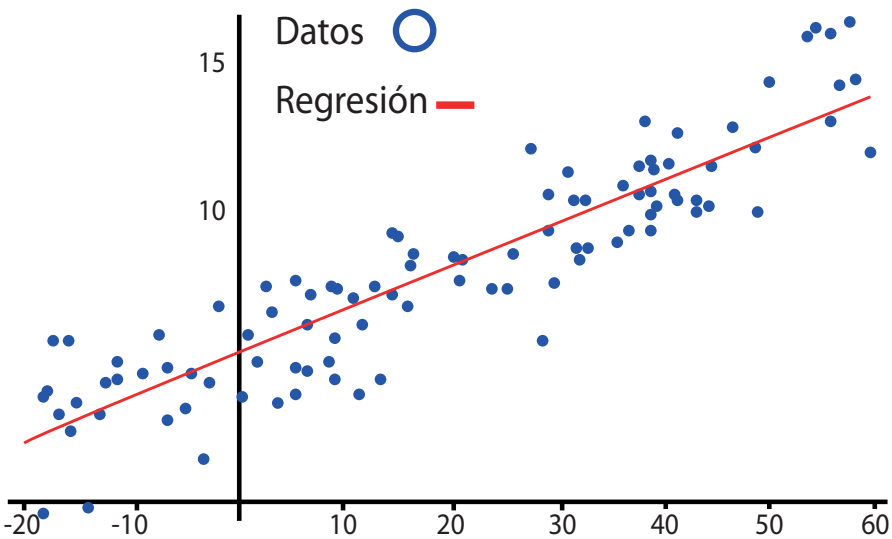


Regresión lineal

Modelan la relación que existe entre una variable dependiente y una o más variables independientes. Hallan la línea recta para la media o la tendencia que mejor se adecue con el conjunto de puntos dados. Se usan métodos como “mínimos cuadrados”, que busca minimizar la distancia vertical de todos los puntos a la línea.

La línea suele calcularse con la función de costo del error cuadrático. Es uno de los tipos de análisis de regresión más populares. Es un método guiado, es decir, un conjunto inicial de datos puntos para aprender de ellos y poder hacer buenas predicciones (Agier, Portengen, Chadeau-Hyam, Basagaña, Giorgis-Allemand, Siroux ... & Vermeulen, 2016) (ver ilustración 8).

Ilustración 8. Regresión lineal



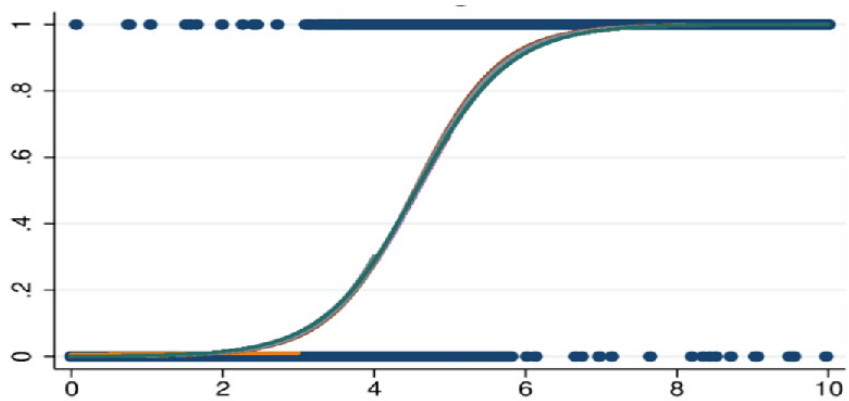
Regresión logística

Orientada a resolver problemas de clasificación y no de predicción. Capaces de asignar una categoría u otra dadas unas características de entrada. Se apoya en una función logística, como la función sigmoide (ver ilustración 9),

que toma como entrada cualquier número real y devuelve un número real y se interpreta como una probabilidad. Se necesita un juego de datos previamente clasificados para entrenar el algoritmo de regresión logística. Se traza sobre el sistema de información una curva continua en forma de S sobre los datos aportados para el análisis que permitan entregar la confiabilidad a partir de la información depurada durante el entrenamiento.

Los valores de salida son continuos. Es usado en medicina para la detección de cáncer, procesamiento, segmentación y categorización de imágenes (Shameer, Johnson, Glicksberg, Dudley & Sengupta, 2018; Hosmer Jr., Lemeshow & Sturdivant, 2013).

Ilustración 9. Regresión logística



SVM

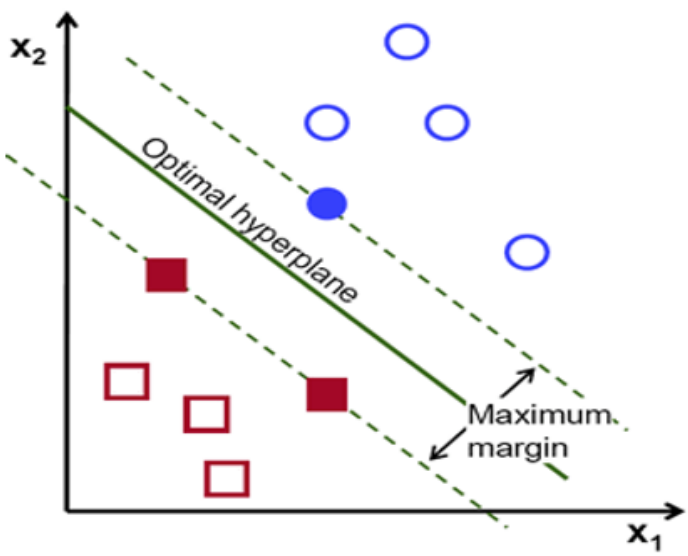
Se utiliza generalmente para solucionar problemas de clasificación y análisis de regresión. Dibujan un hiperplano entre dos puntos que maximiza la distancia a las diferentes clases, el cual es conocido como el "máximo".

Una vez hallado este hiperplano (ver ilustración 10), se usa para clasificar nuevos puntos. Dibuja un hiperplano según los puntos de datos más cercanos y clasifica los datos según un espacio n-dimensional.

La N representa el número de las diferentes características. Es muy eficaz en los casos en que el número de dimensiones supera el número de muestras y es extremadamente eficiente y con alto grado de confianza en el sector salud y otras áreas de aplicación en el campo de la medicina.

Se aplica en el campo de medicina en: detección facial, clasificación de imágenes, descubrimiento de drogas para la terapia, bioinformática (clasificación de proteínas, genes, biología o cáncer en diferentes partes del cuerpo), para medicinas alternativas, también para el manejo de datos sobre soluciones en la nube a nivel de entornos como CRM o ARP corporativos (Venkatesan, Karthigaikumar, Paul, Satheeskumaran & Kumar, 2018).

Ilustración 10. Hiperplano de SVM



Random forest o bosques aleatorios

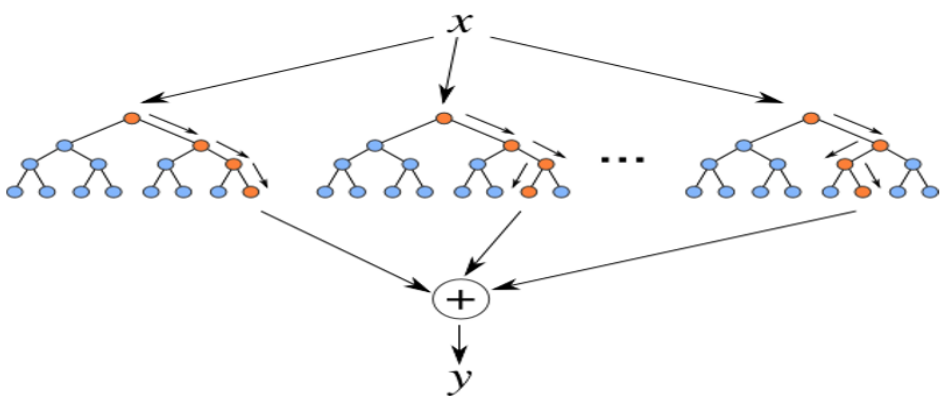
Es uno de los algoritmos más potentes y usados. Consiste en una combinación de múltiples árboles de decisión que juntos conforman un "bosque". Dado un valor de entrada, se clasifica en una rama u otra en base a una condición. Pueden ser más o menos profundos y complejos y

la dificultad está en definirlos de forma correcta para que nos clasifiquen correctamente los datos de nuestro problema.

Hace uso de un conjunto de árboles de decisión y a cada uno le asigna una porción de los datos de ejemplo o entrenamiento (ver Ilustración 11). El resultado final será la combinación del criterio de todos los árboles que formen el bosque. Es ideal para repartir y paralelizar el trabajo de computación. Utilizan una variedad de algoritmos para resolver la clasificación, la regresión y problemas similares mediante la implementación de árboles de decisión (Fawagreh & Gaber, 2020).

Tiene muchas aplicaciones en el sector salud para la clasificación de enfermedades de pacientes. Se usan en salud en: detectar y predecir la sensibilidad a las drogas de un medicamento o identificar la enfermedad de un paciente analizando su historial médico.

Ilustración 11. Bosques aleatorios



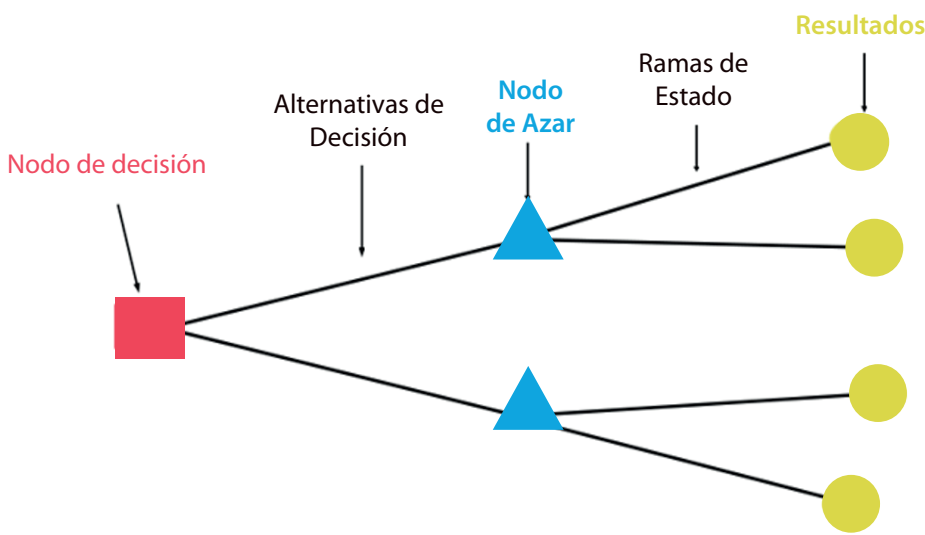
Árboles de decisión

Es un algoritmo supervisado y automático (ver ilustración 12) muy utilizado. Aprende de una variable dependiente en el conjunto de entrenamiento. Similar a un diagrama de flujo, clasifica los datos mediante variables continuas y categóricas. Es un mapa de los posibles resultados de una serie de decisiones relacionadas entre las diferentes variables consideradas a partir de los datos contrastados a partir de la información aportada.

Dividen los datos en dos o más conjuntos o sistemas homogéneos. Usan reglas *if-then* para separar los datos según el diferenciador más significativo entre los puntos de datos.

Se utilizan en medicina para crear plataformas de gestión del conocimiento, pronosticar predicciones e identificar posibilidades en diversos ámbitos, entre otros (Jalal, Pechlivanoglou, Krijkamp, Alarid-Escudero, Enns & Hunink, 2017).

Ilustración 12. Árboles de decisión



Algoritmo de Naïve Bayes

Es un algoritmo de clasificación. Es una familia de simples clasificadores probabilísticos basado en la aplicación de Naïve Bayes del "teorema con fuertes supuestos de independencia entre las características" para problemas de clasificación y regresión. Aprovechan la probabilidad en el aprendizaje automático. Se usa en medicina para análisis de *software* de reconocimiento facial (Shinde & Prasad, 2017).

No supervisado

Se presentan cuando los datos etiquetados no están disponibles para poder entrenar con ellos. Así pues, no se tiene la posibilidad de predecir. Por tanto, estos algoritmos se emplean regularmente en trabajos donde es preciso agrupar entidades por afinidad o analizar información para obtener un conocimiento nuevo.

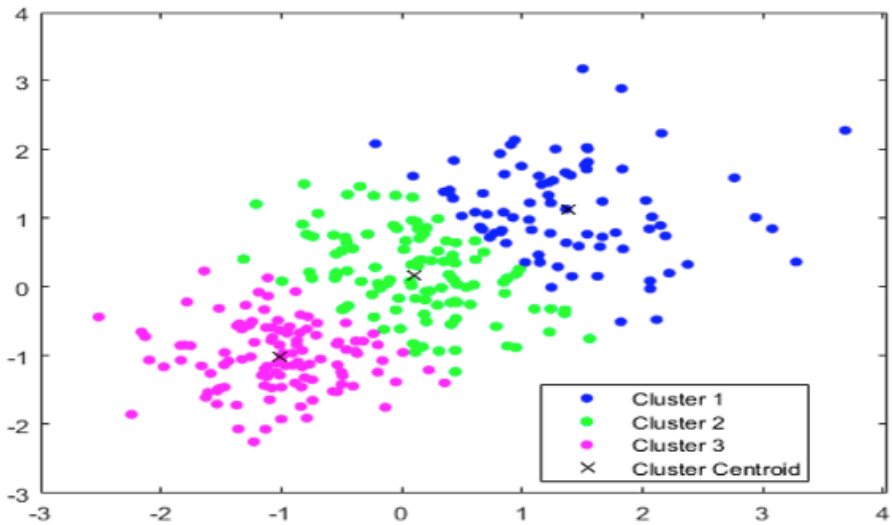
No obstante, se debe tener presente que los problemas que implican reducción de datos, predicción de enlaces o encuentro de similitudes pueden ser o no ser supervisados. El algoritmo de *clustering* es el más utilizado (Srividya, Mohanavalli & Bhalaji, 2018).

Clustering K-means

Es un algoritmo iterativo y matemático que agrupa un conjunto de objetos no etiquetados y crea subgrupos de datos llamados clústeres, capaz de encontrar clústeres o relaciones entre los datos que se tienen sin necesidad de entrenarlo previamente.

Su uso es extendido en diferentes ámbitos; es complejo computacionalmente hablando y puede requerir mucha capacidad de cómputo. El sistema puede analizar los datos, realizar la tarea y encontrar los posibles errores dentro de su funcionamiento. Agrega una colección de puntos de datos basados en su similitud (ver ilustración 13). Las aplicaciones en la vida real de este algoritmo incluyen la detección de huellas dactilares, entre otros (Ogbuabor & Ugwoke, 2018).

Ilustración 13. ***Clustering K-means***



Por refuerzo

Utiliza un proceso de retroalimentación para mejorar la respuesta del modelo. La experiencia es la base del algoritmo que aprende integrando todo lo que le rodea. De hecho, el *feedback* que recibe del mundo exterior es su principal información de entrada. Por ello, se dice que se trata de un estudio basado en el ensayo-error. No están entrenados inicialmente. Aprenden del ensayo y error sobre la marcha.

Discusión

En América Latina, en general se avanza en desarrollos de *machine learning* (Mallishery, Chhatpar, Banga, Shah & Gupta, 2020) y en el sector salud o medicina, a gran escala (Kunz, Stellzig-Eisenhauer, Zeman & Boldt, 2020). En Europa, se destacan avances en España (Panch, Szolovits & Atun, 2018) en sistemas basados en redes neuronales artificiales y algoritmos predictivos para la detección temprana del cáncer de mama, entre otros (Ghassemi, Naumann, Schulam, Beam, Chen & Ranganath, 2020; Doupe, Faghmous & Basu, 2019).

En cuanto a la salud oral, dentro del marco de la presente investigación, el *machine learning* crece de manera óptima otorgando nuevas perspectivas en el diagnóstico, clasificación y predicción de enfermedades orales, para la planificación del tratamiento y para la evaluación y predicción de resultados (Gajic, Vojinovic, Kalevski, Pavlovic, Kolak, Vukovic ... & Aleksic, 2021).

En periodoncia (Leite, Vasconcelos, Willems & Jacobs, 2020), se trabaja en la clasificación y control de la placa dental (Imangaliyev, Van der Veen, Volgenant, Loos, Keijser, Crielaard & Levin, 2017), en segmentación de enfermedades gingivales (Allareddy, Rengasamy Venugopalan, Nalliah, Caplin, Lee & Allareddy, 2019), en evaluación automatizada de bolsas periodontales (Zhang, Meng, Zhang, Jia, Lin, Wang ... & Wei, 2018) y en el diagnóstico y predicción de dientes comprometidos periodontalmente (Lee, Kim, Jeong & Choi, 2018).

En ortodoncia, se trabaja en el estudio de imágenes (Lee, Kim, Jeong & Choi, 2018), predicción del crecimiento y morfología mandibular en ortodoncia, modelos de predicción de tratamiento y resultados (Allareddy, Rengasamy Venugopalan, Nalliah, Caplin, Lee & Allareddy, 2019), evaluación del riesgo genético de la fisura orofacial, análisis de cóndilos mandibulares y trastorno de la articulación temporomandibular (Leite, Vasconcelos, Willems & Jacobs, 2020).

En odontología restauradora y endodoncia en: ubicación del foramen apical menor en cadáveres, caracterización de expresión génica de quiste radicular y granuloma periapical (Johari, Esmaeili, Andalib, Garjani & Saberkari, 2017); detección de fracturas radiculares verticales en dientes intactos y tratados endodónticamente, evaluación de lesiones periapicales (reparación ósea) después del tratamiento (Yang, Xie, Liu, Xia, Cao & Guo, 2018) y evaluación de la morfología radicular en radiografías (De Tobel, Radesh, Vandermeulen & Thevissen, 2017).

En aplicaciones forenses y cirugía en: determinación automatizada de edades esqueléticas y dentales (Miki, Muramatsu, Hayashi, Zhou, Hara, Katsumata & Fujita, 2017), autopsia con métodos robóticos impulsados por IA (O'Sullivan, Leonard, Holzinger, Allen, Battaglia, Nevejans ... & Gallagher, 2020), diferenciación de diferentes tumores mandibulares (Thanathornwong & Suebnukarn, 2020), evaluación del impacto del tratamiento ortognático sobre el atractivo facial y la edad estimada y robótica autónoma impulsada por inteligencia artificial para realizar cirugías y biopsias (Patcas, Bernini, Volokitin, Agustsson, Rothe & Timofte, 2019; Tarassoli, 2019).

Tabla 1. Diferencias entre aprendizaje supervisado, no supervisado y por refuerzo

Aprendizaje supervisado	Aprendizaje no supervisado	Por refuerzo
Los resultados que se desean obtener del modelo son conocidos previamente. Los conjuntos de datos de salida se utilizan para preparar la máquina y para obtener los resultados deseados. Los modelos son predictivos. Tiene la intención de encontrar patrones en datos que se pueden aplicar a un proceso de analítica.	El entrenamiento con datos masivos no se realiza con datos etiquetados previamente, el algoritmo los etiqueta automáticamente. Se usa si se necesita explorar datos y se desea entrenar un modelo para localizar una buena representación interna. Las muestras de datos solo cuentan con las variables de entrada. No hay una salida a predecir que pueda guiar a los algoritmos.	Permite a los agentes y software definir automáticamente el comportamiento ideal dentro de un contexto específico, teniendo en cuenta el feedback. Puede aprender una sola vez y continúa ajustándose y mejorando con el paso del tiempo. Es de aprendizaje conductual; aprende a través de la prueba y el error.

Aprendizaje supervisado	Aprendizaje no supervisado	Por refuerzo
Utiliza conjuntos de datos clasificados, establecidos y conocidos para encontrar patrones. Se suele usar en problemas de clasificación y regresión. Elaboran predicciones basadas en un conjunto de ejemplos etiquetados que se les proporciona. Proporciona una ruta directa para convertir datos en información real y procesable.	Los modelos son descriptivos. Las tareas con los datos son agrupamiento, asociación y reducción de variables. Son de carácter exploratorio. Se suelen usar en problemas de clustering para agrupamientos de coocurrencias y perfilado. Útil cuando no se sabe cuál debe ser el resultado (Obermeyer & Lee, 2017).	Fija objetivos a largo plazo para obtener una recompensa general máxima y lograr una solución óptima. Su objetivo es encontrar un equilibrio perfecto entre la exploración y la explotación sin necesidad de datos etiquetados o de la intervención del usuario. Funciona eligiendo una acción y observando las consecuencias; en base a ello, aprende cuán óptimo es el resultado. Este proceso se repite una y otra vez hasta que el algoritmo evoluciona y elige la estrategia correcta.

Conclusiones

El sector salud desde hace muchos años usa los algoritmos de *machine learning* supervisado, no supervisado y por refuerzo de manera innovadora, moderna, dinámica y creativa acorde a la Cuarta Revolución Industrial y las nuevas tendencias tecnológicas aplicadas al sector salud como tecnología disruptiva, jugando un papel preponderante en el desarrollo de procedimientos médicos a partir de los datos digitales almacenados en diferentes fuentes que permiten la integración hacia su transformación

digital, generando valor agregado a todos los sectores donde se deseen implementar, siendo el aprendizaje automático junto con sus herramientas para la analítica de datos de amplia utilización de manera predictiva y descriptiva en el sector de la medicina y la salud para predecir, diagnosticar, tratar y validar diversos aspectos en los pacientes dado el contexto específico de cada uno de ellos.

En el marco de la investigación, se puede destacar que los algoritmos de agrupamiento son una excelente manera de aprender cosas nuevas a partir de datos antiguos. Se destaca el uso del agrupamiento en el aprendizaje no supervisado, siendo el agrupamiento útil para cualquier problema de aprendizaje automático sin supervisión y para la toma de decisiones en el sector salud. Otros métodos como el de regresión logística y las redes neuronales también ofrecen garantías en su implementación durante la validación de procesos iterativos para poder realizar predicciones más ajustadas con el entrenamiento a partir de los datos que se aporten y que se pueden entregar al algoritmo para generar un alto grado de confianza en los resultados entregados.

También, los algoritmos de *machine learning* de aprendizaje supervisado, los de mayor aplicación en el sector salud, los cuales, con conocimiento previo de cuáles deberían ser los valores de salida, aprenden una función dada con los datos de muestra y resultados deseados para predecir pronósticos y proveer diagnósticos. Es especialmente útil en actividades médicas que requieran de trabajo repetitivo y de manipulación de muchos datos.

Los algoritmos de *machine learning* no son herramientas perfectas e inmediatas, deben ser una extensión de los procedimientos estadísticos. Su calidad en los resultados depende de la cantidad y calidad de los datos que los alimentan, por lo tanto, la generación y recolección de la información es estratégica para lograr resultados robustos y válidos que permitan apoyar la toma de decisiones en el campo de la medicina y la salud.

Finalmente, los diferentes algoritmos de*machine learning* no son mejores unos u otros, sino que estos se deben contrastar y validar acorde al contexto de aplicación dentro del marco de los datos con los que se cuente para el entrenamiento de los diferentes modelos; el éxito está en definir de manera clara y concisa el objetivo del aprendizaje automático y las características del conjunto de datos que se tiene, para así seleccionar el tipo de aprendizaje que mejor se ajusta para dar una solución que responda a las necesidades actuales para el sector salud.

Referencias

Alauddin, M. S., Baharuddin, A. S. & Mohd Ghazali, M. I. (2021, January). "The modern and digital transformation of oral health care: A mini review". In *Healthcare* (Vol. 9, No. 2, p. 118). MDPI.

Allareddy, V., Rengasamy Venugopalan, S., Nalliah, R. P., Caplin, J. L., Lee, M. K. & Allareddy, V. (2019). "Orthodontics in the era of big data analytics". *Orthodontics & Craniofacial Research, 22,* 8-13.

Agier, L., Portengen, L., Chadeau-Hyam, M., Basagaña, X., Giorgis-Allemand, L., Siroux, V. ... & Vermeulen, R. (2016). "A systematic comparison of linear regression–based statistical methods to assess exposome-health associations". *Environmental Health Perspectives, 124*(12), 1848-1856.

Char, D. S., Shah, N. H. & Magnus, D. (2018). "Implementing machine learning in health care—addressing ethical challenges". *The New England Journal of Medicine, 378*(11), 981.

Doupe, P., Faghmous, J. & Basu, S. (2019). "Machine learning for health services researchers". *Value in Health, 22*(7), 808-815.

De Tobel, J., Radesh, P., Vandermeulen, D. & Thevissen, P. W. (2017). "An automated technique to stage lower third molar development on panoramic radiographs for age estimation: a pilot study". *The Journal of Forensic Odonto-stomatology, 35(*2), 42.

Fawagreh, K. & Gaber, M. M. (2020). "Resource-efficient fast prediction in healthcare data analytics: A pruned Random Forest regression approach". *Computing, 102*(5), 1187-1198.

Ghassemi, M., Naumann, T., Schulam, P., Beam, A. L., Chen, I. Y. & Ranganath, R. (2020). "A review of challenges and opportunities in machine learning for health". *AMIA Summits on Translational Science Proceedings, 2020,* 191.

Gajic, M., Vojinovic, J., Kalevski, K., Pavlovic, M., Kolak, V., Vukovic, B. ... & Aleksic, E. (2021). "Analysis of the impact of oral health on adolescent quality of life using standard statistical methods and artificial intelligence algorithms". *Children, 8*(12), 1156.

He, J., Baxter, S. L., Xu, J., Xu, J., Zhou, X. & Zhang, K. (2019). "The practical implementation of artificial intelligence technologies in medicine". *Nature Medicine, 25*(1), 30-36.

Hosmer Jr., D. W., Lemeshow, S. & Sturdivant, R. X. (2013). *Applied logistic regression* (Vol. 398). John Wiley & Sons.

Hung, K., Yeung, A. W. K., Tanaka, R. & Bornstein, M. M. (2020). "Current applications, opportunities, and limitations of AI for 3D imaging in dental research and practice". *International Journal of Environmental Research and Public Health, 17*(12), 4424

Imangaliyev, S., Van der Veen, M. H., Volgenant, C., Loos, B. G., Keijser, B. J., Crielaard, W. & Levin, E. (2017). *Classification of quantitative light-induced fluorescence images using convolutional neural network.* arXiv preprint arXiv:1705.09193

Jalal, H., Pechlivanoglou, P., Krijkamp, E., Alarid-Escudero, F., Enns, E. & Hunink, M. M. (2017). "An overview of R in health decision sciences". *Medical Decision Making, 37*(7), 735-746.

Joda, T., Waltimo, T., Pauli-Magnus, C., Probst-Hensch, N. & Zitzmann, N. U. (2018). "Population-based linkage of big data in dental research". *International Journal of Environmental Research and Public Health, 15*(11), 2357.

Johari, M., Esmaeili, F., Andalib, A., Garjani, S. & Saberkari, H. (2017). "Detection of vertical root fractures in intact and endodontically treated premolar teeth by designing a probabilistic neural network: an ex vivo study". *Dentomaxillofacial Radiology, 46*(2), 20160107

Jiménez Herrera, L. G. (2021). "Inteligencia artificial como potencia de herramienta en salud". *Infodir*, (36).

Jiang, F., Jiang, Y., Zhi, H., Dong, Y., Li, H., Ma, S. ... & Wang, Y. (2017). "Artificial intelligence in healthcare: past, present and future". *Stroke and Vascular Neurology, 2*(4).

Jones, L. D., Golan, D., Hanna, S. A. & Ramachandran, M. (2018). "Artificial intelligence, machine learning and the evolution of healthcare: A bright future or cause for concern?". *Bone & Joint Research, 7*(3), 223-225.

Kavakiotis, I., Tsave, O., Salifoglou, A., Maglaveras, N., Vlahavas, I. & Chouvarda, I. (2017). "Machine learning and data mining methods in diabetes research". *Computational and Structural Biotechnology Journal, 15,* 104-116.

Kitchenham, B. (2004). "Procedures for performing systematic reviews". *Keele, UK, Keele University, 33*(2004), 1-26.

Kunz, F., Stellzig-Eisenhauer, A., Zeman, F. & Boldt, J. (2020). "Artificial intelligence in orthodontics". *Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie, 81*(1), 52-68.

Leite, A. F., Vasconcelos, K. D. F., Willems, H. & Jacobs, R. (2020). "Radiomics and machine learning in oral healthcare". *PROTEOMICS–Clinical Applications, 14*(3), 1900040

Lee, J. H., Kim, D. H., Jeong, S. N. & Choi, S. H. (2018). "Detection and diagnosis of dental caries using a deep learning-based convolutional neural network algorithm". *Journal of Dentistry, 77,* 106-111.

Lee, D. & Yoon, S. N. (2021). "Application of artificial intelligence-based technologies in the healthcare industry: Opportunities and challenges". *International Journal of Environmental Research and Public Health, 18*(1), 271.

Li, Y., Chen, C. Y. & Wasserman, W. W. (2016). "Deep feature selection: theory and application to identify enhancers and promoters". *Journal of Computational Biology, 23*(5), 322-336.

López Martínez, F. E. (2020). *A Big Data and Machine Learning Model to Improve Medical Decision Support in Population Health Management.*

Mallishery, S., Chhatpar, P., Banga, K. S., Shah, T. & Gupta, P. (2020). "The precision of case difficulty and referral decisions: an innovative automated approach". *Clinical Oral Investigations, 24*(6), 1909-1915

Miki, Y., Muramatsu, C., Hayashi, T., Zhou, X., Hara, T., Katsumata, A. & Fujita, H. (2017). "Classification of teeth in cone-beam CT using deep convolutional neural network". *Computers in Biology and Medicine, 80,* 24-29.

Navarro, N. & Cedeno-Moreno, D. (2022, October). "Study on technologies implemented in the area of mental health for older adults Post-COVID-19". In *2022 8th International Engineering, Sciences and Technology Conference (IESTEC)* (pp. 197-203). IEEE.

Noorbakhsh-Sabet, N., Zand, R., Zhang, Y. & Abedi, V. (2019). "Artificial intelligence transforms the future of health care". *The American Journal of Medicine, 132*(7), 795-801.

Obermeyer, Z. & Lee, T. H. (2017). "Lost in thought: the limits of the human mind and the future of medicine". *The New England Journal of Medicine, 377*(13), 1209.

O'Sullivan, S., Leonard, S., Holzinger, A., Allen, C., Battaglia, F., Nevejans, N. ... & Gallagher, A. G. (2020). "Operational framework and training standard *requirements for AI-empowered robotic surgery". The International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery, 16*(5), 1-13.

Ogbuabor, G. & Ugwoke, F. N. (2018). "Clustering algorithm for a healthcare dataset using silhouette score value". *International Journal of Computer Science & Information Technology, 102*(2018), 27-37.

Panch, T., Szolovits, P. & Atun, R. (2018). "Artificial intelligence, machine learning and health systems". *Journal of Global Health, 8*(2).

Patcas, R., Bernini, D. A., Volokitin, A., Agustsson, E., Rothe, R. & Timofte, R. (2019). "Applying artificial intelligence to assess the impact of orthognathic treatment on facial attractiveness and estimated age". *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery, 48*(1), 77-83

Pérez Benito, F. J. (2020). *Healthcare data heterogeneity and its contribution to machine learning performance* (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).

Purushotham, S., Meng, C., Che, Z. & Liu, Y. (2018). "Benchmarking deep learning models on large healthcare datasets". *Journal of Biomedical Informatics, 83*, 112-134.

Rayan, Z., Alfonse, M. & Salem, A. B. M. (2019). "Machine learning approaches in smart health". *Procedia Computer Science, 154,* 361-368.

Rodríguez Martínez, M. (2021). *Análisis de las demandas médicas en el IMSS (2004-2016), con la implementación de un Expediente Clínico Único y de Siniestros (ECUS)* (Doctoral dissertation, Universidad Internacional Iberoamericana México).

Rong, G., Méndez, A., Assi, E. B., Zhao, B. & Sawan, M. (2020). "Artificial intelligence in healthcare: review and prediction case studies". *Engineering, 6*(3), 291-301.

Reyes Cardoza, C. M. (2021). *Programa" Campus Saludable" y cambios en la dieta y los comportamientos alimentarios adoptados por sus beneficiarios estudiantes y trabajadores de la Universidad Centroamericana de Nicaragua* (Doctoral dissertation, Universidad Internacional Iberoamericana México).

Ruiz Avendaño, J. R. (2021). *Evaluación de algoritmos de aprendizaje de máquina para la detección de signos de depresión en jóvenes estudiantes a partir de interacciones textuales en redes sociales.*

Santos, M. K., Ferreira, J. R., Wada, D. T., Tenorio, A. P. M., Barbosa, M. H. N. & Marqués, P. M. D. A. (2019). "Artificial intelligence, machine learning, computer-aided diagnosis, and radiomics: advances in imaging towards to precision medicine". *Radiologia Brasileira, 52,* 387-396.

Shahid, N., Rappon, T. & Berta, W. (2019). "Applications of artificial neural networks in health care organizational decision-making: A scoping review". *PloS One, 14*(2), e0212356.

Sidey-Gibbons, J. A. & Sidey-Gibbons, C. J. (2019). "Machine learning in medicine: a practical introduction". *BMC Medical Research Methodology, 19*(1), 1-18.

Shameer, K., Johnson, K. W., Glicksberg, B. S., Dudley, J. T. & Sengupta, P. P. (2018). "Machine learning in cardiovascular medicine: are we there yet?". *Heart, 104*(14), 1156-1164.

Shortliffe, E. H. & Sepúlveda, M. J. (2018). "Clinical decision support in the era of artificial intelligence". *Jama, 320*(21), 2199-2200.

Schwalbe, N. & Wahl, B. (2020). "Artificial intelligence and the future of global health". *The Lancet, 395*(10236), 1579-1586.

Shinde, T. A. & Prasad, J. R. (2017). "IoT based animal health monitoring with Naïve Bayes classification". *Int. J. Emerg. Trends Technol, 1*(2), 252-257.

Srividya, M., Mohanavalli, S. & Bhalaji, N. (2018). "Behavioral modeling for mental health using machine learning algorithms". *Journal of Medical Systems, 42*(5), 1-12.

Thanathornwong, B. & Suebnukarn, S. (2020). "Automatic detection of periodontal compromised teeth in digital panoramic radiographs using faster regional convolutional neural networks". *Imaging Science in Dentistry, 50*(2), 169.

Tarassoli, S. P. (2019). "Artificial intelligence, regenerative surgery, robotics? What is realistic for the future of surgery?". *Annals of Medicine and Surgery, 41,* 53-55.

Vayena, E., Blasimme, A. & Cohen, I. G. (2018). "Machine learning in medicine: addressing ethical challenges". *PLoS medicine, 15*(11), e1002689.

Venkatesan, C., Karthigaikumar, P., Paul, A., Satheeskumaran, S. & Kumar, R. (2018). "ECG signal preprocessing and SVM classifier-based abnormality detection in remote healthcare applications". *IEEE Access, 6*, 9767-9773.

Yang, J., Xie, Y., Liu, L., Xia, B., Cao, Z. & Guo, C. (2018, July). "Automated dental image analysis by deep learning on small dataset". In *2018 IEEE 42nd annual computer software and applications conference (COMPSAC)* (Vol. 1, pp. 492-497). IEEE.

Yao, Z. J., Bi, J. & Chen, Y. X. (2018). "Applying deep learning to individual and community health monitoring data: A survey". *International Journal of Automation and Computing, 15*(6), 643-655.

Zhang, S. J., Meng, P., Zhang, J., Jia, P., Lin, J., Wang, X. ... & Wei, X. (2018). "Machine learning models for genetic risk assessment of infants with non-syndromic orofacial cleft". *Genomics, Proteomics & Bioinformatics, 16(*5), 354-364.

Capítulo 02

Migración a la nube en PYMES y MIPYMES: una revisión basada en buenas prácticas desde la gestión TI

Cloud Migration in SMEs and My SMEs: A Best Practices-Based Review from IT Management

Raúl Bareño Gutiérrez
rbarenog@ucompensar.edu.co

José de los Santos Solórzano
jdsolorzano@ucompensar.edu.co

Sandra Milena García Córdoba
smgarciacordoba@ucompensar.edu.co

Constanza Alvarado Mariño
dcalvarado@ucompensar.edu.co

Proyecto padre

Este capítulo emerge como fruto de la investigación denominada **"Modelo para la migración de servicios al entorno cloud por parte de las pymes y mipymes articuladas con las prácticas empresariales de la Fundación Universitaria Compensar"**, que cuenta con la aprobación oficial del Comité de Investigaciones bajo el código **PI0920221**.

Institución financiadora: **Fundación Universitaria Compensar**

Resumen

La gestión de la tecnología en coherencia con los procesos de negocio marca una necesidad en las organizaciones pymes y mipymes independiente de su actividad económica, lo cual representa un reto a la competitividad del país. Por lo tanto, deben las organizaciones alinearse con las nuevas tendencias tecnológicas que les permitan resolver las necesidades funcionales acordes a sus líneas o modelos de negocio, basados en la amplia variedad de las diferentes arquitecturas empresariales actuales, que les permitan mantener en operación sus servicios a nivel de interconexión, infraestructura y *software*, entre otros. Las soluciones bajo *cloud computing* ofrecen modelos orientados a IaaS, SaaS, y PaaS, que se deben considerar desde diferentes visiones, variables y estrategias para encontrar beneficios en la gestión, la gobernabilidad, los costos, la escalabilidad y la flexibilidad a la hora de desplegar sus servicios funcionales en la nube, evaluando aspectos técnicos y organizacionales. La metodología de investigación aplicada con enfoque cualitativo, sobre el análisis de diferentes fuentes recopiladas, permitió reconocer una cantidad de escenarios para la gestión TI y su coherencia con el "*core*" del negocio, como TOGAF, ISO, COBIT, ITIL, ZACHMAN, y los modelos de aceptación tecnológica, para la medición de la usabilidad en los servicios y productos de tecnología en la nube, que les permiten a las organizaciones mejorar sus procesos para mantener competitividad, articulados con la tecnología como base de todo tipo de negocio presente y futuro.

Palabras claves

Pymes, mipymes, computación en la nube, gestión TI, migración en la nube, modelos de aceptación tecnológica.

Abstract

Technology management in line with business processes is a necessity for SMEs and microenterprises, regardless of their economic activity, and it poses a challenge to the competitiveness of the country. Therefore, organizations must align themselves with new technological trends that allow them to address functional needs according to their business lines or models, based on the wide variety of current enterprise architectures. This enables them to maintain operational services in terms of interconnection, infrastructure, software, and more. Cloud computing solutions offer models oriented towards IaaS, SaaS, and PaaS, which need to be considered from different perspectives, variables, and strategies to find benefits in management, governance, costs, scalability, and flexibility when deploying functional services to the cloud. This evaluation encompasses technical and organizational aspects. The applied research methodology, with a qualitative approach and analysis of various collected sources, enabled the recognition of numerous scenarios for IT management and its coherence with the core of the business, such as TOGAF, ISO, COBIT, ITIL, ZACHMAN, and technology acceptance models for measuring the usability of cloud technology services and products. This allows organizations to improve their processes and maintain competitiveness by aligning with technology as the foundation of all present and future business endeavors.

Keywords

SMEs, MSMEs, cloud computing, TI management, cloud migration, technologic acceptance models.

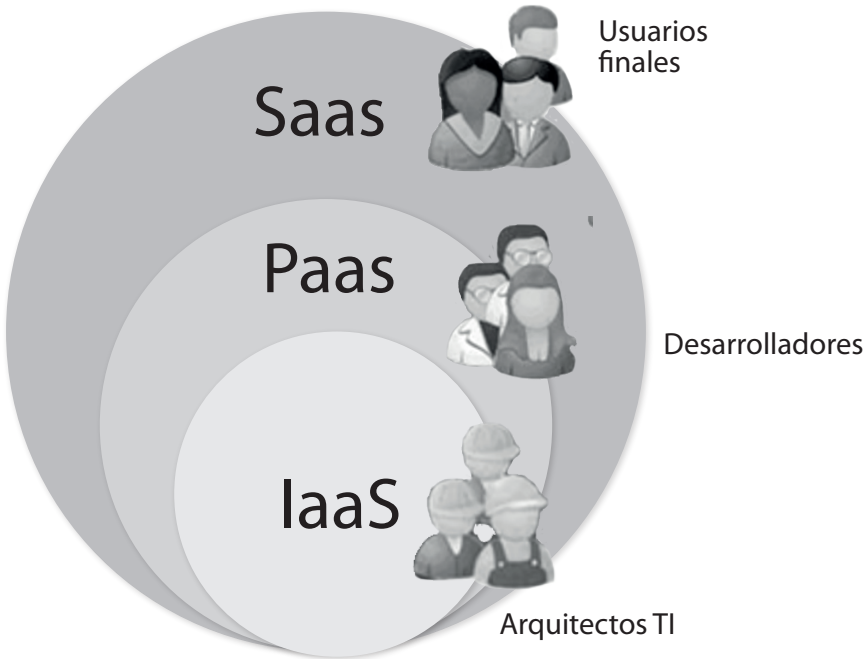
Introducción

Las Tecnologías de la Información (TI) se han convertido en un importante recurso estratégico que cualquier organización debe gestionar (Ali *et al.*, 2013). Se ha reconocido que los servicios de TI son activos organizativos cruciales y estratégicos, por lo que las organizaciones están invirtiendo una cantidad considerable de recursos para el apoyo, la prestación de servicios de TI y los sistemas que los sustentan. Las empresas están aplicando diversas normas y mejores prácticas de TI para apoyar sus servicios de negocio (González Varona, 2021).

Desde hace muchos años en Colombia, con el auge de la globalización en la economía, los sectores más afectados son las micros y medianas empresas, siendo la pandemia el factor definitivo para el cierre de muchas de ellas; otras tuvieron que aplicar reingeniería hacia la transformación digital acorde con la tecnología en muchos de sus procesos, para que los hicieran más competitivos, ampliando y mejorando sus portafolios de servicios (Ercolani, 2018; Bohn, 2011; Attaran, 2017).

Por ello, es fundamental que las organizaciones implementen parte de sus portafolios sobre servicios basados en tecnología en la nube a partir de equipos remotos, servidores con almacenamiento, *software* o aplicaciones de la empresa que se pueden acceder y utilizar desde cualquier lugar, siendo estas beneficiadas por la versatilidad de estos portafolios (Marta, Correia & Neto, 2011; Heredia Chabla, 2021). Esto permitirá un giro del negocio sin preocupaciones tecnológicas y produciendo sostenibilidad a las mismas organizaciones mediante soluciones de: infraestructura como servicio (IaaS), plataforma como servicio (PaaS) y *software* como servicio (SaaS), entre otras (ver ilustración 14) (Guala Toapaxi, 2021; De Parga, 2011).

Ilustración 14. Soluciones para pymes



Fuente: Arévalo Navarro (2012). Cloud computing: fundamentos, diseño y arquitectura aplicados a un caso de estudio.

Las soluciones *cloud computing* son claves para las organizaciones, específicamente para el área de TI (Vázquez-Ramírez, 2021), presentes y futuras, agregando valor y mejorando el crecimiento, la riqueza y el empleo en la economía global, el ahorro de costes inmediato (Guerra Mera *et al.*, 2018), mayor productividad y mejor capacidad de respuesta al negocio (Tumer 2010).

La computación en la nube es uno de estos últimos desarrollos en el escenario de las TI. Propone un nuevo modelo de prestación de servicios informáticos basado en internet que implica fuentes de datos dinámicamente escalables y casi siempre virtualizadas (Kratzke, 2011). La mayor parte de la eficiencia de los servicios en la nube se debe a la eficiencia de la capacidad del proveedor pagado sobre la eficacia de los enfoques en el mismo medio (la nube) (Talukaderetal, 2010).

Las soluciones *cloud* ofrecen muchas ventajas al sector pymes, como: simplicidad de la gestión, escalabilidad, optimización de costos, seguridad, agrupación de recursos sin limitaciones de espacio, asignación de recursos virtuales, elasticidad, recuperación de desastres, rendimiento, mantenimiento y mejora en la productividad (Ghaffari, Delgosha & Abdolvand, 2014; Assante, Castro, Hamburg & Martín, 2016; Moreno & Ramírez, 2018).

Además, son diversos los proveedores *cloud*: Amazon, Google, Salesforce, Microsoft, IBM, entre otros, que ofrecen soluciones a la medida de las necesidades de las pymes y mipymes (Linares Puerto, 2019).

En contexto, una pyme o mipyme son pequeñas o medianas empresas con activos totales superiores a 500 Salarios Mínimos Mensuales Legales Vigentes (SMMLV) y hasta 30.000 Salarios Mínimos Mensuales Legales Vigentes (SMMLV). En Colombia, según la Ley 590 de 2000, las pymes se clasifican así:

- Microempresa: personal no superior a 10 trabajadores. Activos totales inferiores a 501 salarios mínimos mensuales legales vigentes.

- Pequeña empresa: personal entre 11 y 50 trabajadores. Activos totales mayores a 501 y menores a 5.001 salarios mínimos mensuales legales vigentes.

- Mediana empresa: personal entre 51 y 200 trabajadores. Activos totales entre 5.001 y 15.000 salarios mínimos mensuales legales vigentes (Confecámaras, 2022).

Metodología

Investigación aplicada de enfoque cualitativo, documental y correlacional, con sus respectivos análisis de diferentes artículos de carácter nacional e internacional de los últimos años. El método de revisión sistemática de literatura se basó en la metodología propuesta por Barbara Kitchenham (Navarro & Cedeno-Moreno, 2022; Ruiz Avendaño, 2021), usada en el campo de la ingeniería y la cual establece las siguientes fases: 1) planificación de

la búsqueda, 2) desarrollo de la búsqueda y 3) presentación del informe (Kitchenham, 2004).

Planear: revisión bibliográfica acerca de las buenas prácticas desde la gestión TI y los modelos de aceptación tecnológica.

Hacer: se definió la búsqueda en metabuscadores o fuentes bibliográficas, como IEEE, Google Scholar, y bases de datos digitales, como E-books 7-24, Dialnet, E-libro, Springer Open.

Verificar: para la recopilación de los artículos más referentes y citados utilizando compuertas lógicas AND, OR y NOT, entre otros, para acotar la búsqueda, así: *cloud* en pymes o mipymes, soluciones *cloud* en las empresas, modelos de madurez tecnológica en pymes, entre otras variables consideradas.

Actuar: permitió seleccionar cerca de 20 referentes bibliográficos que se fueron acotando a lo más referente dentro de la investigación, buscando primero una revisión actual que permita iniciar una indagación sobre el estado del arte y con tendencia a la necesidad de establecer una guía o modelo de migración de soluciones en la nube, así como diferentes recomendaciones o prácticas que, dado el contexto, se pueden implementar; finalmente, se contrastaron los diferentes modelos de aceptación tecnológica como procesos que permiten validar el comportamiento de los diferentes actores frente al uso de la tecnología.

Discusión

Dentro del análisis bibliográfico consultado, se revisan las buenas prácticas desde la gestión TI, basado en modelos o arquitecturas ampliamente conocidas como ZACHMAN, TOGAF, ISO, COBIT, ITIL (Ross & Blumenstein, 2015), siendo referentes para que las pymes y mipymes validen la migración de servicios a la nube; además, se complementan con los modelos o marcos de referencia de aceptación tecnológica, como TRA, TPB, TAM, TOE, DOI, entre otros (Anggraini & Legowo, 2019).

- Framework

ZACHMAN (Ranggadara, 2017): es el marco de trabajo de arquitectura empresarial de mayor difusión en la actualidad. Clasificado con las preguntas: ¿qué?, ¿cómo?, ¿cuándo?, ¿quién?, ¿dónde? y ¿por qué?, ayuda a reducir el tiempo en la elaboración de forma detallada y comprendida de las lluvias de ideas, mediante una serie de pasos marcados como: identificación, definición, representación, especificación, configuración e instalación de soluciones de tecnología que se pueden aplicar para las migraciones de soluciones en la nube.

TOGAF (Utomo & Wijaya, 2021): ayuda a mejorar los negocios y su eficiencia. Es considerada la arquitectura empresarial más destacada y confiable, asegurando estándares consistentes, métodos, efectividad en el trabajo y oportunidades de carrera. Ayuda a las pymes a mejorar los procesos y la gobernabilidad de los recursos y sus métodos de manera más eficiente y efectiva y a darse cuenta de un mayor retorno de la inversión. También reúne arquitectura de negocios, arquitectura de información y arquitectura de infraestructura.

COBIT5**:** asiste a las pymes para lograr todos sus objetivos de gobierno y administración empresarial de TI. Resalta la importancia de la información de la organización teniendo en cuenta su ciclo de vida desde su creación hasta el momento en que esta es destruida. Resalta a la tecnología y sus avances como un ente clave en el manejo de la información y como parte integral que se relaciona con la vida personal, social y empresarial (Khrisna, 2014, August). Además, resalta la gobernabilidad ("*governance*") debido a que reconoce la importancia y necesidad de adoptar las TI como una parte fundamental del negocio, para el acercamiento del gobierno y la administración para una colaboración con las TI.

ITIL (Al Mourad & Hussain, 2014; (Wang, Zhong & Li, 2021; Karkošková, 2018): cuando la nube aloja los servicios, se debe hacer un uso efectivo y eficiente de la tecnología para optimizar los procesos y el valor agregado a los mismos. Durante el diseño: integra y orquesta los servicios para su uso (consumo) sin interrupciones. Durante la transición: proporciona

a los clientes el acceso y la transición de los servicios óptimos, adecuados y seguros. En la pperación: gestiona que el valor esperado y los servicios no estén interrumpidos. En la mejora continua: aporta el medio para mantenerse a la vanguardia de la competencia y medir la satisfacción del cliente (Vázquez-Ramírez, 2021).

ISO27000: pensando en la seguridad de la información en *cloud computing,* se ha realizado la adopción de COBIT e ISO 27001 (Peña Triana, Jiménez Hinestroza & López Contreras, 2017), que integra las dimensiones de planificación, organización, implementación, monitoreo y evaluación, gestionando los riesgos de las TI y orientado al cumplimiento de las políticas pertinentes, la mejora de la relación entre las necesidades del negocio y los objetivos de las TI, así como la protección de la información enmarcada en la triada de la seguridad. Se evidencia una correlación positiva entre las variables de gobernanza de la tecnología de la información y COBIT en la reducción de riesgos en *cloud computing* (Okour, 2019; Anggraini & Legowo, 2019).

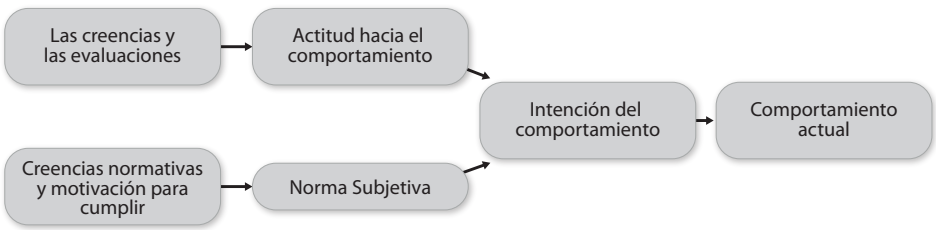
- Modelos de aceptación tecnológica

Se contrastan algunos modelos de aceptación de tecnología de *cloud computing* enmarcados hacia procesos y todas las características principales adoptadas por las personas frente al uso de la tecnología en cuanto a la migración de soluciones *cloud* en las organizaciones. Algunos de estos modelos son:

Teoría de acción razonada (TAR o TRA) (*Theory of Reasoned Action*) (ver ilustración 15): donde el individuo es capaz de contextualizar cada uno de los comportamientos, actitudes, conductas y procesos que realiza una persona, fortaleciendo la capacidad de ser racional y permitiendo diferenciar cada una de las acciones y cómo pueden influir o implicar en un ambiente personal o grupal. Esta teoría aporta una forma de apropiación de la tecnología, facilitando su uso y utilidad, surgiendo de esta teoría el Modelo de Aceptación Tecnológica (TAM). Se asocia a esta teoría el concepto de apropiación tecnológica, donde la tecnología o recurso son las creencias de que es útil,

fácil de usar y de cómo el individuo va a adaptarse más fácil al uso de la herramienta (Morales, Casarín & Salas, 2015; (Fons Gómez, 2014).

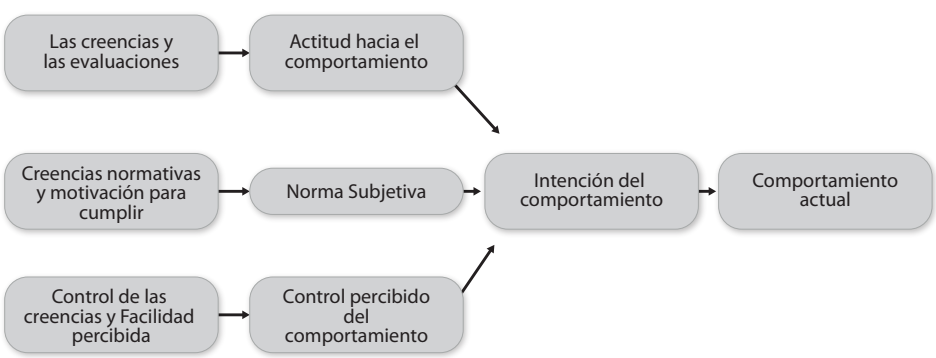
Ilustración 15. Teoría de Acción Razonada (TRA)



Fuente: tomado de Fons Gómez (2014).

Teoría del comportamiento planeado (TPB) (*Theory of Planned Behaviour*) (ver ilustración 16): se creó para ser la base del modelo de aceptación tecnológica y la teoría unificada de aceptación y uso de la tecnología, cuyo objetivo es evaluar no solo las actitudes del comportamiento del individuo, sino las presiones sociales y el sentido de control que rigen en el mismo, mejorando la teoría de la acción razonada e incluyendo la percepción de control del comportamiento del individuo frente a la tecnología (Morales, Casarín & Salas, 2015; Picazo-Vela, Ramírez-Goñi & Luna-Reyes, 2013).

Ilustración 16. Teoría del Comportamiento Planeado (TPB)



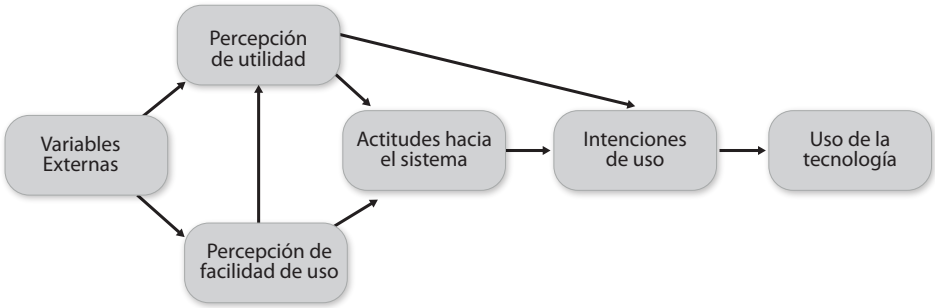
Fuente: tomado de Palos-Sánchez, Reyes-Menéndez & Saura (2019); Ross & Blumenstein (2015).

Su objetivo consiste en explicar la apropiación tecnológica, implementando varios factores que suman al valor de la teoría desarrollada, basado en el Modelo de Aceptación Tecnológica (TAM), así como el concepto de control percibido del comportamiento que interfiere con la intención de la conducta que tiene el individuo y, así mismo, cómo las creencias y su facilidad para ser percibida por el uso de la tecnología se relaciona con las tres creencias que derivan en un comportamiento del individuo que genera ya sea un resultado positivo, generando un aprendizaje rápido y una intención de poder adaptarse a la tecnología, o negativo de no poder usarla (Picazo-Vela, Ramírez-Goñi & Luna-Reyes, 2013).

Modelo de aceptación tecnológica (TAM) *(Technology Acceptance Model)* (Yong Varela, Rivas Tovar & Chaparro, 2010) (ver ilustración 17): se desarrolla con el fin de evaluar el mercado potencial de los clientes para la guía de producción de nuevos servicios más innovadores, para evaluar las medidas generadas de los sistemas de información, así como los niveles de productividad de las empresas, logrando evaluar el desempeño de cada uno de los empleados con el fin de obtener recompensas, además de facilitar a los empleados el uso de los sistemas de información con el fin de que el sistema sea más flexible, de fácil uso y sencillez, brindando al usuario la inversión de su tiempo en labores más productivas sin mayor esfuerzo (Morales, Casarín & Salas, 2015).

Se basa en las conductas que realiza cada individuo dependiendo de sus creencias y normas subjetivas, midiendo el uso de la tecnología por medio de la percepción de la facilidad de uso y la utilidad que puede proporcionar, siendo estos los criterios más importantes que influyen en el individuo para la intención del uso (Cataldo, 2009; Yong Varela, Rivas Tovar & Chaparro, 2010; Guerola Navarro, 2021).

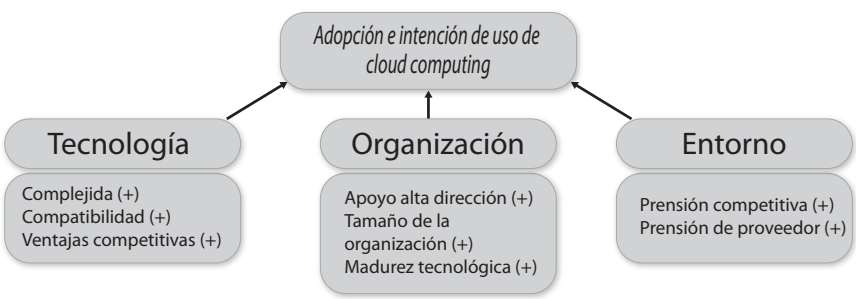
Ilustración 17. Modelo de Aceptación Tecnológica (TAM)



Fuente: tomado de Palos-Sánchez, Reyes-Menéndez & Saura (2019).

Tecnología de organización y entorno (TOE) (*Technology Organization Environment*) (ver ilustración 18): propone la adopción de la innovación tecnológica relacionada con tres factores en el contexto empresarial: las tecnologías internas que se están implementando en la empresa, las tecnologías externas basadas en el mercado y que no están siendo usadas y, por último, el contexto organizacional relacionado con todos los recursos utilizados y evaluados dentro del marco del negocio y la competencia. Este modelo está centrado en examinar a las organizaciones a nivel de sistemas de información, productos y servicios TIC, prediciendo los impactos en las actividades que generan valor y la toma de decisiones que puede traer a la empresa la adopción de alguna tecnología (Palos-Sánchez, Reyes-Menéndez & Saura, 2019).

Ilustración 18. Tecnología de Organización y Entorno (TOE)

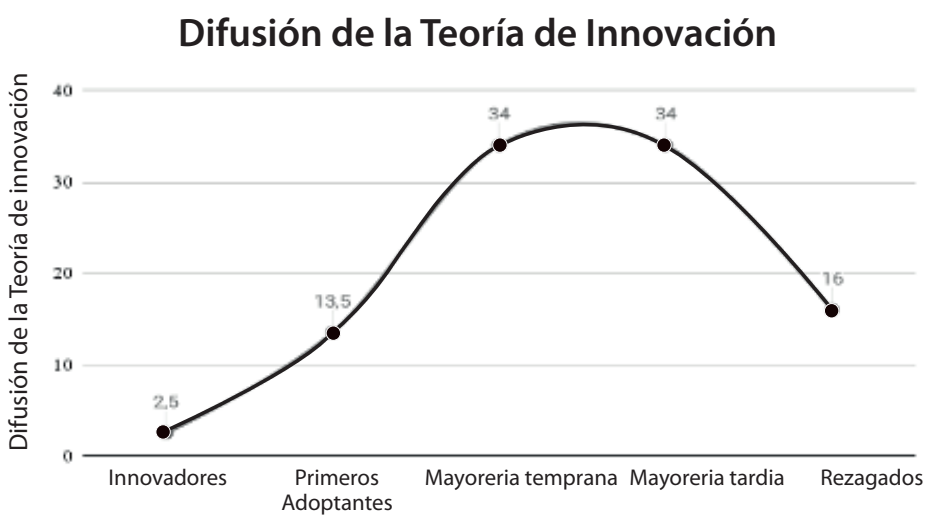


Fuente: tomado de Ross & Blumenstein (2015).

Difusión de la teoría de la innovación (DIO o DTI) *(Diffusion Of Innovations)* (ver ilustración 19): está basado en los usuarios como parte fundamental en los procesos de planificación para el desarrollo de los sistemas de información, explicando el proceso, el ritmo y las categorías de adopciones al momento de tomar la decisión de innovar en nuevas tecnologías.

Los innovadores, como emprendedores motivados para emplear la tecnología, pueden ser: los primeros adoptantes son expertos en sus respectivas áreas, pero acceden de forma más mesurada utilizando herramientas técnicas e ideas para su adaptación; los de mayoría temprana son aquellos que toman más tiempo para decidirse a la adopción de una nueva tecnología acoplando sus ideas técnicas y herramientas; los de mayoría tardía son muy escépticos, más cautelosos y prevenidos al momento de adoptarlas; por último, los rezagados son demasiado cautos y temen al riesgo de adoptarlas (Morales, Casarín & Salas, 2015; Yeboah-Boateng & Essandoh, 2014; Tehrani & Shirazi, 2014).

Ilustración 19. Difusión de la Teoría de Innovación (DTI)



Fuente: tomado de Palos-Sánchez, Reyes-Menéndez & Saura (2019).

Se presenta a continuación una revisión relacionada con elementos relevantes de la nube (ver tabla 2), en cuanto a su estructura inherente (escalabilidad, continuidad, disponibilidad, capacidad, etc.), así como los requisitos necesarios del mercado: proporcionar una infraestructura bien definida y, por tanto, facturable, así como una estructura o servicios funcionales que permitan reducir los esfuerzos de los clientes de la nube (Arjona Blanco, 2023).

Tabla 2. Comparativo de framework

	derived by analyzing	IMM	COBIT	TOGAF	ITIL
Strengths	inherent scalability in capacity and performance		x		x
	inherent continuousity and availability	x			x
	ex post cost transparency	x	x		x
	provision of automated infrastructure services	x	x	x	x
	provision of automated functional services		x	x	x
	physical infrastructure free (for customers)	x	x		x
	low level service free (for customers)				x
	higher order service enabling	x		x	
Weaknesses	additional cloud SW development skills	x			
	more complex configuration management		x		x
	more complex service and process management	x	x		x
	more complex security management	x	x		x
	more complex compliance management		x		

Fuente: Kratzke (2012). Overall weaknesses and strengths of cloud-based approaches.

Kratzke menciona el "*business cloud computing*" como las mejores normas prácticas conocidas de la industria (Krcmar, 2010). Describe en su conjunto tres dominios de gestión de la formación: 1) gestión global, 2) funciones de gestión general y de gobierno y 3) diseño de sistemas de la empresa, desarrollo de sistemas de información y operación de estos .

Sería necesario entonces revisar los impactos cualitativos basados en la nube para la gestión de la tecnología de la información. Kratzke describe la importancia de la relevancia de los enfoques basados en la nube frente a los mejores marcos de gestión conocidos en el sector de la industria (COBIT, TOGAF e ITIL) y lo que proporcionen en cuanto más ventajas que beneficios a la gestión de TI. No obstante, existen problemas que deben resolverse. Uno de ellos es el costo previo de la transparencia (fiabilidad y confianza) de los enfoques basados en la nube, que es un problema importante para las decisiones de inversión en TI. Propone una investigación para abordar la cuestión de la transparencia de los servicios en la nube para que sean más fiables y dignos de confianza.

También se revisan los elementos relevantes de la nube, en cuanto a su estructura inherente y los requisitos necesarios del mercado, para que proporcionen una infraestructura bien definida y capaz de ser facturada, así como la estructura o servicios funcionales, para reducir los esfuerzos de los clientes de la nube. Desde la perspectiva de buenas prácticas, existen diferentes *framework* que se contrastan en la migración de servicios a la nube (ver tabla 3).

COBIT, ITIL y TOGAF proporcionan mecanismos para la mejora y el ajuste frente a riesgos y prioridades cambiantes. TOGAF es un marco de arquitectura, ITIL es un marco de servicios de TI y COBIT proporciona una descripción detallada sobre los habilitadores de gestión de servicios dentro de la TI empresarial (Jaramillo, Cabrera, Abad, Torres & Verdún, 2015).

Tabla 3. Alcances de las prácticas

Zachman	ITIL	COBIT	ISO 27000	TOGAF
Es ampliamente adoptado, dada su madurez. Es una manera de organizar una empresa y delegar responsabilidades. Puede crear una infraestructura tecnológica mediante el procesamiento de la estructura, que se usa para comprender y simular las interrelaciones dinámicas de los ciclos de la empresa para reducir retrasos. Aporta beneficios de TI. Gestión de infraestructura de riesgos Centrado en las actividades del negocio.	Es la alineación de los servicios de TI empresariales y los sistemas de información con las necesidades comerciales y de los usuarios/clientes. Considera las TI como una forma de brindar valor a la empresa y al cliente, en lugar de simplemente instalar, administrar y proteger la tecnología. Abarca enfoques de gestión de estrategia empresarial y de TI. Conecta el área de TI con el negocio. Enfocado a los procesos del negocio. Incrementa la calidad general de los servicios de TI. La trazabilidad de los asuntos relacionados con tecnología es más precisa y confiable.	Ayuda a las organizaciones a crear, monitorear y mantener las prácticas de administración y gobierno de TI. Garantiza la calidad, el control y la confiabilidad de los sistemas de información. Efectividad para reducir el riesgo en las implementaciones de TI. Cuenta con herramientas orientadas a garantizar el control y seguimiento de gobernabilidad de los Sistemas de Información (SI). Se enfoca en necesidades comerciales y requisitos legales. Alineado a las prácticas de TI y las de negocio. Define los planes estratégicos de TI basados en la arquitectura de red. Asegura el servicio continuo. Apoya procesos de auditoría.	Apoya la gestión de recursos. Crea políticas de seguridad en todos los niveles. Gestiona la infraestructura. Ideal para soluciones en la nube. Valida riesgos informáticos. Ayuda a planificar y darle seguimiento a los procesos. Contribuye a la imagen corporativa. Reduce el riesgo de que se produzcan pérdidas de información. Estructura el sistema de gestión. Mejora la confianza de los clientes en los servicios y los datos.	Proporciona metodologías y herramientas de apoyo para organizar y gestionar la tecnología. Permite tener una arquitectura de negocio y de TI basada en sus necesidades Establece un vínculo con los requerimientos del negocio. La operación de las TI es más eficiente. Reduce la complejidad en el negocio y en las TIC. Apoya la portabilidad de las aplicaciones. Adaptable a las necesidades de la organización. Aporta beneficios de TI en la gestión de infraestructura.

Las organizaciones emplean COBIT e ITIL juntos para guiar el gobierno y la gestión de los servicios de TI empresariales, con COBIT cubriendo la implementación, operación y mejora e ITIL cubriendo la gestión de servicios de TI y la habilitación del valor comercial (Espinosa Pedraza & Useche Acevedo, 2020).

Se plantean en la tabla 4 los aspectos fundamentales de cada teoría o modelos de madurez tecnológica.

Tabla 4. Modelos de madurez tecnológica

Teoría	Factores	Limitaciones	Variables
TRA	Se determina basándose en dos factores: 1) las actitudes personales y los sentimientos positivos y negativos que definen la predicción de conducta y 2) la influencia social realizando una conducta social. Predice intenciones de realizar un comportamiento.	La suposición del comportamiento estudiado bajo el control consciente y voluntario por parte del individuo siendo estudiados solo los que se creen conscientes.	Comportamentales Intenciones. Actitudes. Aspectos subjetivos. Las creencias y sus evaluaciones. Aspectos normativos y motivaciones para cumplir.
TPB	Se basa en las percepciones del individuo en cuanto al control sobre el comportamiento como variable de la intención y conducta.	No refiere otros factores afectivos que llegan a tener influencia en la intención de la conducta; al ser el proceso lineal, no se tiene en cuenta que puede tener cambios en el tiempo.	Control del comportamiento Aspectos de conducta. Aspectos de normativa. Aspectos de control.

Teoría	Factores	Limitaciones	Variables
TAM (Yong Varela, Rivas Tovar & Chaparro, 2010)	Los dos factores es la utilidad percibida y la facilidad de uso, definidas como el grado de facilidad que le puede aportar a un individuo hacer su trabajo, y la otra se define por como para el individuo el utilizar un sistema requiere un esfuerzo mínimo de complejidad.	Respecto a su modelo, variables y metodología utilizada, varios actores definen el modelo como muy poco valorado en relación con la intención-uso real; en cuanto a las variables, varios actores no encuentran validez en la relación de utilidad y facilidad de uso y en referencia a la metodología, se establece que son mediciones subjetivas por ser autoevaluadas y no objetivas.	Validación del uso. Actitudes frente al sistema. Percepciones de utilidad. Percepción de facilidad de uso.
TOE	Centrado en la organización para la adopción de la tecnología destacando del contexto organizacional de los recursos y sus características el tecnológico relacionado a la tecnología complejidad y las ventajas que provee y el entorno de cómo la competencia y los procesos de negocio.	Solo se centra en la organización y no se evalúan los aspectos relacionados con el individuo, como la facilidad con la que que puede percibir la utilidad, la facilidad de uso, intenciones de conducta y sentimientos.	Ventaja relativa. Complejidad. Compatibilidad. Apoyo de la alta dirección. Tamaño de la empresa. Apoyo gubernamental. Preparación tecnológica.
DIO	Agrupa los diferentes individuos en cinco grupos basado en las características del individuo que usa la tecnología, como aspectos socioeconómicos, personalidad, comportamiento ante la comunicación, así como características de la innovación, ventajas relativas, compatibilidad, complejidad y divisibilidad.	No solo se encuentra afectado por los comportamientos del individuo, también se encuentra influenciado por el proceso evolutivo de la propia innovación a lo largo del tiempo hasta que se agote y sea necesario ser sustituida por un nuevo producto.	Innovación. Tiempo. Canales de comunicación. Sistema social.

La adopción de los servicios *cloud computing* validados en estos modelos muestran que se pueden aplicar en distintos campos, no solo en el área de los procesos, también en las personas o las herramientas, así como en la adopción y adaptación de quienes los usan. Se contrasta la cantidad de teorías y modelos que se enfocan en aspectos tanto personales como organizacionales, como la teoría TAM, siendo ampliada con variables externas y la evaluación de la conducta, a diferencia del marco TOE, que está combinado con todos los aspectos de la organización y con DIO, que agrupa a todos los grupos de individuos que buscan innovar en los procesos de tecnologías estratégicas para la adopción de la computación en la nube (Picazo, Ramírez & Reyes, 2013).

Conclusiones

La computación en la nube es una tecnología dinámica dentro de las nuevas tendencias y modelos de negocio en las pymes y mipymes para mejorar su competitividad en sus sistemas de información, basado en diferentes prácticas de la industria que se pueden aplicar, dado su contexto y áreas de implementación, en el negocio, específicamente en el área de TI, en gobernanza, en gestión, en seguridad de la información y las comunicaciones, aspectos válidos e importantes a la hora de decidir migrar las soluciones o servicios a la nube en las organizaciones.

Esta investigación revisa las prácticas más reconocidas, entre ellas algunos referentes sobre arquitecturas como TOGAF, ISO, COBIT, ITIL y ZACHMAN, los cuales son compatibles entre sí y permiten su convergencia hacia la implementación adaptada a las necesidades de la organización, su control y gobierno en la gestión de servicios de TI. Esto valida que TOGAF es el *framework* que acoge una amplitud de criterios y características que se pueden validar en el momento de definir un plan estratégico hacia la migración a la nube, sin dejar a un lado a ITIL y COBIT, que pueden usarse en conjunto si se aplican de manera correcta. COBIT se aplica en gobernanza y cumplimiento, así como en auditorías en la gestión de procesos e ITIL ayuda a la empresa en la toma de decisiones estratégicas que apoyen mejor los servicios de TI.

También los modelos de aceptación tecnológica que se contrastan son fundamentales en sus arquitecturas y en general están enfocados en servicios que propendan por la interoperabilidad entre los procesos, los sistemas y las personas a nivel de su usabilidad en el manejo de los datos y para su operación transparente entre los diferentes actores de los servicios *cloud*, permitiendo la transformación digital, al igual que una ventaja competitiva y económica, donde se resalta la importancia de los usuarios y de su usabilidad dentro de los sistemas. En ambos casos, el reto está en predecir cómo se adopta esta tecnología a través de la superación de aspectos como su percepción de utilidad o a la intención de uso. Por ello, los modelos TAM ampliados con variables externas y el marco TOE, combinado en algunos estudios con DOI, son los más referentes.

Para las pymes y mipymes, la adopción de servicios en la nube no depende exclusivamente de la estrategia de la arquitectura empresarial definida por la organización, también se debe contrastar e identificar su situación actual, luego identificar el enfoque estratégico como línea base de la estrategia, validar el perfilamiento de aplicaciones, certificar con claridad sobre la gobernanza, la gestión y la operación presente y futura, validar los beneficios asociados con el modelo de negocio específico y tener la visión clara del mapa de ruta, sin descuidar el riesgo, la seguridad, los costos y la interconexión como factores definitivos para inclinar la balanza hacia un sueño de muchos y un logro de pocos, que permita lograr generar confianza a las organizaciones cuando decidan migrar sus servicios o aplicaciones a la nube a partir de una guía específica orientada hacia este tipo de organizaciones.

Referencias

Al Mourad, M. B. & Hussain, M. (2014). "The impact of cloud computing on ITIL service strategy processes". International Journal of Computer and Communication Engineering, 3(5), 367.

Aier, S. & Schelp, J. (2009, November). "A reassessment of enterprise architecture implementation". In *Service-Oriented Computing. ICSOC/ServiceWave 2009 Workshops* (pp. 35-47). Springer, Berlin, Heidelberg.

Ali, S. M., Soomro, T. R. & Brohi, M. N. (2013). *Mapping information technology infrastructure library with other information technology standards and best practices*.

Anggraini, N. & Legowo, N. (2019). "Cloud Computing Adoption Strategic Planning Using ROCCA and TOGAF 9.2: A Study in Government Agency". *Procedia Computer Science*, *161*, 1316-1324.

Arjona Blanco, B. V. (2023). *Modelo de diagnóstico y metodología para la transformación digital de las pymes y el uso de la innovación como ventaja competitiva* (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).

Attaran, M. (2017). "Cloud computing technology: leveraging the power of the internet to improve business performance". *Journal of International Technology and Information Management*, *26*(1), 112-137.

Bohn, R. (2011). "NIST Cloud Computing Program". *Cloud Computing. National Institute of Standards and Technology*, *2*.

Cataldo, A. (2009). "Limitaciones y oportunidades del Modelo de Aceptación Tecnológica (TAM)". *Una revisión de la literatura*. Copiapó, Chile: Universidad de Acatama.

Confecámaras (2022). *Nuevas empresas se crearon en el país durante 2021, un aumento del 10,6 % con respecto a 2020*. Recuperado de: https://www.confecamaras.org.co/noticias/809-307-679-nuevas-empresas-se-crearon-en-el-pais-durante-2021-un-aumento-del-10-6-con-respecto-a-2020

De Parga, D. C. J. (2011). *Cloud computing: retos y oportunidades*. Fundación Ideas.

D. Assante, M. Castro, I. Hamburg & S. Martín, (2016). *The Use of Cloud Computing in SMEs, Procedia Computer Science*, vol. 83, pp. 1207-1212.

Ercolani, G. (2018). *Análisis del potencial del cloud computing para las pymes: un modelo integrado para evaluar software as a service (SaaS) en la nube pública*. Proyecto de investigación.

Espinosa Pedraza, J. A. & Useche Acevedo, O. (2020). *Comparativo entre el marco de referencia de arquitectura empresarial para la gestión de TI de MinTIC con respecto a TOGAF, ZACHMAN y FEAFons*.

Ghaffari, K., Delgosha, M. S. & Abdolvand, N. (2014). "Towards Cloud Computing: A Swot Analysis on its Adoption in Smes". *International Journal of Information Technology Convergence and Services*, *4*(2), 13-20.

Gómez, F. J. (2014). *Cloud computing: caracterización de los impactos positivos obtenidos por la utilización del modelo cloud computing por las pymes, basado en la tipología de modelos de negocio de este tipo de empresas*.

González Varona, J. M. (2021). *Retos para la transformación digital de las pymes: competencia organizacional para la transformación digital*.

Guerola Navarro, V. (2021). *Impacto del grado de implementación del Customer Relationship Management (CRM) y la estrategia de innovación en los resultados empresariales. Aplicación al sector vitivinícola español* (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).

Guerra Mera, A. D. P., Balseca Manzano, J. M., Robayo Jácome, D. J. & Guerra Mera, F. D. C. (2018). *Cloud y sus beneficios para las pymes*.

Guala Toapaxi, V. J. (2021). *Aplicación de plataforma como servicio (PaaS) en la implementación de sistemas empresariales basados en cloud computing* (Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial. Carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales e Informáticos).

Heredia Chabla, R. S. (2021). *Modelo de adopción tecnológica para uso del cloud computing en las empresas pymes proveedoras del servicio de internet de la ciudad de Guayaquil* (Doctoral dissertation).

IEEE (2000). *IEEE Recommended Practice for Architectural Description of Software Intensive Systems (IEEE 1471-2000)*. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York.

Jaramillo, H. D., Cabrera, S. A., Abad, E. M., Torres, V. A. & Verdúm, J. C. (2015, June). "Definition of cybersecurity businness framework based on ADM-TOGAF". In *2015 10th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)* (pp. 1-7). IEEE.

Karkošková, S. (2018, September). "Towards cloud computing management model based on ITIL processes". In *Proceedings of the 2nd International Conference on Business and Information Management* (pp. 1-5).

Khrisna, A. (2014, August). "Risk management framework with COBIT 5 and risk management framework for cloud computing integration". In *2014 International Conference of Advanced Informatics: Concept, Theory and Application (ICAICTA)* (pp. 103-108). IEEE.

Kitchenham, B. (2004). "Procedures for performing systematic reviews". *Keele, UK, Keele University*, *33*(2004), 1-26.

Kratzke, N. (2011). "Cloud-based it management impacts". In *Proceedings of the 1st Internation Conference on Cloud Computing and Services Science (CLOSER 2011)* (pp. 145-151).

Rozehnal, P. *The Suggestion of Cobit Metamodel*.

Linares Puerto, D. A. (2019). *Factores determinantes para la adopción de cloud computing de pymes de la ciudad de Bogotá*. Departamento de Ingeniería de Sistemas e Industrial.

Moreno, W. G. F. & Ramírez, C. M. A. (2018). "La implementación del cloud computing y big data como herramienta para incrementar la productividad de las empresas en el Ecuador". *Revista Científica Ciencia y Tecnología*, *18*(18).

Morales, K. F., Casarín, A. V. & Salas, L. M. (2015). "Apropiación tecnológica: una visión desde los modelos y las teorías que la explican". *Perspectiva Educacional, Formación de Profesores*, *54*(2), 109-125.

Murillo Benítez, M. (2016). *Modelo de referencia para la medición de capacidades en la implementación de arquitectura empresarial, caso gobierno colombiano* (Doctoral dissertation, Universidad EAFIT).

Navarro, N. & Cedeno-Moreno, D. (2022, October). "Study on technologies implemented in the area of mental health for older adults Post-COVID-19". In *2022 8th International Engineering, Sciences and Technology Conference (IESTEC)* (pp. 197-203). IEEE.

Neves, F. T., Marta, F. C., Correia, A. M. R. & Neto, M. D. C. (2011). *The adoption of cloud computing by SMEs: identifying and coping with external factors*.

Okour, S. (2019). "The Impact of the Application of IT Governance According to (COBIT 5) Framework in Reduce Cloud Computing Risks". *Mod. Appl. Sci*, *13*(7), 25.

Palos-Sánchez, P., Reyes-Menéndez, A. & Saura, J. R. (2019). "Modelos de adopción de tecnologías de la información y *cloud computing* en las organizaciones". *Información Tecnológica*, *30*(3), 3-12.

Peña Triana, D. L., Jiménez Hinestroza, J. C. & López Contreras, N. (2017). *Herramienta de diagnóstico con marco de referencia ISO/IEC 27001:2013 para la implementación o mejora de un sistema de gestión y seguridad de la información en las empresas que ofrecen servicios cloud computing*.

Picazo-Vela, S., Ramírez-Goñi, P. N. & Luna-Reyes, L. F. (2013). "Comercio electrónico y emprendimiento: un análisis aplicando la teoría del comportamiento planeado". *RECAI. Revista de Estudios en Contaduría, Administración e Infomática*, *2*(5), 1-20.

Ranggadara, I. (2017). "Zachman Framework Approach For Designselling Batik Application Based on Cloud". *International Research Journal of Computer Science*, *4*(12), 15-20.

Ross, P. K. & Blumenstein, M. (2015). "Cloud computing as a facilitator of SME entrepreneurship". *Technology Analysis & Strategic Management*, *27*(1), 87-101.

Ruiz Avendaño, J. R. (2021). *Evaluación de algoritmos de aprendizaje de máquina para la detección de signos de depresión en jóvenes estudiantes a partir de interacciones textuales en redes sociales*.

Tehrani, S. R. & Shirazi, F. (2014, June). "Factors influencing the adoption of cloud computing by small and medium size enterprises (SMEs)". In *International Conference on Human Interface and the Management of Information* (pp. 631-642). Springer, Cham.

Tumer, O. S. (2010, April). "Digital ecosystems & Co-innovation towards sustainable societies". In *4th IEEE International Conference on Digital Ecosystems and Technologies* (pp. 98-101). IEEE.

Utomo, D. & Wijaya, M. (2021, August). "Applying TOGAF-based Cloud Adoption Framework". In *2021 International Conference on Information Management and Technology (ICIMTech)* (Vol. 1, pp. 314-319). IEEE.

Vázquez-Ramírez, C. I. (2021). *Migración de sistemas de información a IaaS, PaaS y SaaS en una pyme*.

Wang, D., Zhong, D. & Li, L. (2021). *A comprehensive study of the role of cloud computing on the information technology infrastructure library (ITIL) processes*. Library Hi Tech.

Yeboah-Boateng, E. O. & Essandoh, K. A. (2014). "Factors influencing the adoption of cloud computing by small and medium enterprises in developing economies". *International Journal of Emerging Science and Engineering*, *2*(4), 13-20.

Yong Varela, L. A., Rivas Tovar, L. A. & Chaparro, J. (2010). "Modelo de aceptación tecnológica (TAM): un estudio de la influencia de la cultura nacional y del perfil del usuario en el uso de las TIC". *Innovar*, *20*(36), 187-203.

Capítulo 03

Sistema de adquisición de datos para el monitoreo de servicios en el hogar aplicado a empresas

Data Acquisition System For Monitoring Home Services Applied To Companies

Libardo Gómez Díaz
lgomezd@ucompensar.edu.co

José Luis Cabra López
jlcabra@ucompensar.edu.co

Jhonn Hernández Martín
jhonnahernandez@ucompensar.edu.co.

Proyecto padre

Este capítulo emerge como fruto de la investigación denominada "**Sistema de adquisición de consumos de agua huella hídrica Ucompensar"**, que cuenta con la aprobación oficial del Comité de Investigaciones bajo el código **PI3120201**.

Institución financiadora: **Fundación Universitaria Compensar**

Resumen

Los nuevos sistemas de telecomunicaciones están permitiendo que la electrónica pueda ser acoplada para la toma de información. Cada día se encuentran mejores sensores y vemos sistemas de *hardware y software* libre que se pueden controlar a través de tarjetas de adquisición embebidas, lo que genera acople a los programas y a las bases de datos asociados a cada una de las aplicaciones. Adicional a ello, estos elementos permiten el desarrollo de nuevos componentes que adquieren con mayor facilidad los datos que se requieren para determinar los consumos en los hogares, en las empresas y en los hoteles. En este artículo se analiza cómo se logra, con la ayuda de *hardware y software* libre, un sistema aplicado al desarrollo de la gestión de los recursos como el agua y la energía en los hogares o en las empresas para la medición del consumo de dichas variables, permitiendo fácilmente conocer no solo el costo y la cantidad del recurso, sino que, de igual manera, permite proyectar mejores soluciones para incrementar la eficiencia energética y económica de estos.

Mantener la sostenibilidad de los recursos naturales y tener sistemas de energía más eficientes se puede lograr con herramientas que están hoy en día al alcance de todos y que si son desarrolladas con el apoyo de tecnologías libres, permite que nuevas investigaciones en el campo de la electrónica y en el progreso de bases de datos faciliten que todas las personas, no solo profesionales de alto nivel o empresas con grandes inversiones, puedan encontrar soluciones que ayuden a cuidar los recursos naturales,

la economía y además permitan que la electrónica sea de conocimiento general y de aplicación para cualquier sector económico.

Palabras claves

Software, hardware, eficiencia energética, sistemas de medición y automatización, internet de las cosas.

Abstract

The new telecommunications systems are allowing electronics to be coupled to collect information. Every day better sensors are found, and we see free hardware and software systems that can be controlled with embedded cards, which generates coupling to programs and databases, allowing the development of new components that more easily acquire the data required to determine consumption in homes, businesses, and hotels. This article analyzes how, with the help of free hardware and software, a system applied to the development of the management of resources such as water and energy in homes or companies is achieved, in addition to its applicability. and tests in hotels to measure the consumption of these variables, allowing it to be easily known not only the cost and the amount consumed, but also to project better solutions to increase energy efficiency and economics of these.

Maintaining the sustainability of natural resources and having more efficient energy systems can be achieved with tools that are now available to everyone, and if they are developed with the support of free technologies, they allow new research in electronics and in the progress of databases make it easier for all people, not just high-level professionals or companies with large investments, to find solutions that help take care of natural resources, the economy and also allow electronics to be of general knowledge and application for any economic sector.

Keywords

Software, hardware, energy efficiency, measurement and automation systems, internet of things.

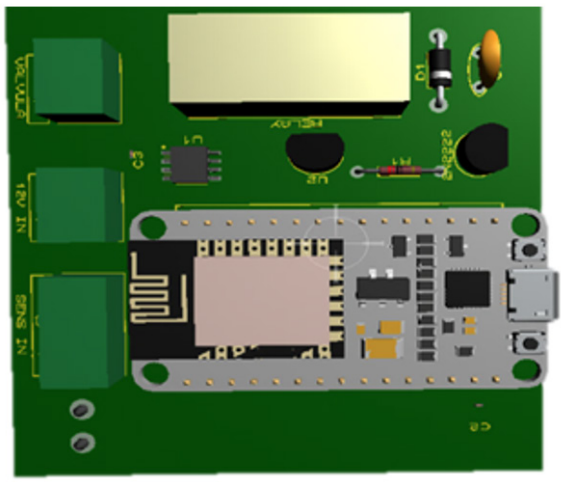
Introducción

Dentro de los sistemas de captura de información electrónica, se encuentran los sensores, que permiten la medición de corriente y de voltaje de la energía consumida, y también los sensores de flujo, que pueden ser acoplados en los puntos de paso de agua de las empresas y de los hogares (Quintana, Pereira & Vega, 2018) para poder medir la cantidad de agua consumida, lo que permite enviar señales eléctricas en función de la variación de caudal a través del protocolo de comunicación wifi.

Esto se emplea con la ayuda de una tarjeta electrónica ESP8266 (Gómez Díaz, 2021) acoplada a un circuito como el que se evidencia en la ilustración 20, permitiendo que, de esa forma, se capturen las señales eléctricas que miden el consumo de energía y de agua gracias al sensor YF-S202C (sensor de flujo) y el sensor ACS712 (sensor de corriente) (Gupta & Chhabra, (2016, February; Chhabra & Gupta, 2016).

Dicha tarjeta es utilizada bajo el principio de *hardware* libre y maneja un sistema de enlace wifi, el cual se une a un sistema de bases de datos gratuito y configurable, permitiendo generar trazabilidad en los datos adquiridos que evidencian en tiempo real el consumo que se presenta en puntos de energía como lo son las tomas de corriente e interruptores (Guacaneme & Pardo, 2016).

Ilustración 20.Tarjeta electrónica de monitoreo y control prototipo sin modelado



Con el desarrollo y utilización del *hardware* previamente descrito se establece no solo el intercambio de datos desde los sensores ubicados en los dispositivos del hogar, sino también en dispositivos que consumen agua como las llaves o grifos de los lavamanos, de los lavaplatos, de las duchas, de la entrada de agua de la cisterna. Adicionalmente, es necesario tener en cuenta cualquier otro sistema que requiera la utilización de agua para su operación, facilitando así el registro de fugas y del consumo. Esto también se desarrolla con el manejo de la energía, midiendo el voltaje y la corriente que se consume en cada toma eléctrica cuando es conectado un dispositivo y, de igual manera, permitiendo integrar sistemas de control domótico en los interruptores del sistema de iluminación en general (Karnouskos, 2012).

Desde el procedimiento realizado en la ejecución del proyecto se establece que la tarjeta de la ilustración 20 no solo es utilizada para la medición de las variables de agua y de energía, sino que es utilizada para la medición de diferentes variables como temperatura, humedad, luminosidad, entre otras variables, ya que sus entradas pueden ser conectadas a diferentes sensores y acopladas sin problemas a los pines ADC de la tarjeta.

También se presenta la utilización de un nuevo modelo, el cual implementa el ESP32, que tiene una mayor capacidad y permite una mayor facilidad en la captura de datos y de múltiples sensores, debido a su gran capacidad de almacenamiento, velocidad e integración, ya que maneja no solo posibilidad de conexión wifi, sino también *bluetooth*, que permite la interconexión con los diferentes periféricos presentes en el modelo.

Es importante destacar que estas tarjetas de adquisición presentan un muy bajo costo, lo que permite que personas de diferentes estratos socioeconómicos puedan adquirirlas y, de igual manera, reemplazarlas en caso de presentar un daño en las mismas; esto hace que los dispositivos IoT no sean costosos. Igualmente, el *software* para el envío de datos y la integración con plataformas de administración de la información es libre, como lo son aplicaciones móviles y redes (López, 2007). Adicional a ello, estos dispositivos permiten el uso de todos los dispositivos asociados por cualquier medio de comunicación generando pequeñas redes internas para el uso y manipulación de una aplicación

Es decir, son sistemas *open-source* que no requieren de ningún pago para su utilización. Esto permite que se reduzcan los costos, sea más rentable su utilización y pueda ser implementado no solo en la entrada de las viviendas (como se muestra en la ilustración 21), sino que actualmente se maneja en los sistemas de medición de consumo de las empresas de servicios públicos (Giménez Solano, 2011) y puede implementarse en cada uno de los dispositivos internos del hogar, hotel o empresa.

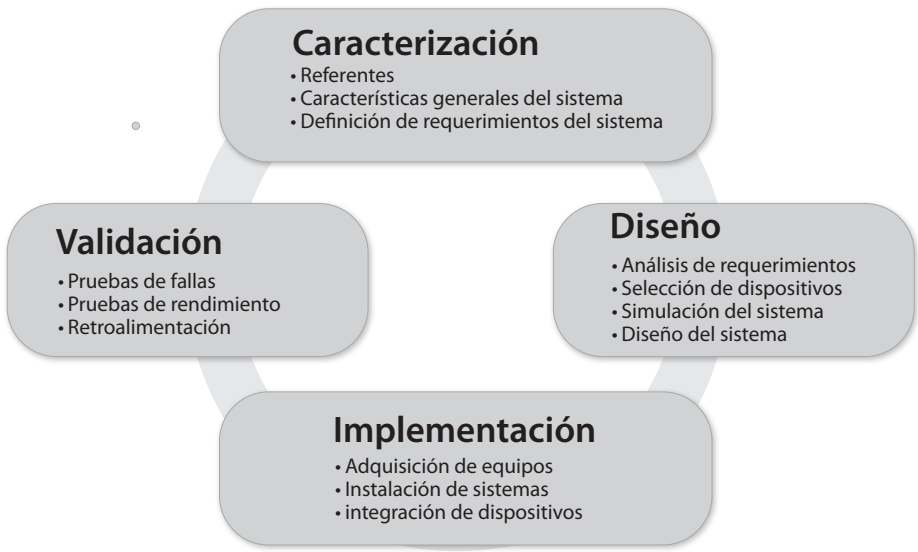
Ilustración 21.Tarjeta electrónica de monitoreo y control



Metodología

La metodología de este proyecto se basa en la metodología CDIO (Berggren *et al.,* 2003; Pee & Leong, 2005), para la cual se propone el desarrollo en cuatro fases en las que se describen sus etapas, tal como se muestra en la ilustración 22.

Ilustración 22. Descripción de la metodología aplicada

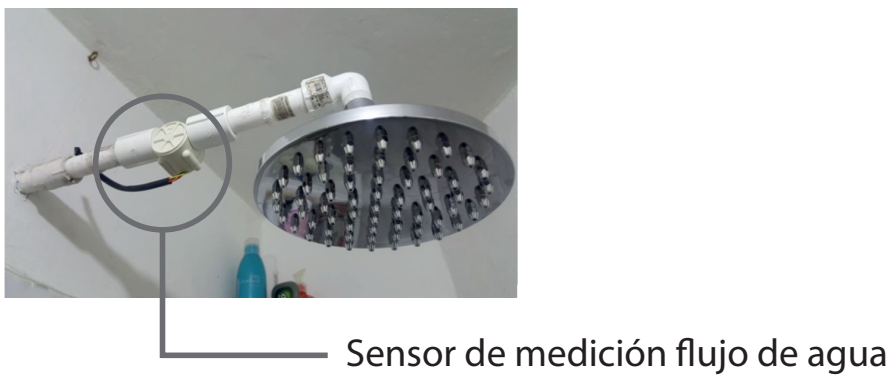


El primer paso consiste en la caracterización de las diferentes variables requeridas para la medición, de esta forma se puede elegir qué sistemas y qué sensor es el apropiado para la adquisición de los datos en el punto deseado, ya que puede ser para la medición de agua o de energía; dentro de esta caracterización, se toman varias medidas que permiten conocer los valores máximos y mínimos que pueden ser utilizados en cada punto de medición y así escoger el sensor más adecuado; por ejemplo: si se tiene una tubería de media pulgada, entonces se debe implementar un sensor de flujo que tenga cierre bridado para esta medida, evitando reducciones o puntos de mayor presión en el sistema. Estos sensores se pueden observar en la tabla 5. Adicional a ello, es necesario destacar que existen

diferentes elementos o instalaciones que pueden modificar la instalación dependiendo del uso residencial del espacio en mención, por lo que se puede permitir la utilización de diferentes sensores según las necesidades (Norma ICONTEC, 2006).

Posterior a la sección y caracterización de los sensores, se procede con su implementación, como se muestra en la ilustración 23; para ello, se colocan los sensores directamente sobre el sistema de conductos de agua y, adicionalmente, se establece el protocolo de interconexión que permite establecer una pequeña red de sensores, wifi, *bluetooth* y base de datos que a su vez permite implementar, gracias al *software* desarrollado para este fin, una interconexión proporcional entre el consumo del recurso y un sistema de control. A través de esta aplicación se pueden capturar y enviar en tiempo real los valores de consumo cada segundo y con ello se realiza el almacenamiento y tratamiento de la información con el fin de poder dar validación a los consumos de agua que se presentan en cada dispositivo (Homepage IEC, s. f., 2020), por lo que este procedimiento es implementado en cada uno de los elementos a los cuales se realizó la integración en el sistema de monitoreo y control (Control Homepage IEC, s. f., 2020).

Ilustración 23. Ducha de prueba y toma de datos del sensor YF-S201



Fruto del desarrollo de la aplicación se requirieron los siguientes elementos:

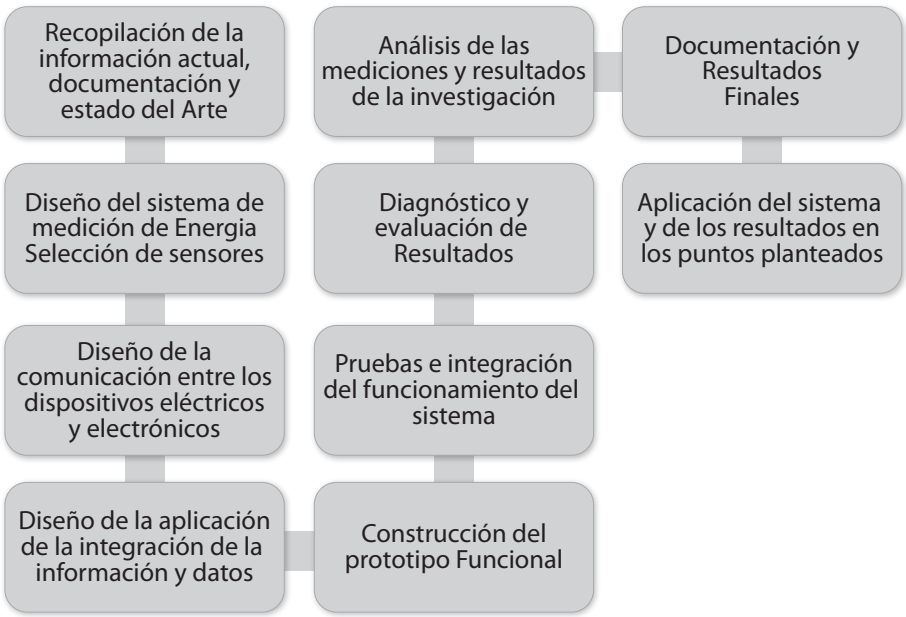
Tabla 5. Sensores de flujo

Sensor de flujo	Modelo	Conexión	Caudal
	YF-S201	½”	1-30 l/min
	YF-S201C	½”	1-30 l/min
	FS300A	¾”	1-60 l/min
	FS400A	1”	1-60 l/min

Para terminar, se agrega a cada dispositivo una dirección MAC que se implementa en el *software* modelado para el control y monitoreo con el fin de que todo quede integrado por un instrumento de recolección de información (Shrivastava, Kumar, Rai, Payal & Tiwari, 2013), facilitando que cualquier otra variable quede registrada como una pérdida del sistema, basándose en la implementación de la base de datos.

Adicional a ello, se realiza la selección y explicación de las pruebas e investigaciones realizadas, así como las recomendaciones y las propuestas para mejora que se presenten en este proyecto. En la siguiente ilustración 24, se muestra un resumen de esta metodología.

Ilustración 24. Pasos de la metodología del proyecto

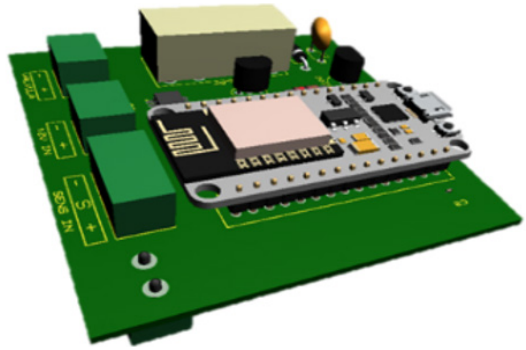


Modelado

El desarrollo propuesto para la tarjeta de *hardware* se da con la obtención de las medidas de consumo de agua y energía la cual desarrolla el modelado 3D de la tarjeta que se observa en la ilustración 25. Allí se generan puntos de conexión de entrada y salida para el monitoreo y el control de las variables que se utilizan en las tarjetas ESP8266 y ESP32.

Por otro lado, con el fin de enviar los datos capturados, se establece un programa de recolección segura a través del chip para la conexión y recolección de la información. Esta actividad se realiza a través del *software* de acoplamiento, en el Arduino-Nightly, el cual, desde el chip (Cruz Ardila, Cardona-Gómez, Hernández-Porras & 2013), permite la conexión sin pérdidas. Para el envío de la información y la retroalimentación de las alarmas creadas internamente, se configuran las entradas y salidas establecidas por el usuario desde la aplicación móvil desarrollada, que se puede observar en la ilustración 26.

Ilustración 25. Tarjeta electrónica de monitoreo y control prototipo modelo 3D



Para la integración y, asimismo, el control de los diferentes dispositivos, se diseña y modela un *software* por medio de una aplicación móvil, establecida a partir de código C, el cual es implementado con el programa o *software* libre conocido como App Inventor. Este permite la integración de comunicación wifi, posibilitando el enlace de la base de datos integrada al *hardware* y el control de encendido y apagado de cada una de las tarjetas electrónicas que se establecieron en la red. Todo esto permite la conexión por medio de sistemas IoT para la administración y gestión de cada uno de los puntos.

Ilustración 26. Aplicación móvil diseñada para la gestión y control de dispositivos



Se debe mencionar que el desarrollo de la aplicación y de los sistemas de *hardware* implementados con las tarjetas ESP8266 y ESP32 son fácilmente confiables y permiten la conexión de diferentes sistemas de bases de datos con los diferentes dispositivos conectados a la red; en esta prueba, el sistema se ha acoplado a la base de datos phpMyAdmin, por lo que se fomenta la utilización de herramientas tanto de *hardware* libre como de *software* libre (Muqabel, 2013).

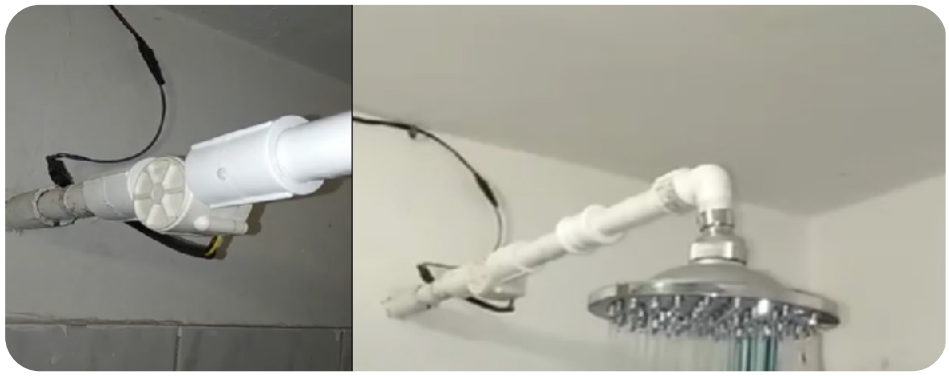
Dicho lo anterior, quien desee implementar proyectos con estas mismas características no requiere de la compra de licencias y esto facilita la disminución en costos de implementación; además, permite que cualquier persona, empresa o institución pueda utilizar este tipo de herramientas.

Discusión

Las pruebas presentaron inicialmente un sistema de consumo de agua, el cual es instalado e implementado en una salida de agua regular, como se muestra en la ilustración 27. Este permite la captura de datos de consumo que a su vez facilitan el envío de la cantidad de agua que se va utilizando en dicha salida; esto da la posibilidad de obtener los perfiles de consumo que se tienen en la caracterización del espacio donde se implementa el modelo de consumo.
Cabe anotar que, dependiendo de los hábitos de ahorro que puedan tener los habitantes del modelo de consumo, se puede mejorar la eficiencia en el consumo de agua, pero gracias al almacenamiento constante y al algoritmo que se presenta en la aplicación móvil, es posible que cada usuario vaya reconociendo de forma visual la representación de sus consumos en el día o de un periodo que desee analizar, lo cual permite mejorar los hábitos de consumo.

Por lo tanto, el sistema puede recomendar y dar respuesta a las necesidades de ahorro que se programen por parte de los usuarios del sistema de control y monitoreo (UNIT-ISO/IEC 27000, s. f., 2007).

Ilustración 27. Sistema implementado en ducha para medición de agua



a) Ubicación de sensor de flujo. b) Ducha, medición de agua.

Después de tres meses, se analiza la medición y los perfiles de consumo de las salidas de agua, dando como resultado tres perfiles diferentes en esos tres meses, pero, como se evidencia, el usuario puede conocer en tiempo real la representación de los consumos no solo de agua, sino también de energía; este ha corregido constantemente el consumo, lo que hace que la implementación de este sistema de monitoreo y control permita una toma de decisiones frente a la conciencia de los gastos de energía y agua y que se maneje un perfil que día a día se reduzca hasta llegar a un punto en el que se mantenga la mayor eficiencia posible (Balaguer, 2014).

En la ilustración 28 y en la ilustración 29 se puede evidenciar presente en el mes de mayo un consumo muy elevado y variable o errático, tanto en energía como en agua, en la ubicación en que se instaló el sistema de monitoreo y control, pero en los siguientes meses, debido a que el usuario es consciente de sus elevados consumos, es posible generar un mayor control y una mejor estabilización en los valores medidos (Beckers, Schmidt, Küster & Faßbender, 2011), dejando como evidencia la importancia del sistema de control y las ventajas que se generan en torno a su uso.

Ilustración 28. Mediciones obtenidas durante tres meses en el control de consumo de agua de la ducha

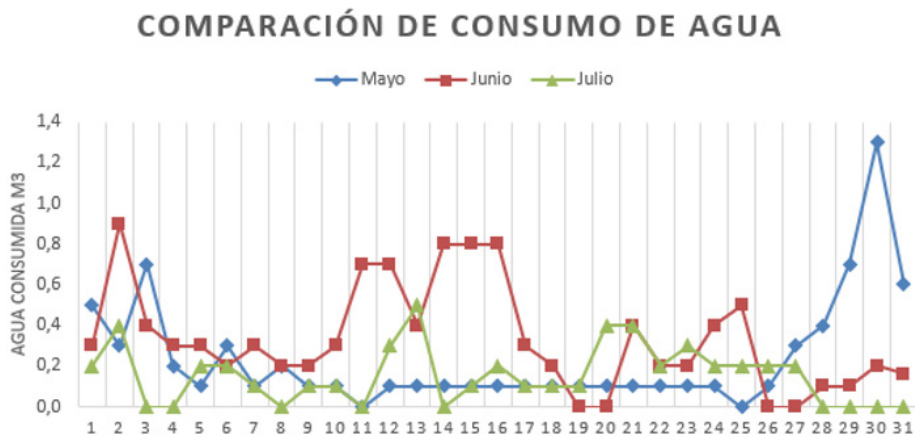
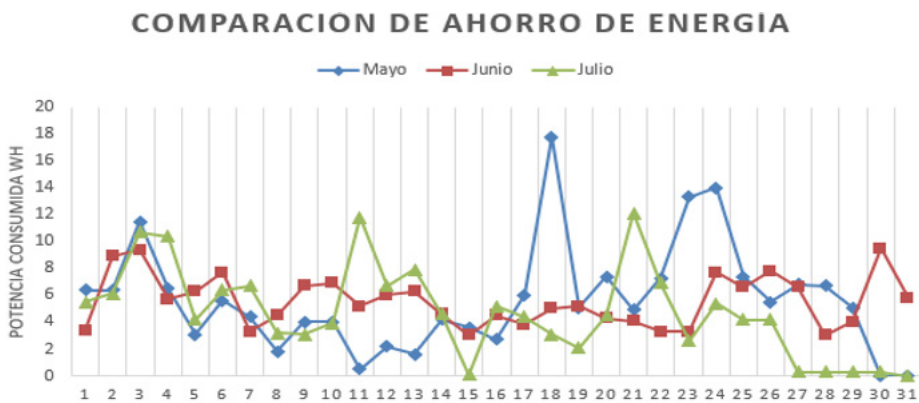


Ilustración 29. Mediciones obtenidas durante tres meses en el control de consumo de energía del baño



El análisis de los resultados son coincidentes con los medidores de energía y de agua del sitio donde fue implementado el sistema de control del presente artículo; sus porcentajes de error son mínimos y no representan una desviación de la medida o del cobro realizado, lo que facilita la obtención de información precisa, sin embargo, cabe anotar que se deben implementar modelos de redundancia para evitar que se pueda

perder información en su envío hacia la base de datos, exclusivamente en momentos en los que la señal de wifi no funcione, por lo que se hace necesario que la red de internet no presente fallos, evitando errores de medición en futuras mediciones.

Conclusiones

Los dispositivos de control, ya sea en función del *hardware* o del *software*, requieren un nivel de precisión en sus mediciones muy alto, ya que a partir de su desempeño se pueden derivar los niveles de retroalimentación del sistema, dando de esta manera una mayor aproximación y logrando que los usuarios finales puedan garantizar un mayor ahorro al conocer el comportamiento de dichas variables.

A través del desarrollo de nuevas tecnologías, se permite el envío de señales por medio de sistemas IoT, usando tecnología de última generación que apunte al mejoramiento de la calidad de vida de las personas, generando estrategias de ahorro en el uso de los recursos a un bajo costo y acceso libre.

Los sistemas que se presentan en la actualidad para la determinación y administración de los consumos no deben ser costosos ni muy robustos en su estructura electrónica; lo más relevante radica en el desarrollo del *software* que permita el análisis detallado de cada una de las variables que sean relevantes para la toma de decisiones de consumo en el hogar.

Referencias

Balaguer, I. M. (2014). *La nueva versión ISO 27001:2013: un cambio en la integración de los sistemas de gestión*. Lima: Colegio de Ingenieros del Perú.

Beckers, K., Schmidt, H., Küster, J.-C. & Faßbender, S (2011). *Pattern-Based Support for Context Establishment and Asset Identification of the ISO 27000 in the Field of Cloud Computing*. In Sixth International Conference on Availability, Reliability and Security, ARES (2011), Vienna, Austria, August 22-26, pp. 327-333, IEEE.

Carroll, J., Gómez Díaz, L. & Garzón Sánchez, C. C. (2020). "Metodología de Cloud Computing VPN con Graphical Network Simulator (GNS3)". *Memorias*, octubre de 2020. doi:10.22490/25904779.4210

Chhabra, J. & Gupta, P. (2016). "IoT based Smart Home Design Using Power and Security Management". 1st International Conference on Innovation and Challenges in Cyber Security (ICICCS).

Cruz Ardila, J. C., Cardona-Gómez, J. C. & Hernández-Porras, D. M. (2013). "Aplicación electrónica para el ahorro de energía eléctrica utilizando una energía alternativa". *Entramado*, *9*(2), julio-diciembre, 234-248. Universidad Libre Cali, Colombia.

Gómez Díaz, L. (2021). *Sistema de gestión y monitoreo de consumo de servicios públicos domiciliarios*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 2020. [Fecha de consulta: 15 de agosto de 2021].

Gómez Díaz, L. (2019). "Gestión de los recursos domiciliarios desde la utilización de *software* y *hardware* libre". *Revista Mutis*, *9*(1), junio, 40-49. doi:10.21789/22561498.1461

Gómez Díaz, L. (2020). "Herramienta para la supervisión y gestión del consumo de energía y agua en el hogar, aplicando la «sostenibilidad inductiva»". *Modum: Revista Divulgativa Multidisciplinar de Ciencia, Tecnología e Innovación*, *2*, agosto, 77-88. http://revistas.sena.edu.co/index.php/Re_Mo/article/view/3021

Guacaneme, G. & Pardo, D. (2016). *Diseño e implementación de un sistema de medición de consumo de energía eléctrica y agua potable remoto con interacción al usuario basado en el concepto "internet de las cosas"*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Karnouskos, S. (2012) *Smart Houses in the Smart Grid and the Search for Value-added Services in the Cloud of Things Era*.

López, C. (2007). *La domótica como solución de futuro*. Ministerio de Industria, Energía y Minas. Madrid, España. Disponible en: https://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/la-domotica-como-solucion-de-futurofenercom.pdf Revisado: 12/09/2020

Giménez Solano, V. M. (2011). *Hacking y ciberdelito* (Doctoral dissertation, Universitat Politécnica de València).

ICONTEC (2006). Norma Técnica NTC-ISO/IEC. Bogotá, D. C.: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC).

IEC (s. f., 2020). Homepage. https://www.iec.ch/homepage

T+I - Todo sobre Tecnología e Informática (s. f., 2018). Tecnología + Informática. http://www.informatica-hoy.com.ar

Shrivastava, A., Kumar, A., Rai, A., Payal, N. & Tiwari, A. (2013). "ISO 27001 compliance via Artificial Neutral Network". In *Computal Intelligence and Communication Network (CICN)* (pp. 339-342).

Muqabel, M. S. M. B. (2013). *Development of Metamodel for Information Security Risk Management* (Doctoral dissertation, University Teknologi Malaysia).

Quintana, B., Pereira Vietnam, R. & Vega, C. (2018). "Automatización en el hogar: un proceso de diseño para viviendas de interés social". *Revista EAN, Rev. Esc. Adm. Neg.*, *78*, enero-junio, Bogotá, 108-121.

UNIT-ISO/IEC 27000 (s. f.). UNIT - Instituto Uruguayo de Normas Técnicas. http://www.unit.org.uy/normalizacion/sistema/27000

Capítulo 04

Sistemas ciberfísicos: de la industria 4.0 Hacia la transformación digital

Cyber-Physical Systems: From Industry 4.0 to Digital Transformation

Constanza Alvarado Mariño
dcalvarado@ucompensar.edu.co

José de los Santos Solórzano,
jdsolorzano@ucompensar.edu.co

Sandra Milena García Córdoba
smgarciacordoba@ucompensar.edu.co

Proyecto padre

Este capítulo emerge como fruto de la investigación denominada "**Diseño de un modelo de entorno conectado aplicando sistemas ciberfísicos desde la caracterización de la brecha digital**", que cuenta con la aprobación oficial del Comité de Investigaciones bajo el código **#1220221.**

Institución financiadora: **Fundación Universitaria Compensar**

Resumen

Las nuevas arquitecturas lógicas y funcionales son elementos de la denominada 4RI, en una sociedad de la información que requiere estar conectada en función de escenarios de tecnologías emergentes hacia la transformación digital, donde surge la Industria 4.0 (I4.0) a partir de sistemas ciberfísicos (CPS, por las palabras en inglés: *Cyber-Physical Systems)* que conecten la realidad y la virtualidad hacia la implementación de entornos conectados (*Internet of Things*, IoT) y más allá en el Internet de Todo (*Internet of Everything*, IoE). Un mundo productivo donde distintos actores y su inminente convivencia con diversos elementos tecnológicos en numerosas situaciones median en los accesos a servicios de salud, financieros, públicos, entre otros, que significan uso, manipulación, aplicación y, al final, el logro exitoso de "las transacciones digitales" establecidas entre humanos (estudiantes, ciudadanos, empleados, usuarios) de un lado y máquinas de otro, que en un porcentaje alto marcan inclusión o exclusión de los beneficios entre lo que se espera y lo que se obtiene. Este trabajo corresponde a los resultados de un primer momento de tres, denominado exploración metodológica hacia el diseño de un EC desde una experiencia educacional, para una investigación con enfoque mixto que al final permite introducir elementos asociados de los CPS hacia los Entornos Conectados (EC) y su aplicación, que permita identificar aportes de inclusión digital y transferencia tecnológica ampliando la I4.0 en el horizonte de la educación 4.0.

Palabras claves

Sistemas ciberfísicos, industria 4.0, entornos conectados, inclusión digital, transformación digital.

Abstract

New logical and functional architectures are elements of the so-called 4RI, in an information society that needs to be connected according to emerging technology scenarios, on a challenging drive towards digital transformation. Industry 4.0 [I4.0] from Cyber-Physical Systems (CPS) that connect reality and virtuality, and the implementation of Connected Environments (Internet of Things - IoT) and beyond Internet (Internet of Everything - IoE). A productive world, where different actors and their imminent coexistence with various technological elements in numerous situations mediate access to services in health, financial, public, among others that mean use, manipulation and in the end the successful achievement of "digital transactions" established between humans on one side and machines on the other, which in a high percentage mark inclusion or exclusion of the benefits between what is expected and what is obtained. This work corresponds to the results of the first moment of three, called methodological exploration towards the design of a Connected Environments [CE] from an educational experience, for research with a mixed approach, introducing associated elements of the CPS towards CE and its application, which allows to identify contributions of digital inclusion and technology transfer expanding I4.0 in the horizon of Education 4.0.

Keywords

Cyber-Physical Systems, Industry 4.0, Connected Environment, Digital Inclusion, Digital Transformation.

Introducción

La denominada Cuarta Revolución Industrial (4RI) es fundamento o principio para proponer un marco de referencia a todos los escenarios y/o dominios de la sociedad. La computación autónoma, en inglés *Autonomic Computing* (AC), desde una visión holística, no es otra cosa que las capacidades en un sistema de autoadministración (Reza, Nami & Bertels, 2007) desde rutinas de control para monitoreo, análisis, planeación y ejecución, recolectando información del sistema en tiempo real.

Por su parte, la I4.0 es un concepto traído por la industria alemana y definido como la integración compleja de maquinaria y equipos con redes de trabajo de sensores y *software*, usados para planear, controlar y predecir como soporte a la sociedad y a los modelos de negocios (Herman *et al.*, 2016). Máquinas inteligentes, equipos de trabajo, medios ambientes para manufactura, instalaciones y otros componentes intercambiando datos e información en tiempo real, propiciando plataformas distintas actualmente existentes, como el internet de las cosas (*Internet of Things*, IoT), los sistemas ciberfísicos (*Cyber Physical System,* CPS), la computación en la nube Cloud Computing (CC), entre otros, son la base de la I4.0.

Internet de las cosas [IoT] es una experiencia de dispositivos inteligentes conectados más allá de personas, plataformas y procesos conectados, proponiendo un concepto de aplicación de Internet of Everything (IoE) y desafiando el escenario educativo y su entorno, lo que sugiere en la cotidianidad de dicho espacio un entorno conectado con una puerta amplia innovadora hacia el acceso al conocimiento y el aprendizaje (Bagheri & Movahed, 2016).

Estamos inmersos en una sociedad que enfrenta desafíos y genera ideas para la generación de valor agregado de un proceso que da lugar a otros y que se espera entregue información para la toma de decisiones. La puesta en marcha de sistemas inteligentes que medien con usuarios y clientes en cuanto a prestación de distintos servicios y ofrecimiento de productos,

ciudadanía digital, nuevas competencias para la resolución de problemas en contexto (Unesco, 2020), hacia la transformación digital, sin duda es un escenario que requiere construcción en combinación de múltiples factores. El informe del Departamento de Comercio de Estados Unidos (DoC, por sus siglas en inglés: Departament of Commerce) reconoce la situación de lo "digital" en distintos dominios, especialmente el económico, estableciendo el concepto de "economía digital" como el factor más llamativo en el desarrollo de las nuevas tecnologías que han permitido una profundización del proceso de globalización de la información y del conocimiento. En este sentido, se puede afirmar que las TIC constituyen la auténtica infraestructura de la economía digital. El soporte sobre el que se manifiesta esta infraestructura tecnológica es internet, adicionando a este otros elementos menos tecnológicos, como cambios en la organización de las empresas, agentes y mercados y las políticas públicas practicadas, que, en un nivel estructural, han ayudado a un mejor aprovechamiento de las inversiones en TIC y su potencial de transformación de la economía (Manzano & Ontiveros, 2001).

El alcance en todos los dominios de la sociedad es inminente; en el marco de las necesidades de un desarrollo sostenible de la sociedad, marcan ya un crecimiento de inmersión en las TIC. No obstante, se requiere apresurar prácticas hacia la inserción e integración interdisciplinaria y multidiversa que propongan y resuelvan soluciones que reconozcan tales transformaciones estructurales para la estrategia en arquitecturas de servicios y productos, sea cual sea el sector o actividad económica, que adelante o amplíe de manera ágil.

La aplicación y el dominio en función de la interacción de ciudadanos, empleados, estudiantes, usuarios, procesos y tecnologías generan una distancia (Unesco, 2020) en cuanto al uso de las tecnologías, lo que significa no inclusión y respuesta a necesidades en contexto.

Un reciente informe de la Unión Europea (UE) sobre el impacto económico, social y medioambiental de las Tecnologías de la Información y

las Comunicaciones (TIC) ha pedido "[…] actuar para contener el aún constante crecimiento de la brecha digital..." (UE, 2020). Por ejemplo, empresas que por su parte enfrentan desafíos en cuanto a la puesta en marcha de sistemas inteligentes que medien con usuarios y clientes en cuanto a prestación de distintos servicios y ofrecimiento de productos, así como empleados con competencias digitales (Unesco, 2020).

Estos retos sumados a la pandemia, en cuanto al aprendizaje se detuvo (Unesco, 2021), inciden con más impacto en las comunidades más vulnerables en razón de su condición socioeconómica, cultural, género, ubicación geográfica, entre otros.

Según el informe "A sustainable eEurope: can ICT create economic, social and environmental value?" ("Europa sostenible: ¿pueden las TIC generar valor económico, social y medioambiental?"), el 88 % del total de usuarios de internet representa tan solo al 15 % de la población mundial y vive en el mundo industrializado, mientras países avanzados a nivel informático, como Finlandia, tienen más usuarios de internet que toda Latinoamérica. Existen también grandes diferencias dentro del mundo desarrollado. El informe revela que, en 2002, un 58 % de los norteamericanos disponían de acceso a internet desde sus hogares, en comparación con el 38 % de los europeos. Dentro de la UE, el porcentaje varía entre el 60 % de los Países Bajos y el 10% de Grecia. Sin embargo, el informe afirma que la brecha digital no es una cuestión solo de desarrollar tecnología digital con la suficiente rapidez. Por el contrario, destaca que factores como la edad, el género, la capacidad económica, la pertenencia a un grupo étnico, la situación laboral, la educación y la geografía revelan una sólida relación entre la fractura digital y las divisiones sociales en un sentido más amplio, por lo que la brecha digital es una fuente de nuevas desigualdades en el mercado (eEuropa, 2019).

La transformación digital requiere no solo definiciones de políticas globales, sino especialmente las de sostenibilidad, estructuras tecnológicas armoniosas con los cambios y desafíos, así comosistemas inteligentes y entornos que conecten.

Metodología

Este trabajo enmarcado en el proyecto denominado "Diseño de un entorno conectado: de los sistemas ciberfísicos a la inclusión digital", en su primera fase en un contexto educativo, corresponde a una investigación exploratoria con enfoque cualitativo que busca:

Revisar definiciones de sistemas ciberfísicos desde el paradigma I4.0, para lo cual se ha acudido a algunas contribuciones de autores internacionales, así como al trabajo de tesis doctoral denominado "Towards University 4.0: A Model Driven Engineering Method to Design Educational Cyber Physical Systems" desarrollado en una universidad en Francia y a la revisión en el contexto local colombiano.

Reconocer, desde la singularidad de las tecnologías del entorno conectado, los diferentes conceptos relacionados con los Entornos Conectados (EC) para presentar las diferentes definiciones y enfoques existentes que abordan conjunta o parcialmente el Internet de las Cosas (IoT) y los Sistemas Ciberfísicos (CPS).

Destacar elementos de la arquitectura IoT, sus componentes y, más allá, escenarios de aplicación hacia la definición de una línea base de los elementos de un EC.

Identificar factores relacionados con la brecha digital desde contextos como eEuropa, UN IT, DotT Force, Unesco que permitan integrar elementos de realidad de uso y manejo hacia su integración en la arquitectura I4.0, en transición hacia la transformación digital.

Discusión

La industria 4.0 y los sistemas ciberfísicos 4.0 es un concepto planteado por primera vez entre la comunidad industrial alemana en 2011 y definido como la integración compleja de maquinaria y equipos con redes de trabajo de

sensores y *software*, usados para planear, controlar y predecir como soporte a la sociedad y a los modelos de negocios (Jacquez & Torre, 2018), permitiendo que máquinas inteligentes, equipos de trabajo, medios ambientes para manufactura, instalaciones y otros componentes intercambien datos e información en tiempo real, propiciando plataformas distintas actualmente existentes, por lo que el Internet de las Cosas (*Internet of Things*, IoT), los sistemas ciberfísicos (*Cyber Physical System*, CPS) y la computación en la nube Cloud Computing (CC), entre otros, son la base de la I4.0.

Se trata de una iniciativa compleja que abarca varias áreas superpuestas (Kagermann *et al.*, 2013). En 2016, fue definida por Herman *et al.* como la integración de máquinas y dispositivos físicos complejos con sensores y *software*. En un entorno de fabricación, las máquinas inteligentes, las instalaciones, los recursos de trabajo y otros componentes intercambian datos e información en tiempo real, lo que representa un cambio de los rígidos sistemas de control de fábrica centralizados en la inteligencia descentralizada. Esta revolución se basa en un conjunto de tecnologías que, juntas, dinamizan la Cuarta Revolución Industrial (4RI) (Bachir, 2021).

IoT es una experiencia de dispositivos inteligentes conectados y, más allá, son personas, plataformas y procesos conectados, proponiendo un concepto de aplicación de *Internet of Everything* [IoE], que sugiere nuevos modelos de negocio y nuevos modelos de cooperación que constituyen el verdadero valor añadido de la industria 4.0 (Lange *et al.*, 2017). Hermann *et al.* identificaron cuatro principios de diseño de I4.0 que presenta Bachir:

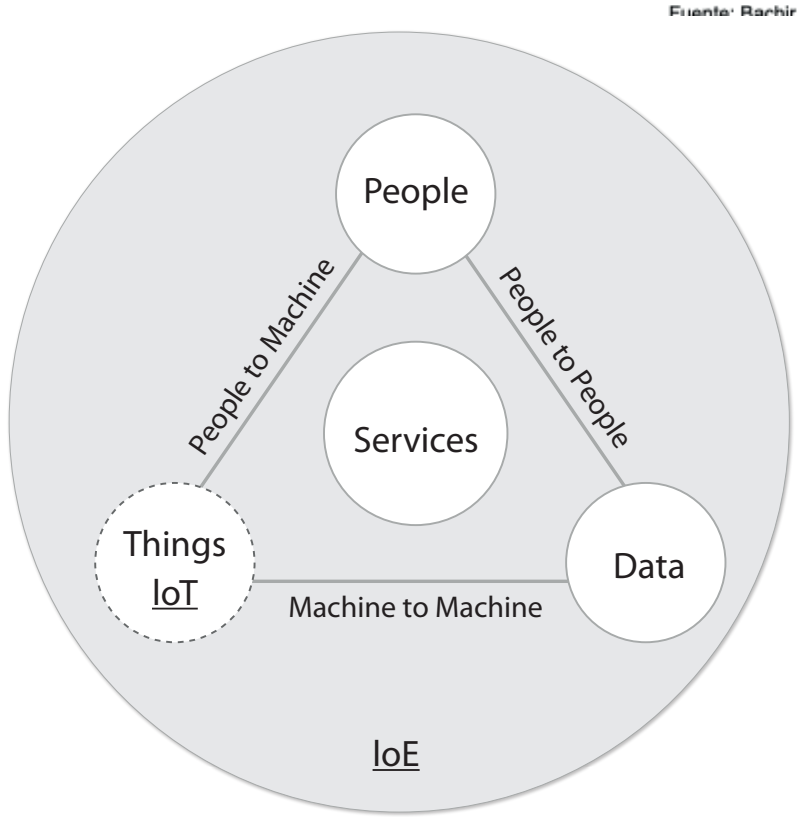
- Un aspecto de interconexión, el Internet de Todo (IoE por la denominación en inglés *Internet of Everything*), para apoyar la colaboración entre y dentro de diferentes actores: hombre-hombre, hombre-máquina y máquina-máquina (Schuh *et al.*, 2013).

- La transparencia de la información asegurada porque se genera regularmente una copia virtual del mundo físico.

- Las decisiones descentralizadas son posibles gracias a los CPS, que permiten la supervisión y el control del mundo físico de forma autónoma a través de la integración de computadores, servidores, sensores y actuadores (Lee, 2021. pp. 122-131).

- Los humanos cuentan con una asistencia técnica para intervenir cuando sea necesario.

Ilustración 30. Los componentes básicos de CPS



Fuente: Bachir (2022).

Los CPS son uno de los elementos clave en el campo I4.0 y se definen como sistemas de sistemas (Bachir, 2022). Según Herman *et al.* (2016), se trata de sistemas que crean una fusión entre el mundo virtual y el físico, como se muestra en la ilustración 31, modelando conceptos que corresponden a la misma arquitectura IoT. Consta principalmente de dos componentes (lee, Bagheri y Kao, 2015):

- Una conectividad avanzada que asegura adquisición de datos en tiempo real del mundo físico y realimenta información al ciberespacio.

- Una administración, análisis y tratamiento de datos inteligente, capaz de construir el ciberespacio.

El CPS Public Working Group (2016), para diferenciar los CPS de los sistemas convencionales, subraya la combinación sensible entre el tiempo de lo cibernético y lo físico y su conectividad en los CPS.

En resumen, dos elementos clave detrás de la I4.0 se encuentran en una evolución tecnológica relacionada especialmente con el IoT y los Cyber Physical Systems (CPS) a nivel de infraestructura física. Estas dos tecnologías están recibiendo cada vez más atención y acogen a varios dominios.

Computación autónoma

En inglés *Autonomic Computing* [AC], desde una visión holística no es otra cosa que las capacidades en un sistema de autoadministración (Nami & Bertels, 2007) desde rutinas de planeación, análisis, ejecución, monitoreo y control, recolectando información en un sistema en tiempo real.

El concepto de AC fue desarrollado por investigadores de IBM e inspirado en el sistema nervioso autónomo por la capacidad de autogestión, que permite la adaptación dinámica a los cambios del entorno; la capacidad de autocuración, que garantiza el rendimiento de un sistema detectando el mal funcionamiento de este, y la reasignación automática de recursos

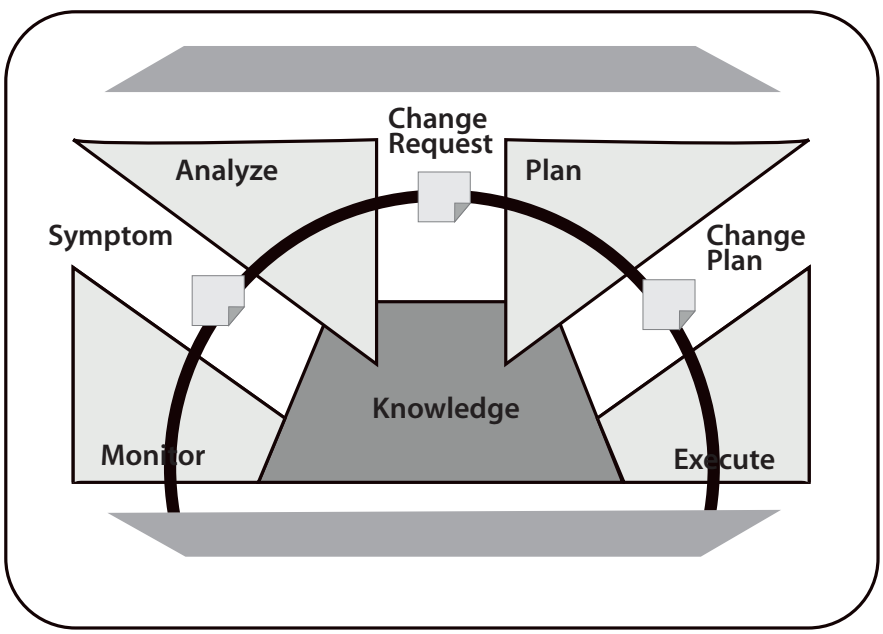
o capacidad de autooptimización, donde la seguridad se apoya en la capacidad de autoprotección.

Estas capacidades se implementan a través de diferentes gestores autonómicos. Si bien la arquitectura de referencia (IBM, 2016) propone retos en cuanto a estandarización, siguen siendo uno de los más relevantes al respecto de la gestión de datos.

Los ciclos de control podrían incorporarse dentro de un recurso para permitir la ejecución de capacidades de autogestión/autonomía (autoconstrucción, autoremediación, autooptimización, autoprotección).

La integración de las capacidades de autonomía dentro de los CPS se basa en un aspecto inteligente de los ciclos de retroalimentación, en los que los procesos físicos afectan operaciones y viceversa.

Ilustración 31. Autonomic Computing Control Loop Process



Fuente: tomado de IBM (2006).

Desde la perspectiva de AC, el CPS conserva el proceso de Monitorear, Analizar, Planear, Ejecutar (MAPE) (Bachir, 2022) (ver ilustración 31) que podría incorporarse durante un proceso determinado en cualquier dominio, por ejemplo, el educativo (una sesión de clase real), o incluso dentro de un sistema de aprendizaje con el fin de investigar los procesos de enseñanza y aprendizaje actuando en consecuencia con los comportamientos de los estudiantes.

La capacidad inteligente de adaptar los procesos de aprendizaje y enseñanza basada en datos en su gran mayoría, generados del entorno educativo conectado [EEC] en un determinado contexto de aprendizaje y aprendizaje y la enseñanza.

De los CPS a los EC: Modelado de Entornos Conectados [MEC]

En computación autónoma, los CPS basados en Entornos Conectados (EC) entregan sistemas inteligentes; se presenta entonces la relación entre CPS e IoT, en cuanto soportan una arquitectura de EC, como lo indica Bachir y sus investigaciones relacionadas, donde presenta CPS e IoT como sinónimos (Bachir, 2022).

En los últimos años, se han adelantado estudios en el campo del modelado de la arquitectura (Sensor/Cálculos-Procesos/Control, SCC), al parecer una actividad compleja del sistema IoT. Cada estudio ha abordado una visión específica del sistema IoT, como ocurre con su definición.

Tabla 6. Referentes modelado arquitecturas IoT-CPS

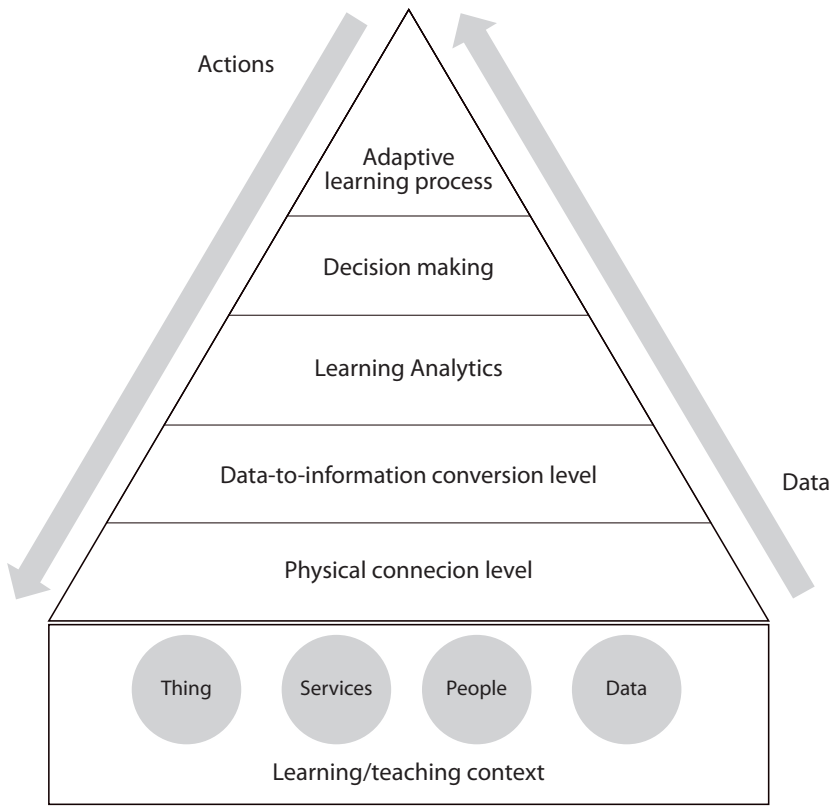
Referente	Base	Propósito
OpenHAB	Modelo OSI	Construcción de soluciones domésticas inteligentes.
DSL-4-IoT (Salihbegovic *et al.*, 2015)	Centrado en presentar en el modelo la arquitectura y la heterogeneidad de la red de lo que se desee modelar en IoT	Lenguaje de programación visual, editor y diseñador.
PervML (Sánchez *et al.*, 2012)	Describir la omnipresencia del sistema de forma independientede la tecnología	Lenguaje específico de dominio que proporciona un conjunto de construcciones. Igualmente, aborda el diseño de tecnologías integradas.
Riedel *et al.* (2010)	Modelos de *software* dirigido	Desarrollo de *software* en el que se sugiere un módulo de generación de código basado en un modelo independiente de la plataforma que especifica cómo los mensajes pueden ser consumidos por la de mensajes (modelo de mensajes). Propone minimizar la brecha tecnológica entre los objetos embebidos en red y el *back-end* de la empresa.
LAURA (Teixeira *et al.*, 2020, p. 161)	Una arquitectura orientada a los servicios	Facilita el desarrollo de sistemas IoT para los expertos en Business Process Mangament (BPM). Busca liberar al desarrollador de modelos de negocio de la tarea de conocer detalles de los aspectos de programación de bajo nivel.

Internet of Things (IOT): hacia un ecosistema de Internet de Todo (*Internet of Everything*, (IoE)

IoT es definido como un ecosistema que es capaz de escalar y explotar la infraestructura existente de dispositivos integrados y conectados, definición que se presenta como la expansión que luego se ha producido con el Internet de Todo o Internet of Everything (IoE).

Braga *et al.* sostienen que IoE es el siguiente paso evolutivo de internet de las cosas, embebidos allí no solo aparatos, sino también personas, procesos y datos (Braga *et al.*, 2019).

Ilustración 32. Arquitectura genérica por capas de los CPS



Fuente: tomado de Bachir (2022).

Como se muestra en la ilustración 32, el IoT se presenta como parte del Internet de Todo [IoE]. En un ejercicio de ejemplo para un proceso educativo, algunos componentes de CPS referidos por Amorin y Braga (2018) y CISCO son:

1. **Humano:** se refiere a los estudiantes, profesores, administradores u otros interesados que participan en los procesos de aprendizaje/enseñanza. Este conocimiento sobre el problema del usuario es esencial para crear vínculos personales y profesionales fomentando la colaboración y la cooperación; las propias personas se convertirán en nodos de internet, tanto con información estática como con un sistema de actividad en constante emisión.

2. **Objeto:** se refiere no solo a los dispositivos físicos que pueden establecer conexión con internet y utilizar sensores para captar información del entorno (como se presenta en Amorin y Braga [2018]) o actuadores para actuar sobre el entorno, sino también a los recursos de aprendizaje inteligentes que pueden establecer conexión con Internet, por ejemplo, un computador, un robot de telepresencia u otro (Bachir *et al.*, 2021):

3. **Servicios:** se refiere al modo en que las personas y los objetos deben interactuar para generar datos que puedan transformarse en conocimiento utilizable mediante la invocación de servicios. Según Fortino *et al.* (2017), cada servicio IoT está diseñado como una composición del modelo de servicio (detalles sobre los atributos y las relaciones que describen el servicio IoT en sí) y el programa de servicio (detalles sobre el proceso que implementa el servicio).

4. **Datos:** se refiere a todos los diferentes datos procedentes de los distintos elementos del sistema conectado. La computación en la nube y la analítica del aprendizaje son ejemplos de tecnologías para la gestión de datos y su transformación en información. Los datos pueden ser estructurados, semiestructurados o no estructurados en un entorno conectado.

En nuestro trabajo, nos interesa explorar IoE y por ello se utilizan todos los tipos de componentes dentro de las diferentes interacciones (de persona a persona, de persona a máquina y de máquina a máquina). IoT se ocupa principalmente de las interacciones entre máquinas, como su nombre lo indica. En nuestro caso, el concepto y diseño de un sistema ciberfísico educacional es un elemento clave para el seguimiento del entorno conectado.

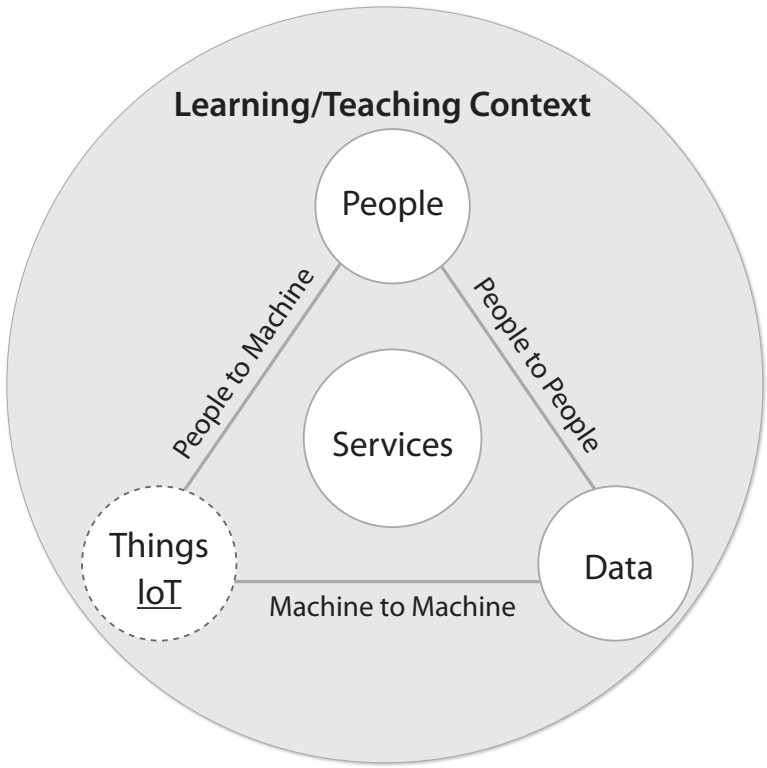
Sistemas Ciberfísicos Educacionales (ECPS): entornos conectados y sistemas inteligentes

Los Educational Ciyber-Physical Systems (ECPS) son sistemas educativos complejos constituidos por componentes físicos y cibernéticos que tienen como objetivo la implementación de ciclos de control para gestionar los procesos educativos de acuerdo con los requisitos de las partes interesadas. Estos componentes se refieren a IoE.

Se basan en una red de componentes ciberfísicos dentro de un ecosistema educativo IoE, cuyo objetivo es mejorar no solo los procesos de aprendizaje y enseñanza, sino también todo el ecosistema educativo. En diferentes niveles operativos, los ECPS implementan MAPE (Monitorizar, Analizar, Planificar y Ejecutar) para supervisar y posiblemente autoadaptar escenarios pedagógicos o necesidades de un curso, tema o clase en particular, en función de las habilidades y capacidades de los estudiantes y de la evolución del tiempo de ejecución (Bachir, 2022).

Una plataforma consistente y armoniosa como un EC podría reunir los diferentes aspectos del proceso educativo, como se muestra en la ilustración 33, con la inteligencia de las cosas, que procure por una experiencia de aprendizaje-educación.

Ilustración 33. Arquitectura genérica ECPS de un ecosistema educativo basado en Internet of Everything (IoE)



Fuente: tomado de Bachir et al. (2021).

Estos elementos y el ecosistema IoE definen el Sistema Ciberfísico Educacional (*Educational Cyber Physical System*, ECPS) como la contextualización de los diferentes elementos físicos del ecosistema educativo IoE, donde personas y objetos generan los procesos requeridos que pueden ser implementados para la recolección de información y su análisis en el ciberespacio, para así monitorear y supervisar el mundo físico y la adaptación de los procesos cuando esto sea necesario. El monitoreo, como se indica en un apartado anterior, son rutinas o instrucciones programas para resolver el mismo en las condiciones esperadas, lo cual es denominado computación autónoma.

La transición digital hacia una sociedad del conocimiento sugiere no solo dominar concepciones, sino alinear las tecnologías con los escenarios posibles de aplicación, que incluyan datos, proceso, personas y cosas, definir arquitecturas de CPS desde y hacia EC, basados en un marco que permita diseñar, desarrollar y gestionar Sistemas Inteligentes [SI] desde un enfoque genérico, no específico, de un dominio aplicado a universidad, educación, organizaciones del Estado y privadas y empresas, hacia la aplicación 4.0, hacia territorios inteligentes, agricultura, el medio ambiente, la energía y otros, con características de sistemas existentes o propuestas referenciadas a I4.0, IoT, EC, Ingeniería "*ad hoc*" para desarrollar SI y aplicaciones que asuman soluciones concretas .

Es necesario que se resuelva la distancia entre los conceptos de I4.0 y los sistemas y aplicaciones desarrollados que apropien capitalización en cuanto a la reutilización de servicios, plataformas abiertas, interoperables y extensibles, arquitecturas y modelos basados en CPS e IoE, que adapten estas características, lo cual son retos para la ingeniería y para quienes de manera indirecta residen en el mundo hacia la transformación digital.

Inclusión digital: más allá de la conectividad

El escenario de las TIC trae retos y desafíos consigo, haciendo evidentes también las importantes diferencias que tienen los individuos, las familias y las empresas para acceder o usar las TIC y para utilizar internet en sus múltiples utilidades (OCDE, 2021).

En el contexto internacional, desde el desarrollo de las TIC se habla de la economía del conocimiento, lo que supone generar importantes transformaciones en la economía actual y nuevas expectativas de desarrollo. Aun así, la oportunidad que las TIC ofrecen al crecimiento económico no parece encontrarse para los países menos desarrollados, generando lo que se ha denominado brecha digital.

Hace falta comprender este fenómeno desde elementos posibles calificables y cuantificables, quizás de indicadores, determinando posibles variables explicativas de lo que pareciera establecerse como distancia de uso, cercanía a dichas TIC y sus beneficios de inclusión social en una sociedad. Iniciativas internacionales como UN ICT Task Force, DOTForce, eEuropa, ONU, Unesco, proponen, entre otras dimensiones, categorías para profundizar en factores que van más allá de una cobertura o conectividad a internet, invitando a que las TIC sean un motor de medidas a desarrollar para eliminar la brecha digital y para constituir una sociedad del conocimiento a nivel mundial.

Esta situación es especialmente preocupante para los países más pobres, debido a su menor capacidad para acceder y absorber las nuevas tecnologías. Es cierto que la tecnología, su implantación y su desarrollo siempre han sido una fuente de diferencias y desigualdades entre países. Sin embargo, las diferencias de acceso y aprovechamiento de las TIC entre países, zonas e individuos es una realidad asociada al contexto de la economía digital y la sociedad del conocimiento, un entorno globalizado y competitivo donde las capacidades para acceder, procesar y manejar la información están, cada vez más, asociadas a la implantación de tecnologías TIC.

Transición digital: asimetría emergente y brecha digital

Las conceptualizaciones de asimetría y brecha digital han estado relacionadas en la mayoría de los casos con el no acceso a las nuevas tecnologías, enmarcadas por la ausencia de conectividad a internet. Sin embargo, las diferencias de dan por una multiplicidad de factores en cuanto al acceso a la información y desde luego al conocimiento en cuanto a conectividad, infraestructura, educación, capacidad socioeconómica, entre otros.

En las zonas de fácil acceso y cascos urbanos están conectados más dispositivos que personas, determinando que muchos de ellos se han convertido en herramientas de usabilidad en ambientes laborales, académicos y de distracción (Cisco Internet Business Solutions Group [IBSG], 2011),

como se citó en Evans (2011). Con el incremento sustantivo del uso de dispositivos móviles y más de teléfonos inteligentes en edades desde los 16 años, se resalta la cantidad de tiempo de conexión de los usuarios con productos de Google, Apple, Facebook, Amazon y Microsoft, pero al mismo tiempo en entornos desconectados entre las personas independientemente de los estratos socioeconómicos.

En contraposición con lo anterior, en Colombia existe una gran diferencia entre las diversas regiones respecto a la alfabetización digital, debido a que los sectores de menores recursos no tienen acceso a estas nuevas tecnologías de la información y comunicación TIC (Cuadra, 2004). A partir de allí, se genera una distancia radical entre quienes tienen y quienes no tienen acceso a la red y las herramientas para la gestión e interacción de servicios por medios digitales. Las escuelas, empresas, comercios, bibliotecas públicas e instituciones intermedias, entre otros, en general no están conectados, por tanto, los trámites naturales de pagos de servicios, procesos bancarizados o compras *online* no se evidencian claramente en estos sectores de la población.

En consecuencia, la transformación de la sociedad y la rapidez del cambio generan nuevos esquemas organizativos con entornos altamente tecnificados (Meneses, 2015), vinculado al Estado desde la administración de recursos públicos mediados por el desarrollo de un nuevo diseño de políticas públicas, en integración con los sectores de la población más vulnerables (Cabero, 2014).Dentro de las premisas que han sido tema de debate para la generación de estas políticas públicas, se encuentra la pertinencia, con respecto al cómo hacer que estas tecnologías agreguen valor a lo que se puede hacer sin la utilización de las mismas, pensando claramente en enriquecer, complementar y flexibilizar buenas prácticas de procesos presenciales, desde empleos hasta el ámbito educativo, apoyadas, en la mayoría de los casos, en múltiples medios no necesariamente tecnológicos.

Otro aspecto fundamental es la inclusión digital, la cual está relacionada con el analfabetismo digital porque, más que tener habilidades en el manejo de alguna herramienta tecnológica o en la codificación de aplicaciones que pueden estar orientadas a brindar servicios digitales sin realizar un verdadero análisis del contexto al cual se quieren aplicar, se hace necesario el desarrollo de habilidades de pensamiento computacional y competencias digitales, especialmente en lo que respecta a la programación usando enfoques analíticos y algorítmicos para formular, analizar y resolver problemas para la generación de nuevas oportunidades en los diferentes entornos laborales, académicos y sociales. "Pensar como un científico computacional significa más que ser capaz de programar un ordenador" (Wing, 2006, p. 33).

Con lo anterior, en cualquiera de los escenarios, donde la inclusión de actividades hace uso de las TIC en modalidad presencial, semipresencial, a distancia, "*blended*" y virtual o en línea (MEN, 2019), el usuario sigue siendo un elemento fundamental como organizador y orientador de procesos, siendo también un orquestador de los recursos que tiene a su disposición y del ciberespacio (Aiello & Cilia, 2004).

Finalmente, otro factor que también genera estas asimetrías es la llamada desigualdad automatizada, que desde varios puntos de vista se considera uno de los elementos que, guiados por la industrialización y el colonialismo digital, produce exclusión a ciertos grupos poblacionales. Estos usuarios, de forma medida, van reconociendo que las organizaciones digitales implementan soluciones informáticas y plataformas que tienden a replicar sesgos preexistentes a mujeres, las personas negras, personas con movilidad limitada, usuarios que no hablan ciertos idiomas de índole universal, entre otros grupos (Eubanks, 2018), que acorde con los algoritmos existentes en estas nuevas tecnologías definen lo que está bien o mal en el ámbito digital.

Conclusiones

En un contexto vertiginoso de tecnologías emergentes, en el que el 99,4 % de los objetos físicos siguen sin estar conectados, con más de 14,4 billones de dólares en beneficio neto entre 2013 y 2022 por el Internet de Todo (IoE), conectar lo que no está conectado, de persona a persona (P2P), de máquina a persona (M2P) y de máquina a máquina (M2M), requiere que de forma inmediata se estrechen propuestas de transferencia tecnológica, iniciando desde la aproximación a los elementos propuestos e inherentes a la tecnología y sus bondades, para lograr así la aplicación de arquitecturas que extiendan el alcance de la I4.0 a todos los dominios de la sociedad.

Esto exige de la industria asumir nuevos desafíos y apropiar la autonomía computacional, esto es, un elemento propio de inclusión digital que refiera elementos de transición tecnológica y también de personas, de predicción, aprendizaje y desaprendizaje que valoren o moneticen ideas y generen beneficios de desarrollo a una comunidad. Los nuevos recursos son adoptados de manera ágil desde las máquinas, aun si los usos e inserciones parecieran estar alejados de contextos, comprendiendo que reducir la brecha va más allá del acceso a las TIC desde la creación de oportunidades digitales, promovidas por la investigación y la innovación, desde una estrategia de interoperabilidad solidaria digital de los países, buscando que las TIC sean la columna vertebral de la economía de la información del conocimiento.

Es necesario destacar la necesidad del desarrollo y fortalecimiento de las capacidades y habilidades requeridas para utilizar las TIC, de contar con computadores y equipos tecnológicos inteligentes conectados a la red mundial, que es lo que comúnmente determina el trabajo en cuanto a brecha digital, así como enfocar la educación hacia el desarrollo y fortalecimiento en la capacidad o dificultad de usar tales tecnologías.

Dichos retos están orientados a disminuir la asimetría que introduce una nueva dimensión en cuanto a la brecha digital denominada desigualdad automatizada. La pregunta por la distancia digital, en cuanto a uso, aplicación y aprovechamiento máximo de la tecnología en cualquiera de los escenarios y en particular de la educación, como lugar llamado a promover espacios de aprendizaje para resolver problemas en contexto, hacia una propuesta inclusiva y que rescate el aprendizaje y nuevas prácticas flexibles en escenarios inmediatos, son los motivadores para adelantar un proyecto que establezca una aproximación más clara de lo que significa la brecha digital visto desde un escenario global, regional, nacional y local, situándonos inicialmente en aplicaciones concretas de educación, con alcance en una siguiente etapa de la investigación hacia un modelo construido que aplique a actores tales como gobierno, en escenarios de ciudadanía digital y empresas, en cuanto a empleabilidad y competencias digitales.

Referencias

Aksu, D. & Aydin, M. A. (2019). *A survey of IoT architectural reference models*. In 16th International Multi-Conference on Systems, Signals y Devices (SSD) (pp. 413-417). IEEE.

Amorim Silva, R. & Braga, R. T. (2018). "An acknowledged system of systems for educational internet of everything ecosystems". In *Proceedings of the 12th European Conference on Software Architecture: Companion Proceedings* (pp. 1-7).

Bachir, S. (2022). *Towards University 4.0: A Model-Driven-Engineering Method to Design Educational Cyber Physical Systems* (Doctoral dissertation, Université de Pau et des Pays de l'Adour).

Bachir, S. & Abenia, A. (2019). *Internet of everything and educational cyber physical systems for university 4.0*. In International Conference on Computational Collective Intelligence (pp. 581-591). Springer, Cham.

Bachir, S., Gallon, L., Aniorte, P. & Abénia, A. (2021). *A Model Driven Method to Design Educational Cyber Physical Systems*. In ICSOFT (pp. 125-134).

Bachir, S., Gallon, L., Abenia, A., Aniorté, P. & Expósito, E. (2019, August). "Towards autonomic educational cyber physical systems". In *IEEE SmartWorld, Ubiquitous Intelligence y Computing, Advanced y Trusted Computing, Scalable Computing y Communications, Cloud y Big Data Computing, Internet of People and Smart City Innovation (SmartWorld/SCALCOM/UIC/ATC/CBDCom/IOP/SCI)* (pp. 1198-1204). IEEE.

Badia, A., Meneses, J. & García, C. (2015). "Technology use for Teaching and learning". *Revista de Medios y Educación*.

Bagheri, M. & Movahed, S. H. (2016, November). *The effect of the Internet of Things (IoT) on education business model*. In 12th International Conference on Signal-Image Technology y Internet-Based Systems (SITIS) (pp. 435-441). IEEE.

Cisco (2021). *Internet of everything*. https://www.cisco.com/c/en/us/about/legal/service-descriptions.html.

Computing, A. (2006). "An architectural blueprint for autonomic computing". *IBM White Paper*, *31,* 1-6.

Cuadra, Á. (2004). *La brecha digital: cibercultura y desarrollo. Paradojas y asimetrías de una sociedad en red, nuevos contextos y usos de la cibertecnología en Chile*. Santiago: IHEAL/CEPAL/Universitè de Paris III. www.labrechadigital.org

Dressler, F. (2018). *Cyber physical social systems: Towards deeply integrated hybridized systems*. In International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC) (pp. 420-424).

Duval, E., Sharples, M. & Sutherland, R. (2017). "Research themes in technology enhanced learning". In *Technology enhanced learning* (pp. 1-10). Springer, Cham.

Educause (2016). *The Internet of Things: Riding the Wave in Higher Education*. https://er.educause.edu/articles/2016/6/the-internet-of-things-riding-the-wave-in-higher-education

Educause (2020). *The difference between emergency remote teaching and online learning*. https://er.educause.edu/articles/2020/3/the-di erence-between-emergency-remoteteaching-and-on-line-learning

EMF (2021). *Eclipse modeling framework*. https://www.eclipse.org/modeling/emf/

Eubanks, V. (2018). *Automating inequality: How high-tech tools profile, police, and punish the poor*. St. Martin's Press.

Evans, D. (2011). "Internet de las cosas. Cómo la próxima evolución de Internet lo cambia todo". *Cisco Internet Bussiness Solutions Group-IBSG*, *11*(1), 4-11.

Fortino, G., Russo, W., Savaglio, C., Viroli, M. & Zhou, M. (2017, June). "Modeling Opportunistic IoT Services in Open IoT Ecosystems". In *WOA* (pp. 90-95).

Galperín, H. (2017). *Sociedad digital: brechas y retos para la inclusión digital en América Latina y el Caribe*. Unesco.

Giesenbauer, B. & Müller-Christ, G. (2020). "University 4.0: Promoting the transformation of higher education institutions toward sustainable development". *Sustainability*, *12*(8), 3371.

Guth, J., Breitenbücher, U., Falkenthal, M., Leymann, F. & Reinfurt, L. (2016). "Comparison of IoT platform architectures: A field study based on a reference architecture". In *Cloudification of the Internet of Things (CIoT)* (pp. 1-6). IEEE.

Hermann, M., Pentek, T. & Otto, B. (2016). *Design principles for industrie 4.0 scenarios*. In 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS) (pp. 3928-3937). IEEE.

IBM (2006). "Autonomic Computing. An architectural blueprint for autonomic computing". *IBM White Paper*, *31*, 106.

Kagermann, H., Wahlster W. & Helbig, J. (2013). *Final report of the industrie 4.0 working group*. Federal Ministry of Education and Research (p. 82).

Kleppe, A. (2003). *MDA Explained: The model driven architecture: Practice and promise*. Addison-Wesley Longman Publishing Co. Inc., Boston, MA, USA.

Lee, E. A. (2008). *Cyber physical systems: Design challenges*. In 11th IEEE International Symposium on Object and Component-Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC) (pp. 363-369). IEEE.

Lee, J., Bagheri, B. & Kao, H. A. (2015). "A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems". *Manufacturing Letters*, *3*, 8-23.

Ministerio de Educación Nacional (2019). *Lineamientos y aspectos por evaluar para la acreditación en alta calidad de programas académicos*, (p. 5).

Nami, M. R. & Bertels, K. (2007). *A survey of autonomic computing systems*. In Third International Conference on Autonomic and Autonomous Systems (ICAS'07) (p. 26). IEEE.

Openhab (2021). *Open source project*. www.openhab.org.

Riedel, T., Yordanov, D., Fantana, N., Scholz, M. & Decker, C. (2010). *A model driven internet of things*. In Seventh International Conference on Networked Sensing Systems (INSS) (pp. 265-268). IEEE.

Salihbegovic, A., Eterovic, T., Kaljic, E. & Ribic, S. (2015). *Design of a domain specific language and IDE for Internet of things applications*. In 38th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO) (pp. 996-1001). IEEE.

Sánchez López, T., Ranasinghe, D. C., Harrison, M. & McFarlane, D. (2012). "Adding sense to the Internet of Things". *Personal and Ubiquitous Computing*, *16*(3), 291-308.

Scorm.(2021). Shareable content object resource reference. https://adlnet.gov/projects/scorm/.

Schuh, G., Potente, T., Wesch-Potente, C. & Hauptvogel, A. (2013). *Sustainable increase of overhead productivity due to cyber-physical-systems*.

SYSML (2021). *What is SysML?* https://sysml.org/.res/docs/specs/OMGSysML-v1.4-15-06-03.pdf.

Teixeira, S., Agrizzi, B. A., Pereira Filho, J. G., Rossetto, S., Pereira, I. S. A., Costa, P. D. ... & Martinelli, R. R. (2020). "LAURA architecture: Towards a simpler way of building situation-aware and business-aware IoT applications". *Journal of Systems and Software*, *161*, 110494.

Wing (2006). *Pensamiento computacional*. https://howilearnedcode.com/2016/10/el-pensamiento-computacional-jeannette-m-wing/

Capítulo 05

Determinación de variables claves de recursos para un modelo de gestión de capacidades tecnológicas en la industria de generación eléctrica alternativa de Colombia y México, a través de árboles de decisión

Determination of key resource variables for a model of management of technological capabilities in the alternative electricity generation industry of Colombia and México, through decision tree

Néider Duan Barbosa Castro
ndbarbosac@ucompensar.edu.co

Fabiola Sáenz Blanco
fsaenz@udistrital.edu.co

Francisco Zorrilla Briones
fzorrilla@itcj.edu.mx

Evy Fernanda Tapias Forero
eftapiasf@unal.edu.co

Proyecto padre

Este capítulo emerge como fruto de la investigación denominada "**CMR para la gestión de capacidades tecnológicas**", que cuenta con la aprobación oficial del Comité de Investigaciones bajo el código **#032021**.

Institución financiadora: **Fundación Universitaria Compensar**

Resumen

Esta disertación académica permite hacer una identificación de las variables que tienen influencia en la gestión de capacidades tecnológicas, específicamente aquellas que influyen en la administración de recursos; lo anterior en respuesta al modelo de gestión propuesto por dos investigadores colombianos y adoptado por una investigación internacional orientada a la creación de *software* para la administración de estas, buscando fortalecer la competitividad de la industria de generación de energía. Por lo tanto, la gestión de las capacidades tecnológicas de recursos se describe como una habilidad que combina la administración de recursos tecnológicos tangibles e intangibles con la capacidad de manejo y administración de estos, además de incluir el proceso de promover el desarrollo de habilidades desde la percepción, adquisición y transformación de los recursos en la organización. Para determinar las variables clave que verdaderamente intervienen en el proceso de gestión de las capacidades tecnológicas, en este caso se utilizan técnicas de minería de datos, especialmente árboles de decisión basados en datos de simulación de encuestas de percepción realizadas por expertos de los dos países. Como resultado final, basado en el muestreo, se define que las variables que realmente tienen un fuerte impacto son aquellas que influyen en la adquisición de nuevas tecnologías, desde un punto de vista económico, pero también aquellas que intervienen en el proceso de protección tecnológica. Todo lo anterior promueve una falencia que existe en el tipo de organizaciones del proceso de generación eléctrica en destinar recursos para la gestión de sus capacidades tecnológicas.

Palabras claves

Capacidades tecnológicas, recursos, gestión, minería de datos, selección de atributos, árboles de decisión.

Abstract

This academic dissertation allows to establish the variables that really influence the management of technological capabilities, specifically those that influence the administration of resources, the above in response to the management model proposed by two Colombian researchers and adopted by an international research oriented to the creation of software for the administration of the same, seeking to strengthen the competitiveness of the power generation industry. Therefore, the management of technological resource capabilities is described as a skill that combines the management of tangible and intangible technological resources with the ability to manage and administer them in addition to including the process of promoting the development of skills from the perception, acquisition, and transformation of resources in the organization. To determine the key variables that really intervene in the process of managing technological capabilities, in this case data mining techniques are used especially decision trees based on simulation data from perception surveys conducted by experts from the two countries. As a result, based on sampling, it is defined that the variables that really influence are those that influence the acquisition of innovative technologies, from an economic point of view; but also, those involved in the process of technological protection. All the above promotes a shortcoming that exists in the type of organizations of the electricity generation process in allocating resources for the management of their technological capabilities.

Keywords

Technological capabilities, resources, management, data mining, attribute selection, decision trees.

Introducción

A través de este artículo se pretende establecer las variables que realmente influyen en la gestión de capacidades tecnológicas enfocadas al eje de recursos, dando respuesta a un modelo de gestión propuesto por dos investigadores colombianos y adoptado por una investigación internacional, la cual busca crear un *software* para, a partir del conocimiento tecnológico, fortalecer los procesos de competitividad en la industria de generación eléctrica.

Esta investigación es desarrollada en conjunto por tres instituciones de educación superior colombianas y dos universidades no colombianas, a saber: la Fundación Universitaria Compensar, la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el Servicio Nacional de Aprendizaje, por Colombia; por México, el Tecnológico Nacional de México/I.T. de Ciudad Juárez. y los resultados de esta investigación en un futuro se validarán directamente con el apoyo de una universidad brasilera, Centro Universitario de Patos de Minas.

Esta disertación comienza por dar un contesto a lo que significa la gestión de capacidades tecnológicas en la industria de generación eléctrica.

La gestión de las capacidades tecnológicas al interior de la industria de generación eléctrica

Las organizaciones de generación eléctrica implementan constantemente nuevas tecnologías en búsqueda de innovar en las formas de generación eléctrica (Villafañe, 2022; Haim *et al.*, 2020), creando propuestas en las diferentes universidades de implementación de energías alternativas, pero cabe anotar que estas propuestas se ven ampliamente afectadas por la falta de regulaciones claras al interior de los países (Hamdan Sohail, 2020; Meléndez, 2017). Otro inconveniente es la relación que estas empresas tienen con sus grupos de interesados internos, las cuales solo se evidencian a través de documentos de informes (Retamal & Matus, 2018) que se

alimentan a través de la planeación estratégica en las empresas (Yamasato & Zlatia, 2017); pero no se evidencia el uso eficaz de la tecnología (capacidad tecnológica) en búsqueda de la competitividad (Pérez Escatel & Pérez Veyna, 2013) a través de sus *stakeholders* internos.

Un autor mexicano evidenció que hay ciertas falencias en el sector de generación eléctrica y cita que se ha desarrollado un centro de investigación cuyo fin es indagar sobre las nuevas aplicaciones tecnológicas aplicadas al sector eléctrico (Eibenschutz, 2006); al igual que en el caso colombiano, se ha disertado sobre cómo maximizar la capacidad instalada de generación eléctrica, pero no precisamente teniendo como centro la tecnología, sino factores climáticos (Parra & Andrade, 2020).

Dado el contesto anterior, se encuentra la necesidad de realizar técnicas de gestión tecnológica para mejorar sus procesos organizacionales e industriales, pero teniendo en cuenta los *stakeholders* internos; lo anterior sumado a que es necesario determinar que el conocimiento tecnológico es fundamental para el manejo de clústeres internos (Gómez Díaz, 2017) y no solo centrarse en nuevas formas de generación alternativa (Giraldo *et al.*, 2018). Por ello, investigaciones previas han permitido el desarrollo de un *software* ERP para la gestión de capacidades tecnológicas en la industria de generación eléctrica de Colombia y México (Acosta *et al.*, 2021), pero estas solo se encaminan a la gestión de recursos internos.

Es así como la investigación en ejecución busca formular una solución informática CMR para la gestión de capacidades tecnológicas, adoptando las investigaciones realizadas alrededor de dichas capacidades en diferentes industrias, como la maderera (Mantulak-Stachuk, 2018) y la textil (Leal Morantes *et al.*, 2018), entre otras, propuesta que se centra en unas variables de diversas índoles. Dado lo anterior y el alcance de la investigación en ejecución, se determinó que existen tres grupos de variables que intervienen en la gestión de capacidades tecnológicas (Barbosa Castro *et al.*, 2021): conocimiento, recursos y redes; por ello, la investigación se basa en el modelo de gestión de capacidades tecnológicas propuesto por la investigadora colombiana Fabiola Sáenz Blanco y cuyo foco de estudio

son diferentes ámbitos organizacionales (Mesquida & Varón Robayo, 2019; Guayacán Conde & Tovar, 2018)

La gestión de capacidades tecnológicas de recursos

Como se mencionó anteriormente, esta disertación solo se centra en la determinación de las variables claves que afectan la gestión de las capacidades tecnológicas en el eje de recursos, es decir, adquirir una capacidad tecnológica debe estar sujeto a una adquisición constante de tecnología y a una vinculación con los centros de investigación, universidades y desarrolladores de nuevas tecnologías, etc. De allí que la selección, evaluación y negociación tecnológica se hace atendiendo a las sugerencias del proveedor, a los precios y a las garantías que ofrecen (Carroz, 2005), centrados en netamente la administración económica de los recursos.

Es decir, este documento solo presenta el estudio para determinar los elementos influyentes en cuanto a:

- Orientar y priorizar inversiones en tecnología.
- Control y análisis de obsolescencia.
- Política de apoyo a las actividades de diseño e ingeniería.
- Orientar y priorizar procesos y prácticas diferenciadoras.
- Asignación de espacios físicos.
- Gestión de la propiedad intelectual.
- Incorporación de rutinas para innovar en tecnología.
- Introducción de certificaciones.

En búsqueda de determinar esas capacidades tecnológicas que afectan la economía, financiación y estabilidad financiera (Pérez, 2020) de cara a los *stakeholders* internos; todo lo anterior para la industria de generación eléctrica en Colombia y México.

Por ello es interesante plantear la siguiente pregunta de investigación para esta disertación en particular: ¿a través de qué técnicas de minería de datos podrían establecerse las variables claves de recursos orientadas a alimentar el modelo de gestión de capacidades tecnológicas propuesto, tomando como caso de estudio la industria de generación eléctrica?

Metodología

La metodología cuantitativa es uno de los métodos de investigación utilizados tradicionalmente en la ciencia, se enfoca en aspectos observables que pueden ser cuantificados y utiliza estadísticas. En este caso, los datos como recurso para el análisis cuantitativo son vitales y se deben buscar procedimientos aplicables en el campo de la cienciometría (Ávila-Toscano, 2018).

Teniendo en cuenta los objetivos de este artículo, la metodología utilizada parte de las técnicas de minería de datos, para a través de la misma poder determinar las variables que tienen mayor impacto e intervención en el proceso de gestión de capacidades tecnológicas enfocadas a la organización de recursos en las organizaciones.

Para la minería de datos se debe determinar una cantidad significativa de datos; por la muestra poblacional y la naturaleza de la investigación, que utiliza el juicio de expertos como elemento clave en la toma de decisiones (Escobar-Pérez & Cuervo-Martínez, 2008; Mauricio Rueda-Cáceres *et al.*, 2018), se decidió utilizar la simulación de datos.

Desde la visión anteriormente explicada, como primer paso se determinan grandes cantidades de datos a través de técnicas de simulación de datos, que se entiende, según Villa, como aquellas técnicas de muestreo estadístico controlado, utilizado junto con un modelo para obtener respuestas aproximadas (Villa Diharce, 2002). El segundo paso es la utilización de algoritmos propios de la minería de datos, en este caso, la utilización de árboles (Salazar Torres & Girón Cárdenas, 2020) como herramienta para

determinar cuáles de las variables ingresadas en el paso 1 son las de mayor relevancia, y como último paso, determinar bajo el análisis propio de los expertos cuáles de las variables en estudio se deben considerar para el análisis de la gestión de capacidades tecnológicas enfocadas al conocimiento, todo lo anterior respetando el modelo propuesto por los investigadores Sáenz y Barbosa (Sáenz Blanco *et al.*, 2019).

El proceso de simulación de datos incluye principalmente dos etapas. La primera es determinar cómo se distribuyen los datos y luego determinar los estadísticos de estimación necesarios y así poder simular los datos; el segundo paso es utilizar técnicas de cálculo y matemáticas para simular la cantidad de datos requeridos, en este caso 1.000 datos. Para lo anterior, considerando que los datos tienen un comportamiento normal, se utilizan los *softwares* EasyFit (MahtWave Technologies, 2018) y Stafit (ProModel Corporation, 2020). Lo anterior se visualiza en las siguientes tablas.

Resultados y simulación de datos

Dimensión administrativa:

Tabla 7. Caracterización de las variables de dimensión administrativa según encuesta a expertos

¿Qué tan relevante considera usted los siguientes aspectos dada su incidencia en el desarrollo de las investigaciones al interior de su organización? (Donde 1 es muy irrelevante y 7 muy relevante)		
Variable	**Nombre**	**Pregunta**
Inventario tecnológico	V1	La clasificación, priorización y vigilancia constante de su tecnología
Obsolescencia tecnológica	V2	Priorizar, orientar, revisar la obsolescencia de su tecnología
Inversión tecnológica	V3	Invertir en tecnología
Protección tecnológica	V4	Patentar, certificar y proteger su tecnología

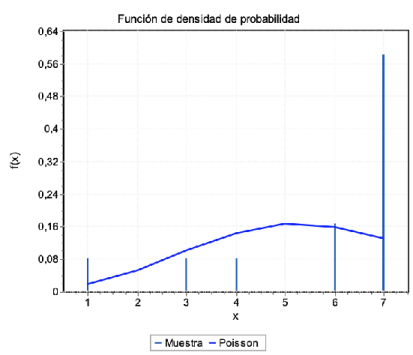
Dimensión económica:

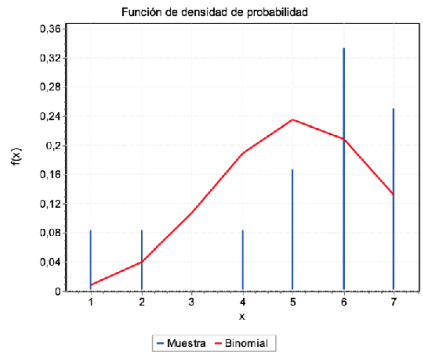
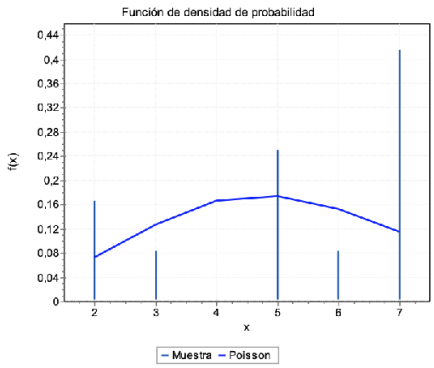
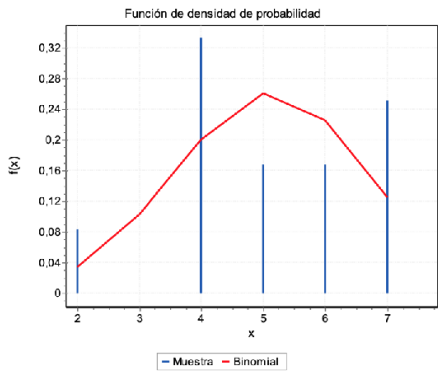
Tabla 8. Caracterización de las variables de dimensión económica según encuesta a expertos

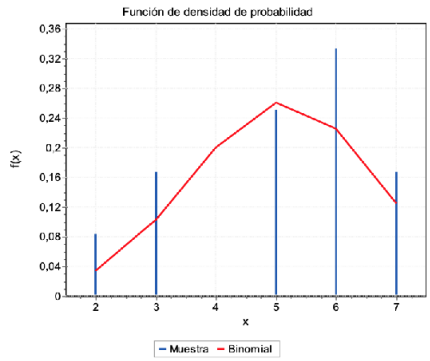
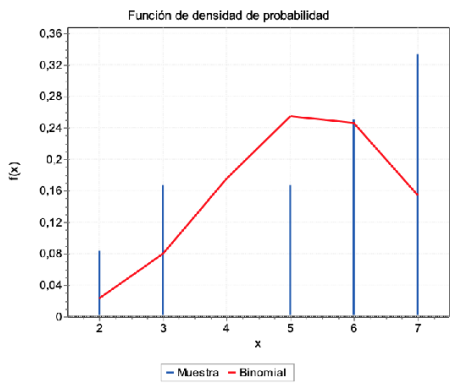
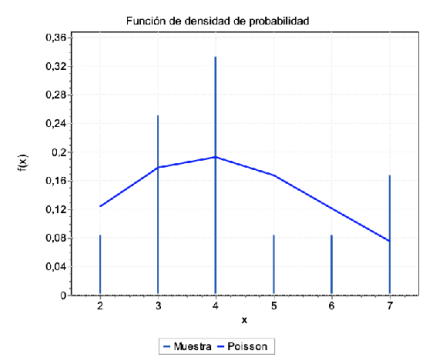
¿Qué tan relevante considera usted los siguientes aspectos dada su incidencia en el desarrollo de las investigaciones al interior de su organización? (Donde 1 es muy irrelevante y 7 muy relevante)		
Variable	**Nombre**	**Pregunta**
Financiación Tecnológica	V5	Diseñar un músculo financiero en búsqueda de nuevas formas tecnológicas
Inversión en I+D+i	V6	Invertir en I+D+i
Protección tecnológica	V7	Invertir en patentes, certificados, certificados, entre otros
Endeudamiento tecnológico	V8	Invertir en patentes, certificados, certificados, entre otros

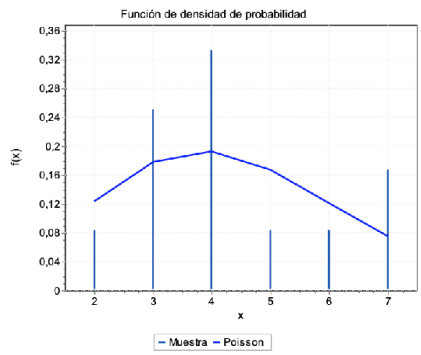
Según la metodología explicada anteriormente, se debe analizar el comportamiento estadístico de cada una de las variables.

Tabla 9. Comportamiento estadístico de las variables

Variable	Distribución	Estadísticos	Gráfico
V1	Poisson	£ = 5,75	Ilustración 34. Comportamiento estadístico de la variable 1 

Variable	Distribución	Estadísticos	Gráfico
V2	Binomial	n = 11 p = 0,47	Ilustración 35. Comportamiento estadístico de la variable 2 
V3	Poisson	£ = 5,25	Ilustración 36. Comportamiento estadístico de la variable 3 
V4	Binomial	n = 9 p = 0,565	Ilustración 37. Comportamiento estadístico de la variable 4 

Variable	Distribución	Estadísticos	Gráfico
V5	Binomial	n = 9 p = 0,565	Ilustración 38. Comportamiento estadístico de la variable 5 
V6	Binomial	n = 9 p = 0,593	Ilustración 39. Comportamiento estadístico de la variable 6 
V7	Poisson	£ = 4,33	Ilustración 40. Comportamiento estadístico de la variable 7 

Variable	Distribución	Estadísticos	Gráfico
V8	Binomial	n = 9 p = 0,509	Ilustración 41. Comportamiento estadístico de la variable 8 

Discusión

Determinando los 1.000 datos a evaluar, es necesario definir su comportamiento para establecer qué variables analizadas en el estudio son claves para el manejo de las capacidades tecnológicas de la industria de generación alternativa de energía en Colombia y México.

La selección de atributos es un método poderoso para el descubrimiento de conocimientos y la minería de datos, ya que esta incluye una gran cantidad de técnicas complejas de investigación de datos para descubrir patrones útiles (Mathuria, 2014); lo anterior permite modelar y extraer conocimiento de la mayoría de los datos disponibles, en este caso de los datos simulados.

En particular, para este escrito se ha utilizado el software WEKA (Weka, 2016), que es una colección de algoritmos de aprendizaje automático para tareas de minería de datos. En este se utiliza el algoritmo J48, que es una implementación del algoritmo C4.5, uno de los algoritmos de minería de datos más utilizados (García & Álvarez, 2010), cuyo objetivo es encontrar una relación de mapeo de valores de atributo a categorías a través del aprendizaje.

Cabe anotar que la variable a predecir en este caso va a ser el resultado mejor o más alto de la percepción, por ello esta va a ser el promedio del resultado de las respuestas simuladas; para este caso, se realiza un proceso de transformación de variable cuyo condicional no va a ser un valor de intervalo cerrado, por el contrario, se realiza con base en puntaje de valores, como se evidencia en la siguiente tabla:

Tabla 10. Transformación de escala

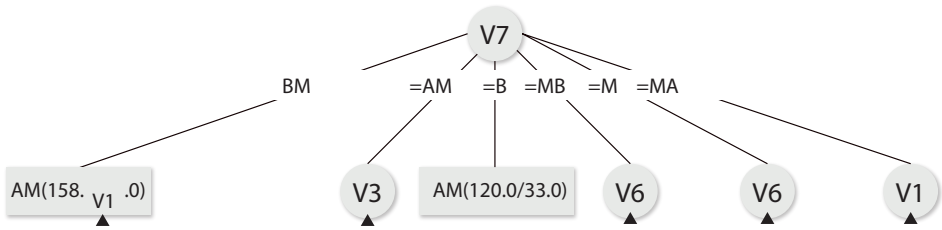
Intervalo	Escala cualitativa
0 <= VD < 1	MB
1 <= VD < 2	B
2 <= VD < 3	BM
3 <= VD < 4	M
4 <= VD < 5	AM
5 <= VD < 6	A
VD ≥ 6	MA

Por el contrario, las variables independientes en este caso se deben retornar a ser cualitativas para efectos del estudio y del software en cuestión; en ese caso, los valores de 1 a 7 pasan a ser: muy bajo (1), bajo (2), medio bajo (3), medio (4), medio alto (5), alto (6) y muy alto (7).

En esta etapa también se desarrolla la limpieza del dato, pasando de 1.000 posibles registros a un estudio de 777 registros; aunque se pierde un 22,3 % de los datos a estudiar, se gana precisión en el estudio, ya que se tiene en cuenta la escala del estudio original.

Como resultado de esta implementación se evidencia que la variable más importante, en este caso, es la variable V7, ya que esta genera el árbol y, por ende, se convierte en la raíz de este, como se evidencia en el árbol, y en adelante se buscan las variables (ramas) con influencia más alta (MA).

Ilustración 42. Árbol de decisión variable generado por algoritmo J48



Conclusiones

Las organizaciones industriales o de transformación requieren de la mejora de procesos que permitan la constante capacidad de la empresa de generación eléctrica de proteger la tecnología, lo que que las hace más eficiente.

Una de las características principales de la variable seleccionada, en este caso la de protección de la tecnología, parece dirigirse a evitar el robo de información tecnológica de las empresas de generación eléctrica de Colombia y México, por ende, para efectos de la macroinvestigación desarrollada por los autores de este escrito, se deben buscar formas para realizar una adecuada gestión tecnológica en búsqueda de crear patentes, certificación y una adecuada divulgación del conocimiento naciente de la organización interna.

Se hace evidente que las entidades de transformación industrial, en este caso de generación eléctrica, tienen la necesidad imperante de implementar mejoras continuas en sus procesos. Esta implementación es de vital importancia para optimizar la generación de electricidad, salvaguardar la tecnología y fomentar un incremento en la eficiencia operativa.

Desde el punto de vista de la investigación amplia desarrollada, surge la necesidad de establecer estrategias efectivas para gestionar la tecnología. Dichas estrategias deben encaminarse hacia la creación de patentes, la obtención de certificaciones y una adecuada divulgación del conocimiento que emerge de las actividades internas de la organización.

Se identifica que un marcador esencial del desarrollo tecnológico y la innovación de un país es la cantidad de solicitudes de patentes. Estas patentes, aparte de ofrecer protección a los inventores en campos específicos, también pueden catalizar el desarrollo económico y potenciar la innovación científica y tecnológica. En el sector de la generación eléctrica, se observa un incremento en el número de patentes vinculadas a procesos inherentes al sector, con un énfasis particular en el ámbito de las energías renovables.

Los hallazgos obtenidos indican una correspondencia entre las percepciones y la investigación llevada a cabo. La hipótesis principal sugiere que la tecnología emergente en las organizaciones, en especial aquella que no está directamente relacionada con su objetivo principal (la generación eléctrica), no se protege de manera adecuada.

Por lo tanto, se concluye que la inversión en adquisición, fortalecimiento y desarrollo tecnológico es una estrategia primordial para estas organizaciones. Se debe orientar el esfuerzo organizacional hacia el desarrollo de un inventario tecnológico, la prevención de la obsolescencia de la tecnología y la búsqueda de financiamiento adecuado para todos los procesos industriales que se desarrollan en la organización.

También, se extrae como conclusión esencial que la inversión enfocada hacia la adquisición, fortalecimiento y desarrollo tecnológico emerge como una estrategia de primer orden para estas organizaciones. Este hallazgo impulsa a la reflexión sobre el papel integral que juega la innovación y la tecnología en la construcción de una industria de generación eléctrica competitiva y resiliente.

Es de crucial importancia orientar los esfuerzos organizacionales hacia el desarrollo de un inventario tecnológico exhaustivo y actualizado. Tal inventario permitiría a las organizaciones tener una visión clara del conjunto de herramientas y tecnologías que tienen a su disposición, favoreciendo una gestión más eficiente y la toma de decisiones estratégicas informadas.

Junto con la creación de este inventario, es vital la implementación de estrategias para prevenir la obsolescencia tecnológica. En un escenario caracterizado por la rápida evolución de la tecnología, la falta de actualización puede llevar a las organizaciones a quedar rezagadas, perdiendo competitividad en un mercado cada vez más dinámico y exigente. De esta manera, las organizaciones deberían abogar por un compromiso constante con la actualización y adaptación tecnológica, siempre con un ojo en las tendencias emergentes y las oportunidades de innovación.

Por último, se enfatiza la necesidad de explorar y garantizar un financiamiento adecuado para todos los procesos industriales que se desarrollan en la organización. Este financiamiento, que puede provenir de diversas fuentes, tanto internas como externas, resulta esencial para poder implementar las mejoras y actualizaciones tecnológicas necesarias, así como para desarrollar nuevos proyectos de innovación que impulsen el crecimiento y fortalezcan la posición de la organización en el mercado.

En resumen, la inversión en la adquisición de nuevas capacidades tecnológicas no debe ser vista simplemente como un gasto, sino como una inversión estratégica que puede generar un significativo retorno a largo plazo, en términos de eficiencia operativa, competitividad y capacidad de adaptación a un entorno industrial en constante evolución.

Referencias

Ávila-Toscano, J. H. (2018). *Minería de datos aplicada al análisis bibliométrico. Descripción y usos de reglas de asociación y modelos de regresión basados en árboles*. https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6652723.pdf

Barbosa Castro, N. D., Sáenz Blanco, F., Tapias Forero, E. F., Camarillo Delgadillo, J. M. & Zorrilla Briones, F. (2021). "Gestión de las capacidades tecnológicas como una nueva forma de ver la analítica de datos en la industria de generación eléctrica". En *Seguridad en la administración y calidad de los datos: estudio de casos por contextos*. https://crai.ucompensar.edu.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=16319

Carroz, U. D. (2005). "Modelo de gestión estratégica para el desarrollo de capacidades tecnológicas". Compendium, 8(15), 5-19.

Escobar-Pérez, J. & Cuervo-Martínez, Á. (2008). Validez de contenido y juicio de expertos: una aproximación a su utilización. 6, 27–36.

García, M. & Álvarez, A. (2010). "Análisis de datos en WEKA–Pruebas de Selectividad". It.Uc3M.Es, 1-9.

Haim, A., Pelissero, M., Pozzo, J., Gallo, F., Jauregui, M., Ceciaga, N., Vita, G. de, Pittón, L., Bufanio, R., Muiño, F., Carreras, G., Gyssel, P., Balbiani, M., Maldonado, N., Cirelli, E., Montoneri, M., Benítez, N., Canepa, E., Tula, R. … & Lifschitz, A. (2020). "Energía undimotriz. Tecnología argentina para la generación de energía eléctrica". Energías Renovables y Medio Ambiente, 44(0), 39-47. http://portalderevistas.unsa.edu.ar/ojs/index.php/erma/arti cle/view/1162

Hamdan Sohail, O. A. (2020). *The influence of innovation capabilities on individual performance in the Interior Ministry of United Arab Emirates Government* [University Tun Hussein Onn Malaysia]. http://eprints.uthm.edu.my/903/1/24p%20HAMDAN%20SOHAIL%20OBAID%20ALHEFEITI.pdf

Leal Morantes, M. E., Labarca Ferrer, N. J. & del Socorro Bracho Parra, O. (2018). *Gestión tecnológica en pymes del sector textil del municipio Maracaibo-estado Zulia- Venezuela 1*. https://www.redalyc.org/articulo.oa?

MahtWave Technologies. (2018). *EasyFit*. www.mathwave.com

Mantulak-Stachuk, M. J. (2018). *Capacidades que contribuyen al pensamiento estratégico. Un enfoque en la gestión tecnológica en pymes de la madera* [Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría]. https://redib.org/Record/oai_articulo1692126-capacidades-que-contribuyen-al-pensamiento-estrat%C3%A9gico-un-enfoque-en-la-gesti%C3%B3n-tecnol%C3%B3gica-en-pymes-de-la-madera

Mathuria, M. (2014). *Decision Tree Analysis on J48 Algorithm for Data Mining*. *3*(6).

Pérez, F. (n. d.). *Cambios tecnológicos, trabajo y actividad empresarial: el impacto socioeconómico de la economía digital.*

ProModel Corporation. (2020). *Stat:Fit* (No. 2).

Sáenz Blanco, F., Barbosa Castro, N. D. & Tapias Forero, E. F. (2019). Modelo de gestión de capacidades tecnológicas. Academia Journals Chetumal México.

Rueda-Cáceres, I. M., Sánchez-Torres, J. M. & Duque-Oliva, E. J. (2018). *Hacia un modelo de medición de la capacidad de innovación mediante facilitadores de gestión: evaluación de juicio de expertos [Towards a Model for Measuring Innovation Capability through Management Levers: Evaluation of Expert Judgment*]. 39(13).

Salazar Torres, J. I. & Girón Cardenas, E. (2020). "*Análisis y aplicación de algoritmos de minería de datos".* Perspectivas. https://revistas.uniminuto.edu/index.php/Pers/issu

Villa Diharce, E. (n. d.). *Técnicas de simulación para el análisis estadístico de datos de medición*.

Villafañe, S. I. (2022). *La tecnología como apoyo para alcanzar competencias en el análisis y la solución de problemas matemáticos en estudiantes universitarios del área norte de Puerto Rico* [keiser]. https://www.proquest.com/docview/2706198318/17F413A1C8234BF3PQ/2

Weka (2016). Weka 3 - *Data Mining with Open Source Machine Learning Software in Java.* University of Waikato. https://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/

Ávila-Toscano, J. H. (2018). *Minería de datos aplicada al análisis bibliométrico. Descripción y usos de reglas de asociación y modelos de regresión basados en árboles*. https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6652723.pdf

Barbosa Castro, N. D., Sáenz Blanco, F., Tapias Forero, E. F., Camarillo Delgadillo, J. M. & Zorrilla Briones, F. (2021). *"Gestión de las capacidades tecnológicas como una nueva forma de ver la analítica de datos en la industria de generación eléctrica". En Seguridad en la administración y calidad de los datos: estudio de casos por contextos*. https://crai.ucompensar.edu.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=16319

Carroz, U. D. (2005). *"Modelo de gestión estratégica para el desarrollo de capacidades tecnológicas". Compendium,* 8(15), 5-19.

Escobar-Pérez, J. & Cuervo-Martínez, Á. (2008). *Validez de contenido y juicio de expertos: una aproximación a su utilización*. 6, 27–36.

García, M. & Álvarez, A. (2010). "*Análisis de datos en WEKA–Pruebas de Selectividad*". It.Uc3M.Es, 1-9.

Haim, A., Pelissero, M., Pozzo, J., Gallo, F., Jauregui, M., Ceciaga, N., Vita, G. de, Pittón, L., Bufanio, R., Muiño, F., Carreras, G., Gyssel, P., Balbiani, M., Maldonado, N., Cirelli, E., Montoneri, M., Benítez, N., Canepa, E., Tula, R. … & Lifschitz, A. (2020). "Energía undimotriz. Tecnología argentina para la generación de energía eléctrica". *Energías Renovables y Medio Ambiente,* 44(0), 39-47. http://portalderevistas.unsa.edu.ar/ojs/index.php/erma/article/view/1162

Hamdan Sohail, O. A. (2020). The influence of innovation capabilities on individual performance in the Interior Ministry of United Arab Emirates Government [University Tun Hussein Onn Malaysia]. http://eprints.uthm.edu.my/903/1/24p%20HAMDAN%20SOHAIL%20OBAID%20ALHEFEITI.pdf

Leal Morantes, M. E., Labarca Ferrer, N. J. & del Socorro Bracho Parra, O. (2018). *Gestión tecnológica en pymes del sector textil del municipio Maracaibo* -estado Zulia- Venezuela 1. https://www.redalyc.org/articulo.oa?

MahtWave Technologies. (2018). *EasyFit*. www.mathwave.com

Mantulak-Stachuk, M. J. (2018). *Capacidades que contribuyen al pensamiento estratégico. Un enfoque en la gestión tecnológica en pymes de la madera* [Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría]. https://redib.org/Record/oai_articulo1692126-capacidades-que-contribuyen-al-pensamiento-estrat%C3%A9gico-un-enfoque-en-la-gesti%C3% B3n-tecnol%C3%B3gica-en-pymes-de-la-madera

Mathuria, M. (2014). Decision Tree Analysis on J48 Algorithm for Data Mining. 3(6).

Pérez, F. (n. d.). *Cambios tecnológicos, trabajo y actividad empresarial: el impacto socioeconómico de la economía digital.*

ProModel Corporation. (2020). Stat:Fit (No. 2).

Sáenz Blanco, F., Barbosa Castro, N. D. & Tapias Forero, E. F. (2019). *Modelo de gestión de capacidades tecnológicas. Academia Journals* Chetumal México.

Rueda-Cáceres, I. M., Sánchez-Torres, J. M. & Duque-Oliva, E. J. (2018). *Hacia un modelo de medición de la capacidad de innovación mediante facilitadores de gestión: evaluación de juicio de expertos* [*Towards a Model for Measuring Innovation Capability through Management Levers: Evaluation of Expert Judgment*]. 39(13).

Salazar Torres, J. I. & Girón Cardenas, E. (2020). "Análisis y aplicación de algoritmos de minería de datos". *Perspectivas*. https://revistas.uniminuto.edu/index.php/Pers/issu

Villa Diharce, E. (n. d.). *Técnicas de simulación para el análisis estadístico de datos de medición.*

Villafañe, S. I. (2022). *La tecnología como apoyo para alcanzar competencias en el análisis y la solución de problemas matemáticos en estudiantes universitarios del área norte de Puerto Rico* [keiser]. https://www.proquest.com/docview/2706198318/17F413A1C8234BF3PQ/2

Weka (2016). Weka 3 - *Data Mining with Open Source Machine Learning Software in Java.* University of Waikato. https://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/

Síntesis final

Las industrias 4.0 es un concepto bastante amplio y con diversas aristas para la investigación; por ello, el Grupo de Investigación en Ingenierías GIIS, adscrito a la Fundación Universitaria Compensar, y algunos investigadores invitados han puesto a disposición de la comunidad académica la primera edición del libro titulado: *UCOMPENSAR: la academia, motor en la transformación digital y automatización de la industria 4.0*, con el fin de compartir los resultados parciales y finales de algunas investigaciones, fortaleciendo el vínculo entre la academia y el sector empresarial en su entorno ciudad-región y respondiendo a las nuevas necesidades de implementar soluciones tecnológicas como factor dinamizador en la sociedad.

Por lo tanto, en el capítulo uno, uno de los principales sectores de servicios en cualquier sociedad es el sector salud; por ello se presentó una propuesta disruptiva que permite, a partir del análisis de datos, apoyar la toma de decisiones en este sector. Se propuso el análisis de datos enfocado a crear algoritmos inteligentes y aunque en la investigación se evidenció que el sector salud hace uso de la analítica y de la ciencia de los datos desde hace mucho tiempo, se destaca que no se ha explotado a su máximo nivel.

Dado que el sector salud es dinámico en cuanto a cambios sociales, tecnológicos, académicos y hasta económicos, los autores presentan una incertidumbre de cómo se ha realizado la inclusión de la industria 4.0 en las organizaciones de este tipo; tanto así que comparan las técnicas estadísticas convencionales con las nuevas formas de analizar los datos. Lo anterior permite definir los algoritmos de *machine learning* de mayor aplicación en el sector, ya que estos evolucionan según las necesidades del momento, permitiendo predecir pronósticos y proveer diagnósticos, en especial en actividades médicas que requieran trabajo repetitivo y

manipulación de muchos datos. Aunque deja un camino de estudio aún por ahondar, puesto que los investigadores destacan que no existe una definición clara de cuál algoritmo es mejor, lo cual es evidente ya que el mundo es un cambio permanente.

En el capítulo dos, el análisis de datos es primordial; este no debe estar desencadenado de las herramientas que lo facilitan, por lo cual se presentó una revisión sistemática articulada con los servicios en la nube, una tecnología dinámica dentro de las nuevas tendencias y modelos de negocio en las pymes y mipymes. Colombia, un país con aproximadamente 306.140 nuevas pequeñas empresas, debe crear modelos que agrupen todas las herramientas y arquitecturas empresariales (TOGAF, ISO, COBIT, ITIL y ZACHMA) en búsqueda de satisfacer las necesidades de las empresas.

Dados los modelos de aceptación tecnológica que se compararon, se observa que estos tienen un factor común, que son los servicios *cloud*, los cuales apoyan la transformación digital y proporcionan una ventaja competitiva entre las organizaciones; el reto está en predecir cómo se adopta esta tecnología, si respondiendo a la percepción de utilidad o a la intención de uso.

La importancia de la implementación *cloud* en las pymes y mipymes en Colombia es vital, tanto así que la adopción de servicios en la nube no depende exclusivamente de la estrategia de la arquitectura empresarial, definida por la organización; por el contrario, depende de la gobernanza, la gestión, la operación presente y futura y de la búsqueda de factores diferenciadores que permitan que las organizaciones pequeñas respondan a un final perfecto.

En el capítulo tres, se pone en evidencia que en las industrias, y en especial en aquellas que son pequeñas, es de vital importancia la reducción de costos o, más exactamente, el control sobre los gastos y costos para su funcionamiento. El mundo de las industrias 4.0 buscan automatizar dichos procesos con dispositivos IoT.

Para garantizar la implementación de dispositivos IoT en las pequeñas empresas, e inclusive en los hogares, se hace necesaria la utilización de herramientas de *hardware* y de *software* libre que permitan el envío de señales por medio de sistemas electrónicos para su análisis y su posible almacenamiento, y así lograr sistemas que puedan predecir fácilmente el comportamiento de las pequeñas empresas y familias.

Aunque los datos obtenidos por estos dispositivos no gozan aún de una exactitud por diversas variables, su implementación se garantiza, no es costosa y robusta; el secreto está en el desarrollo del *software* que permita el análisis más detallado de cada una de las variables y que pueda ser acoplado para la toma de decisiones de consumo de servicios públicos en las organizaciones, hogares y en general en la sociedad.

En el capítulo cuatro, la dinámica de las tecnologías emergentes requiere cambiar del paradigma de espacios físicos reales a hablar de ciberespacios, lo cual exige de la industria asumir nuevos desafíos y apropiar la autonomía computacional, elevando la abstracción de una sociedad real a una sociedad mediada por tecnologías, es decir, asumir una inclusión digital.

Claro, el recorrido de un camino de inclusión digital va tan rápido que ni siquiera la resistencia al cambio ha logrado frenarlo; por ello, se hace necesario reducir la brecha, que no solo existe en el acceso a las TIC, sino en una apropiación de ciberespacios interconectados. Esto implica que se ponga la mirada no solo sobre la implementación tecnológica, pues es más que eso, es la generación de capacidades tecnológicas desde el estudio sistemático de la revolución industrial del momento y de cómo las empresas están preparadas no solo para reducir la brecha digital, sino para generar capacidades sobre las mismas.

En el último capítulo, se muestra la necesidad de cuidar de las capacidades tecnológicas en un tipo de industria (la eléctrica, y quizás una de las más relevantes), lo cual es evidente en todas las industrias, y en especial en aquellas que responden a la apropiación de las industrias 4.0. Es así

como se hace una invitación a que las empresas inviertan en formas de adquisición, fortalecimiento y crecimiento en tecnología, de tal manera que las mismas puedan responder a sus cadenas de valor.

Finalmente, solo queda plasmar en este escrito, y en especial en esta edición, que la apropiación del concepto de industrias 4.0 necesita ampliarse y globalizarse a otros campos de acción y que se permita la ampliación de la cobertura investigativa del Grupo de GIIS hacia lograr establecerse como referente en el campo de la transformación digital de los diferentes sectores de la industria y de la sociedad.

Este libro se enfoca en el papel fundamental que desempeña la academia como motor impulsor de la transformación digital y la adopción de la industria 4.0. Los artículos presentados abordan no solo la generación de conocimiento y la formación de profesionales capacitados en estas áreas, sino también la colaboración entre la academia y las pequeñas y medianas empresas (pymes) en Colombia, con el objetivo de fomentar la adopción de tecnologías digitales en el sector industrial. A través de diferentes perspectivas disciplinarias y enfoques metodológicos, los autores de este libro exploran una amplia gama de temas relevantes. Estos incluyen la implementación de tecnologías disruptivas, los retos de la toma de decisiones en entornos digitales, la gestión de TI en las organizaciones, así como el impacto de la analítica de datos y la migración a la nube en las pymes colombianas.

Cada artículo presenta rigurosas investigaciones que proporcionan valiosas perspectivas y recomendaciones prácticas para enfrentar los desafíos y aprovechar las oportunidades que la transformación digital ofrece. Los lectores encontrarán análisis profundos, casos de estudio, buenas prácticas y reflexiones críticas sobre cómo impulsar la adopción de tecnologías digitales en el entorno empresarial.

Autores

Raúl Bareño Gutiérrez
Jeysson Alexander Riaño Pascagaza
Zully Elisa Johanna Guevara Maldonado
José de los Santos Solórzano
Sandra Milena García Córdoba
Constanza Alvarado Mariño
Libardo Gómez Díaz
José Luis Cabra López
Jhonn Hernández Martín
Néider Duan Barbosa Castro
Fabiola Sáenz Blanco
Francisco Zorrilla Briones
Fernanda Tapias Forero

GIIS Grupo de Investigación en Ingenierías

compensar | fundación universitaria

ISBN: 978-958-792-631-6