

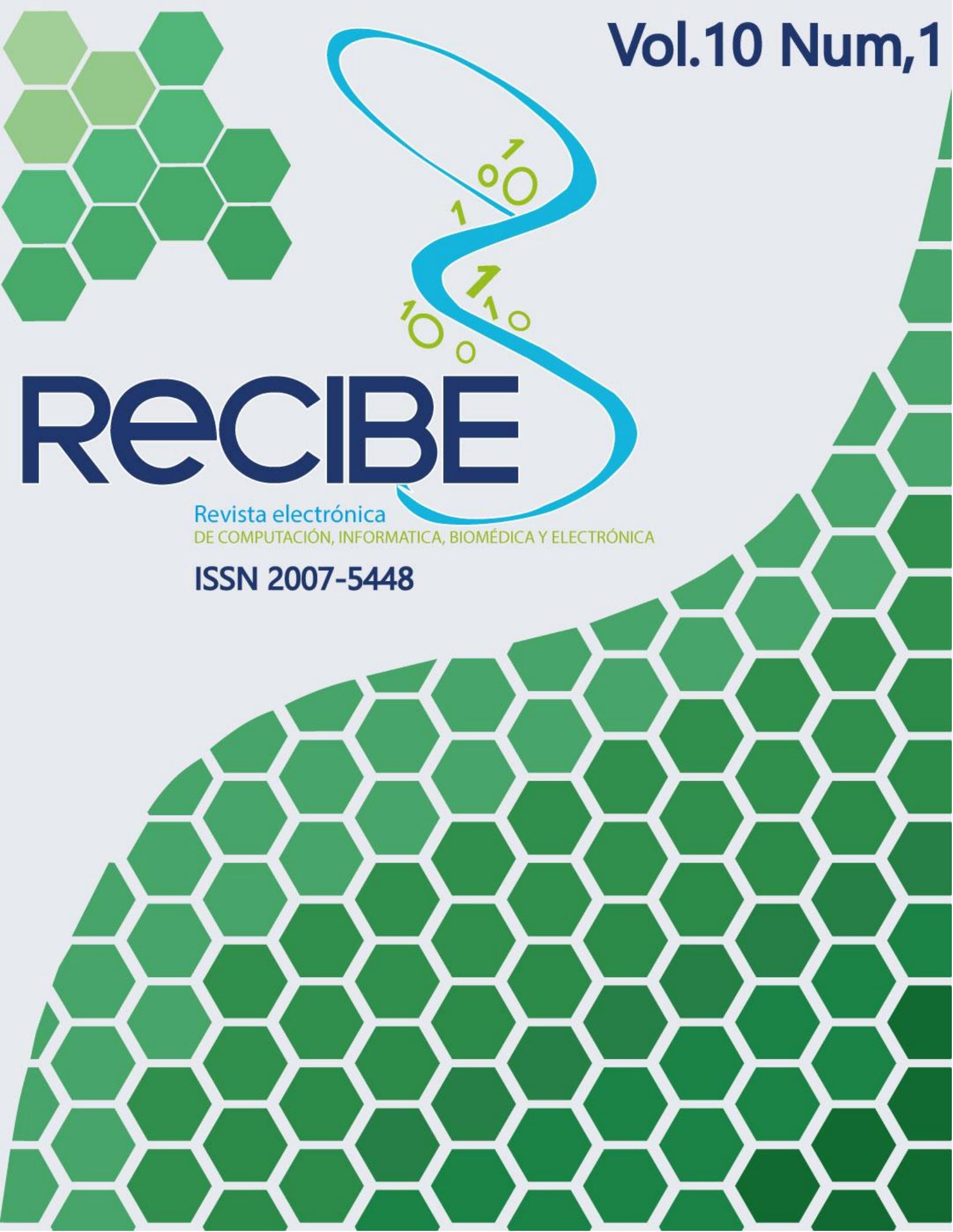
Vol.10 Num,1



RECIBE

Revista electrónica
DE COMPUTACIÓN, INFORMÁTICA, BIOMÉDICA Y ELECTRÓNICA

ISSN 2007-5448



Índice

Computación e Informática

- **Diseño de un prototipo para configuración de entornos virtuales de aprendizaje basados en gamificación utilizando UWE** **C1**
David I. Chán Chán, Raúl Antonio Aguilar Vera, Juan P. Ucán Pech, Julio C. Díaz Mendoza, Jesús A. Santos Tejero
- **Prácticas de los equipos de desarrollo de microservicios: un mapeo sistemático de la literatura** **C2**
Alan González Heredia, Jorge Octavio Ocharán Hernández, María de los Ángeles Arenas Valdés, Karen Cortés Verdín
- **Perspectiva docente sobre tecnología en tiempos del COVID-19 en México** **C3**
Adriana Peña Pérez Negrón, Carlo Giovannella, Aurora Espinoza Valdez, Mirna Muñoz, David Bonilla Carranza, Marcello Passarelli
- **Dimensión epistemológica aplicada a procesos de social media de un grupo académico de facebook** **C4**
Paola E. Velazquez Solis, Brenda L. Flores Rios

Electrónica

- **Modelo de sistema multisensor con enfoque de muestreo multifrecuencia** **E1**
Alfonso Alfonsi, Raiza Yáñez, Alfonso R. Alfonsi

Diseño de un prototipo para configuración de entornos virtuales de aprendizaje basados en gamificación utilizando UWE

Design of a prototype for configuring virtual learning environments based on gamification using UWE

David I. Chán Chán¹
davch987@gmail.com

Raúl A. Aguilar Vera¹
avera@correo.uady.mx

Juan P. Ucán Pech^{1*}
juan.ucan@correo.uady.mx

Julio C. Díaz Mendoza¹
julio.diaz@correo.uady.mx

Jesús A. Santos Tejero²
jesus.st@valladolid.tecnm.mx

¹ Facultad de Matemáticas, Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, Yucatán, México.

² Instituto Tecnológico Superior de Valladolid, Tecnológico Nacional de México, Valladolid, Yucatán, México

*Autor para Correspondencia

RESUMEN

En este artículo se describe el diseño y evaluación del prototipo de un sistema para configuración de Entornos Virtuales de Aprendizaje basados en Gamificación. El prototipo utilizó los requisitos funcionales derivados del análisis de un modelo instruccional configurable y computable basado en elementos de gamificación. Para el desarrollo del prototipo se utilizó la metodología *UML Web Engineering* (UWE) la cual intenta cubrir el ciclo de vida completo de una aplicación Web; dicha metodología propone el desarrollo de cinco modelos. La evaluación del prototipo utilizó en un primer momento la técnica de juicio de expertos, y en un segundo momento, se evaluó la usabilidad del prototipo por parte de un conjunto de aprendices (alumnos) a quienes se les solicitó realizar una actividad bajo un esquema competitivo y contestar un instrumento que recopilaba opiniones de los alumnos con base en una escala *Likert* de cinco niveles. Las opiniones en términos generales fueron positivas (de acuerdo o en total acuerdo) respecto del esfuerzo requerido para su uso, respecto de la dinámica de interacción promovida para mantener la motivación e interés de los alumnos, de los tiempos de respuesta para enfrentar los retos, así como de las prestaciones que ofrece el entorno virtual de aprendizaje en escenarios gamificados.

PALABRAS CLAVE

Gamificación, Entorno Virtual de Aprendizaje, Informática Educativa, Software Educativo.

ABSTRACT

This paper describes the design and evaluation of a system prototype for the configuration of Virtual Learning Environments based on Gamification. The prototype used the functional requirements derived from the analysis of a configurable and computable instructional model based on gamification elements. For development of the prototype was used the *UML Web Engineering* (UWE) methodology which tries to cover the complete life cycle of a Web application. This methodology proposes the development of five models. The evaluation of the prototype used at first the expert judgment technique and in a second moment the usability of the prototype was evaluated by a group of learners (students) who were asked to carry out an activity under a competitive scheme and answer an instrument that collected opinions from students based on a five-level Likert scale. The opinions in general terms were positive (in agreement or in total agreement) regarding the effort required for its use, regarding the interaction dynamics promoted to maintain the motivation and interest of the students, the response times to face the challenges as well as the benefits offered by the virtual learning environment in gamified scenarios.

KEYWORDS

Gamification, Virtual Learning Environment, Educational Computing, Educational Software.

1. INTRODUCCIÓN

La Informática Educativa utiliza el conocimiento derivado de la Informática para el desarrollo de sistemas de cómputo y aplica dicho conocimiento al dominio de la educación, particularmente para asistir a los procesos de enseñanza y aprendizaje, es decir, es una disciplina orientada al desarrollo de aplicaciones educativas innovadoras, así como al estudio de sus usos, efectos y consecuencias en el proceso educativo.

Actualmente, el desarrollo de Software Educativo ha recurrido a la Ingeniería Web para el diseño y construcción de aplicaciones con alto nivel de interacción, donde debe cumplir con los principios básicos de la Ingeniería de Software y se requiere integrar aspectos técnicos y pedagógicos.

En el contexto de la educación formal, la falta de compromiso y de motivación para el aprendizaje —por parte de los aprendices— son problemas recurrentes que han sido afrontados mediante la incorporación del juego como dinámica instruccional. En las últimas décadas, ha surgido una variante a dicha dinámica instruccional denominada Gamificación, la cual ha despertado un creciente interés entre los académicos y profesionales en diversas áreas de la sociedad y con diversos propósitos (Johnson et al., 2016) (Hamari et al., 2014).

El trabajo que se describe en el presente artículo se deriva de la propuesta de generar un Modelo Instruccional Configurable y Computable Basado en Elementos de Gamificación (Aguilar et al., 2012), en particular, se presenta el diseño del prototipo del Sistema de Gestión de Entornos Virtuales de Aprendizaje (SGEA).

2. ANTECEDENTES

La Gamificación ha sido definida como el uso de elementos de diseño de juegos en contextos que no son juegos (Deterding et al., 2011); es concebida como una técnica de diseño que crea un juego, a través de un software educativo con el fin de mejorar la experiencia del aprendiz, lo que fomenta la aceptación por parte del mismo (Hamari et al., 2014). Los escenarios de aprendizaje gamificados suelen incorporar elementos de gamificación como: insignias, puntos, narración de historias, logros, niveles, barra de progreso y retroalimentación; también, se suele usar una tabla de clasificación y métodos para seguir el proceso del aprendizaje, así como un componente social donde los alumnos o participantes pueden compartir sus logros con otros participantes (Kapp et al., 2014) (Nah et al., 2014).

El Modelo Instruccional utilizado como referencia (Briceño, 2020), hace uso de cuatro elementos de gamificación: nivel de complejidad, acumulación de puntos, obtención de insignias y retroalimentación. Así mismo, el modelo incorpora tres constructos con base en los cuales es posible configurar los escenarios de aprendizaje gamificados, según convengan al docente, dichos constructos son:

- (1) Reto: fue implementado mediante reactivos de respuesta estructurada, con niveles de complejidad acordes a la taxonomía de Bloom. El reto permite al alumno obtener puntos.
- (2) Bloque: Se conforma por un conjunto de n retos, los cuales se diseñan con el mismo nivel de complejidad.
- (3) Esquema: Se integra por un conjunto de bloques de niveles de complejidad progresivos; dichos esquemas son configurados con dinámicas de interacción de tres tipos: individual, pareja-competitivo y pareja-colaborativo.

Los Entornos Virtuales de Aprendizaje —configurados con el modelo— (EVAs) pueden incorporar en su máxima configuración, hasta por tres esquemas con las tres dinámicas de interacción antes citadas. En Aguilar et al. (2020) se presenta la evaluación empírica realizada al modelo, con base en el primer nivel de interacción propuesto, el individual. Para la evaluación del prototipo se configuró un escenario de aprendizaje utilizando la segunda dinámica de interacción definida en el modelo: el esquema pareja-competitivo como se muestra en la Figura 1.

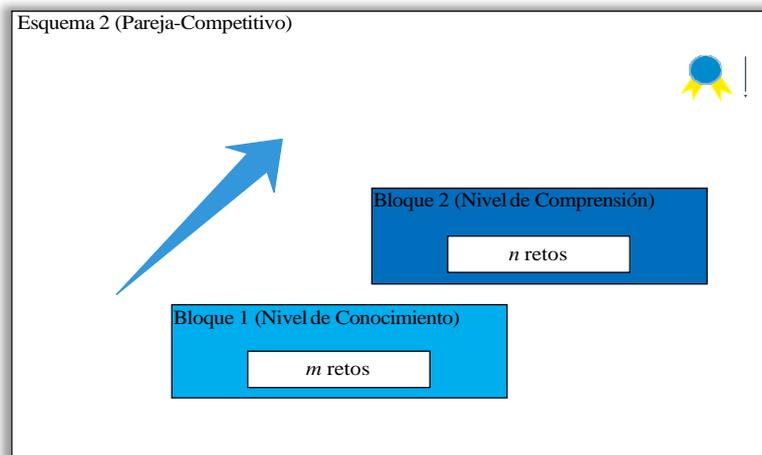


Figura 1. Esquema con la dinámica de interacción Pareja-Competitivo.
Fuente: (Briceño, 2020).

La dinámica de este esquema dos aprendices que trabajarán colaborativamente para resolver la serie de retos de los bloques de aplicación y análisis, los aprendices se comunican a través de un chat para que compartan sus ideas, con la finalidad de responder correctamente las preguntas.

3. METODOLOGÍA

La Ingeniería Web, podría decirse que a menudo suele asociarse este concepto con la construcción de sitios Web estáticos o dinámicos por igual, no obstante, la Ingeniería Web se enfoca en el modelado y diseño sistemático de aplicaciones Web con alto contenido de interacción, donde además de cumplir con los principios básicos de la Ingeniería de Software obliga a observar la usabilidad, navegabilidad, reusabilidad y mantenimiento, entre otros, de los artefactos, componentes, modelos de representación y procesos de la aplicación

UWE (*UML Web Engineering*) intenta cubrir el ciclo de vida completo de una aplicación Web especificando el proceso de desarrollo de una mejor manera (Koch et al., 2008). Dicha metodología propone la elaboración de cinco modelos que utilizan una notación estándar basada en el uso de UML (Unified Modeling Language): Diagrama de casos de uso, Diagrama de contenido, Diagrama de navegación, Diagrama de presentación y Diagrama de proceso. El modelo de casos de uso describe los requisitos de la aplicación, el modelo conceptual (modelo de contenido) que se corresponde con un modelo orientado a objetos tradicional, el modelo de interfaz que describe la presentación de objetos de la interfaz, modelo de navegación que describe la vista de navegación en el modelo conceptual y el modelo de proceso que representa las actividades que se conectan con cada clase de proceso (Soto et al., 2018).

4. PROTOTIPO PARA LA GESTIÓN DE EVAS BASADO EN GAMIFICACIÓN

En esta sección se describe el diseño y construcción del prototipo desarrollado para el Sistema de Gestión de Entornos Virtuales de Aprendizaje que implementa el Modelo Instruccional Configurable y Computable Basado en elementos de Gamificación propuesto por Briceño (2020).

4.1 Diseño del Prototipo

El diagrama de casos de uso de la aplicación SGEA modela la interacción de los actores Administrador, Maestro, Alumno con el sistema. Algunos casos de uso pueden dividirse en funciones más específicas, pero englobando el mismo concepto. En algunos casos son obligatorios otros casos de uso para poder llevar a cabo algún otro, por ejemplo, “VALIDAR USUARIO” en el cual los usuarios necesitan ingresar sus credenciales al sistema y este debe validarlos para que los usuarios puedan realizar alguna operación. En la Figura 2 se ilustra el diagrama de casos de uso para la aplicación web.

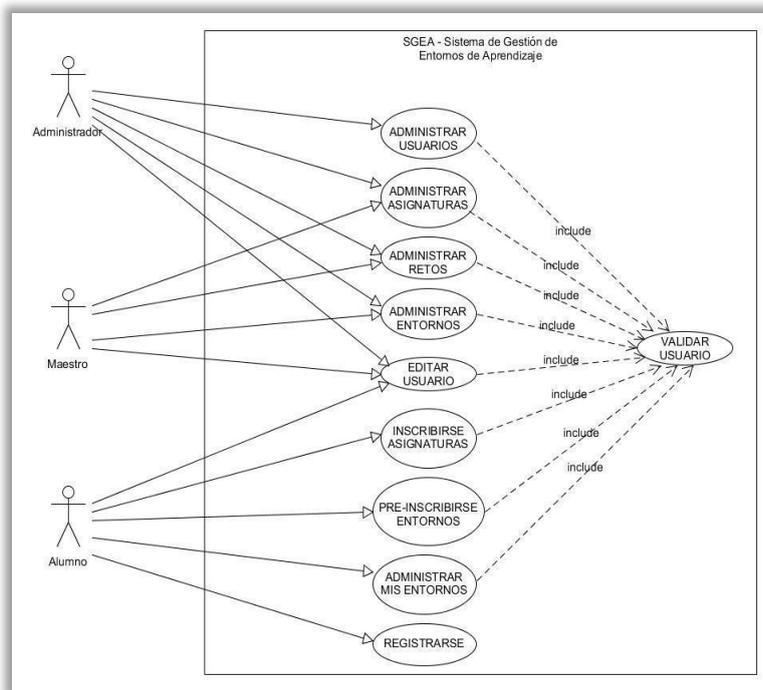


Figura 2. Diagrama de Casos de Uso.
Fuente: Elaboración propia.

El diagrama de contenido ilustra el modelo conceptual del dominio de la aplicación SGEA. En la Figura 3 se puede observar las diferentes clases que son necesarias para el funcionamiento de la aplicación y la interacción con los usuarios. A continuación, se describe cada una de las funciones de las clases modeladas:

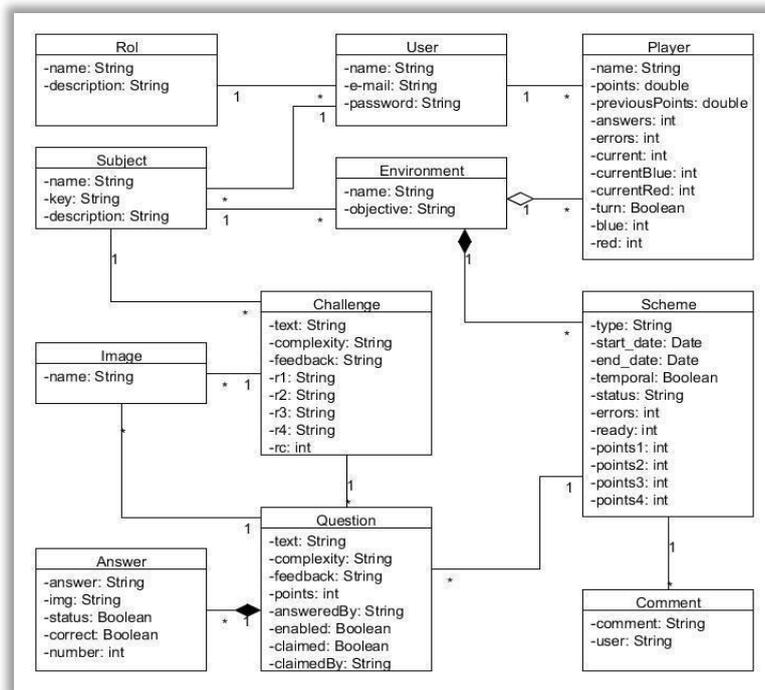


Figura 3. Diagrama de Contenido.
Fuente: Elaboración propia.

- La aplicación es utilizada por usuarios con diferentes roles por lo que la clase *User* está relacionada con la clase *Rol*. *User* contiene datos generales del usuario y las credenciales para que pueda acceder al sistema, *Rol* contiene el nombre y la descripción del rol.
- La clase *Player* modela los jugadores que tiene el alumno por cada entorno en el cual participa, en este se pueden obtener datos que van acorde a su avance durante los diferentes esquemas.
- La clase *Environment* modela los entornos que son creados por el Administrador o Maestro en los cuales los Alumnos participaran.
- La clase *Scheme* modela los diferentes esquemas disponibles para la creación de un entorno, cada esquema tiene una modalidad (Individual, Competitivo o Colaborativo), de igual manera hay esquemas que son base para la creación de otros y algunos que son temporales y tienen un comportamiento dinámico.
- La clase *Comment* modela los comentarios pertenecientes a un esquema, estos son desplegados en un chat durante la modalidad de tipo Colaborativo para que los Alumnos puedan interactuar con mensajes acerca de un reto.
- La clase *Challenge* representa los retos pertenecientes a una asignatura, estos sirven como base para la creación de retos dinámicos durante la ejecución del entorno en sus diferentes modalidades.
- La clase *Image* representa las imágenes relacionadas a un reto.
- La clase *Question* modela los retos de tipo dinámico que son utilizados durante la ejecución del entorno, estos guardan datos relevantes para la interacción de cada Alumno.
- La clase *Answer* modela las respuestas pertenecientes a cada reto.

- Cada usuario puede estar relacionado con una asignatura, esta es representada por la clase *Subject*, de igual manera los retos y entornos que son creados tienen como referencia a una asignatura, es decir, cada reto y entorno pertenece a una asignatura.

En los diagramas de navegación se diseñan las diferentes vías por las cuales el usuario puede navegar en la aplicación, así como el acceso a las acciones y procesos disponibles. En la Figura 4 se presenta uno de estos diagramas y corresponde al módulo para administrar entornos. Como se puede observar en el diagrama presentado en la Figura 4, al acceder a este módulo habrá dos procesos generales *SearchEnvironment* (Buscar entorno) este consultará la base de datos y desplegará un *EnvironmentList* (Listado de entornos) y *CreateEnvironment* (Crear entorno) que dará de alta a un entorno en la aplicación.

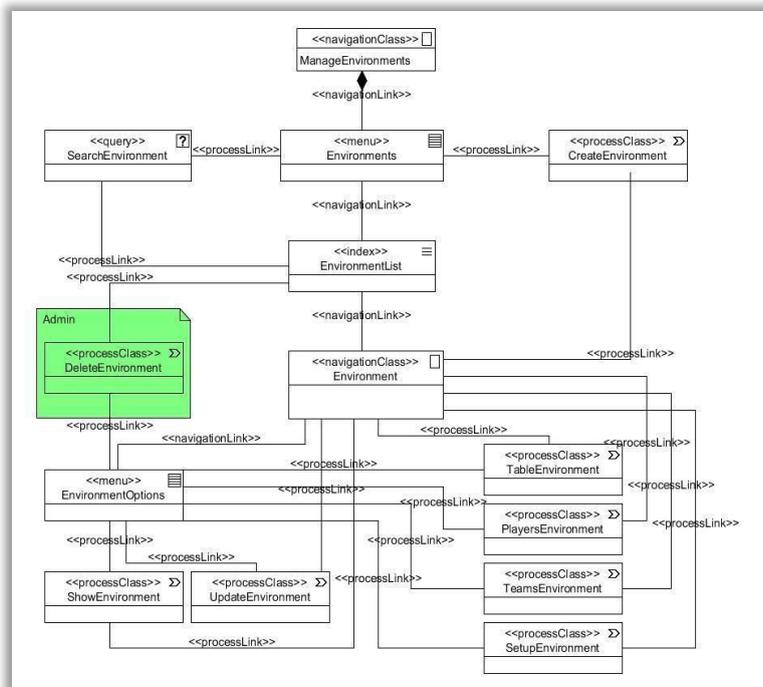


Figura 4. Diagrama de Navegación: Administrar Entornos.
Fuente: Elaboración propia.

En los diagramas de presentación se modelan las representaciones de lo que son las vistas de la aplicación web, en estos modelos se puede encontrar los diferentes apartados y su contenido. En la Figura 5 se modela el módulo de entornos, a este módulo solo tienen acceso el Administrador y Maestro. Existe una representación de un menú “navBar” de la barra de navegación la cual dependiendo del rol contiene los accesos correspondientes.

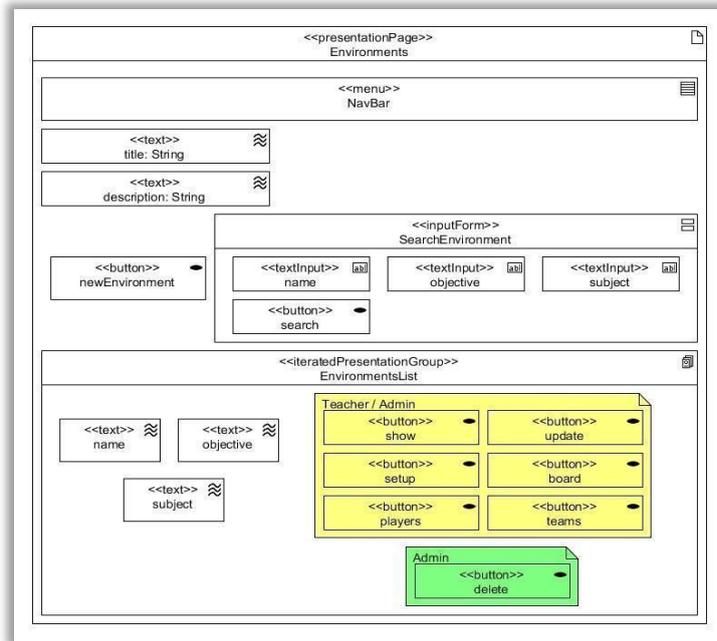


Figura 5. Diagrama de Presentación: Entornos.
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 6 se visualiza uno de los diagramas de procesos donde se modela la página de actualización de entornos en la cual tienen acceso el Administrador y Maestro, en ella se puede encontrar un menú “navbar” que contiene accesos a Asignaturas, Retos, Entornos y Usuarios, a este último solo tienen acceso los administradores, también, existe un desplegable que contiene las opciones Editar usuario y cerrar sesión.

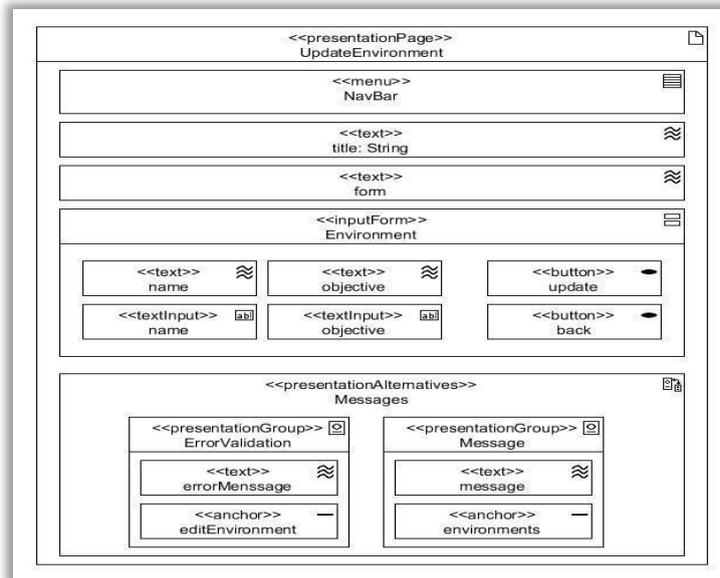


Figura 6. Diagrama de Procesos: Actualizar Entorno.
Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, Figura 7 se presenta uno de los diagramas de actividades correspondiente a actualizar entorno del módulo de entornos. Esta actividad muestra los datos originales y toma los datos de entrada que el usuario modifica, estos datos son validados y en caso de error se muestra de nuevo el formulario de actualización, en caso de validarse correctamente el sistema actualiza el entorno, regresa a la página de entornos y muestra un mensaje de éxito.

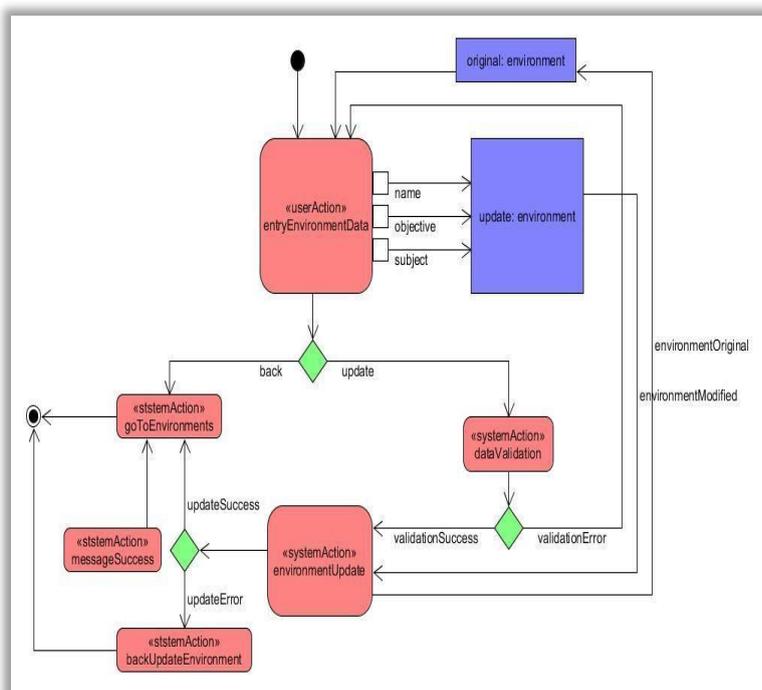


Figura 6. Diagrama de Actividades: Actualizar Entorno.
Fuente: Elaboración propia.

4.2 Construcción del Prototipo

Entre las tecnologías implementadas para el desarrollo del Sistema de Gestión de Entornos de Aprendizaje se tienen del lado del cliente el framework de php “Laravel” el cual tiene una estructura que facilita el uso del modelo MVC (McCool, 2012), que permite hacer aplicaciones modulares y de manera rápida. Entre algunas de las características se tienen:

- El uso de plantillas *Blade* para la creación de sus vistas.
- El uso de *Eloquent*, que es el ORM que nos sirve para manejar de una manera más ágil las operaciones de nuestra base de datos.
- *Laravel* proporciona un sistema de organización y gestión de rutas que nos permite controlar de manera exhaustiva las rutas de nuestro sistema.
- El uso de *Middlewares*, que son una especie de controladores que se ejecutan antes y después de una petición al servidor, lo que nos permite insertar múltiples controles, validaciones o procesos en estos puntos del flujo de la aplicación.

Por el lado del servidor se tiene “Apache2” que permite que la aplicación se encuentre alojada en un servidor virtual. Para la gestión de la base de datos se hace uso de “Mysql”, es un sistema de gestión de bases de datos relacionales de código abierto con un modelo cliente-servidor. Como se mencionó anteriormente, el *framework* Laravel implementa el modelo vista controlador (MVC), donde MVC es un paradigma que divide

las partes que conforman una aplicación en el Modelo, las Vistas y los Controladores, permitiendo la implementación por separado de cada elemento, garantizando así la actualización y mantenimiento del software de forma sencilla y en un reducido espacio de tiempo.

A partir del uso de *frameworks* basados en el patrón MVC se puede lograr una mejor organización del trabajo y mayor especialización de los desarrolladores y diseñadores (González y Romero, 2012).

En la Figura 8, presenta la vista de un usuario administrador para la gestión de entornos, dicha vista fue construida con las tecnologías mencionadas anteriormente.

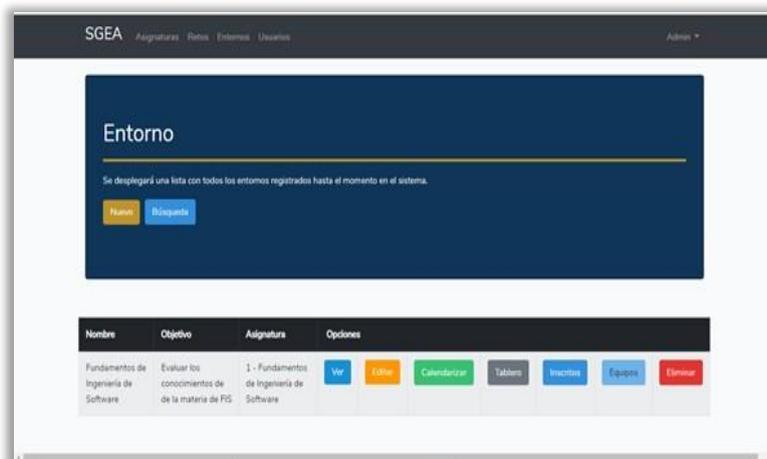


Figura 8. Vista del Entorno.

Fuente: Elaboración propia.

5. EVALUACIÓN DEL PROTOTIPO

El desarrollo de un sistema software, tiene como objetivo satisfacer un conjunto de necesidades acordadas con un cliente; en el caso del software educativo, dichas necesidades están vinculadas con los procesos de enseñanza y aprendizaje. No obstante, ¿Cómo puede saber un Ingeniero de Software si el producto construido se corresponde exactamente con lo que el cliente deseaba?, y por otro lado, ¿Cómo puede estar seguro de que el sistema va a funcionar correctamente? Dichas preguntas se corresponden con los procesos de validación y verificación del software (Juristo, 2004).

5.1 Validación

El proceso de validación del Sistema de Gestión de Entornos Virtuales de Aprendizaje se realizó desde dos perspectivas, en primera instancia, la de los clientes, y en segunda, desde la de los usuarios.

En el caso de los clientes, siendo el sistema parte de un proyecto de investigación, quienes fungieron como expertos, fueron los tres integrantes del Cuerpo Académico de Ingeniería de Software para la Educación (con registro PRODEP: UADY-CA-121) en conjunto con la proponente del proyecto de investigación. Para dicha evaluación se utilizó como método el recorrido cognitivo, en éste los clientes, en conjunto con el Ingeniero de Software, exploran todas las funcionalidades del sistema, utilizando como referencia el conjunto de funcionalidades acordadas; el prototipo fue aceptado para su utilización y experimentación con el modelo instruccional.

Una vez aceptada la primera versión del prototipo, éste —conjuntamente con el modelo instruccional— fue sometido a una evaluación empírica en la que participaron tanto los maestros o investigadores —en el papel de profesores— como un conjunto de alumnos —en su rol de aprendices. Dicha evaluación tenía como propósito corroborar que la funcionalidad educativa del sistema —orientada a los alumnos— fuese percibida correctamente.

Con los resultados positivos de la evaluación empírica antes citada, los investigadores solicitaron ligeras modificaciones vinculadas con las funcionalidades de interacción del sistema y se procedió a una última evaluación orientada a la usabilidad del sistema por parte de los aprendices. De acuerdo con Holzinger (2005) la usabilidad puede ser definida como la facilidad de uso y la aceptabilidad de un sistema para una clase particular de usuarios que realizan tareas específicas en un entorno específico; en nuestro caso, el tipo particular de usuarios fueron los aprendices. Entre los métodos más comunes para las pruebas de usabilidad se encuentran los cuestionarios, en nuestro caso, se diseñó un instrumento que recopilaba la opinión de los alumnos con base en una escala *Likert* de cinco niveles; la Figura 9 presenta el instrumento utilizado.

Instrucciones: Con base en las siguientes aseveraciones, marca con una X la casilla que se corresponda con el grado en el que estas de acuerdo o en desacuerdo con éstas.		TA	AC	NA	DA	TD
		Total Acuerdo de Acuerdo	No Aplica en DesAcuerdo	Total Desacuerdo		
01	El esfuerzo requerido para aprender a utilizar el entorno virtual ha sido mínimo.					
02	La dinámica de interacción (competitiva) generada por el entorno virtual me resultó motivante durante la sesión de ejercitación.					
03	Los tiempos de respuesta del entorno virtual durante mi sesión, me permitieron ejercitarme sin generar desesperación.					
04	El número de retos generados por el entorno durante la sesión fue apropiado para mantener mi atención.					
05	La dinámica de interacción (competitiva) generada por el entorno virtual mantuvo mi interés durante la sesión de ejercitación.					
06	Las prestaciones (funcionalidades) disponibles en el entorno me permitieron realizar las actividades propias de la dinámica competitiva.					

Figura 9. Instrumento de evaluación de la usabilidad del Prototipo.
Fuente: Elaboración propia.

Como se indicó en la sección de antecedentes, se diseñó un escenario de aprendizaje basado en el segundo esquema del modelo instruccional (competitivo), y se administró en una sesión de aprendizaje a 22 alumnos de la carrera de Ingeniería de Software que habían cursado la asignatura denominada Fundamentos de Ingeniería de Software.

Las opiniones recogidas con el instrumento se ilustran y analizan a continuación:

- *Ítem 1. El esfuerzo requerido para aprender a utilizar el entorno virtual ha sido mínimo.*

El primer ítem tuvo como objetivo que los alumnos evaluaran el esfuerzo que tuvieron que ejercer durante el experimento para aprender a utilizar la aplicación. Los resultados indican que los alumnos en un 95% coinciden en haber realizado un esfuerzo mínimo al aprender a utilizar la aplicación; el 5% restante indicó la opción no aplica (ver Figura 10A).

- *Ítem 2. La dinámica de interacción (competitiva) generada por el entorno virtual me resultó motivante durante la sesión de ejercitación.*

En este ítem los alumnos calificaron la dinámica competitiva, en específico, se deseaba saber si fue motivante. Los resultados indicaron que el 91% indicó que la dinámica competitiva fue motivante y una minoría del 5% reportó estar en desacuerdo con esta aseveración (ver Figura 10B).

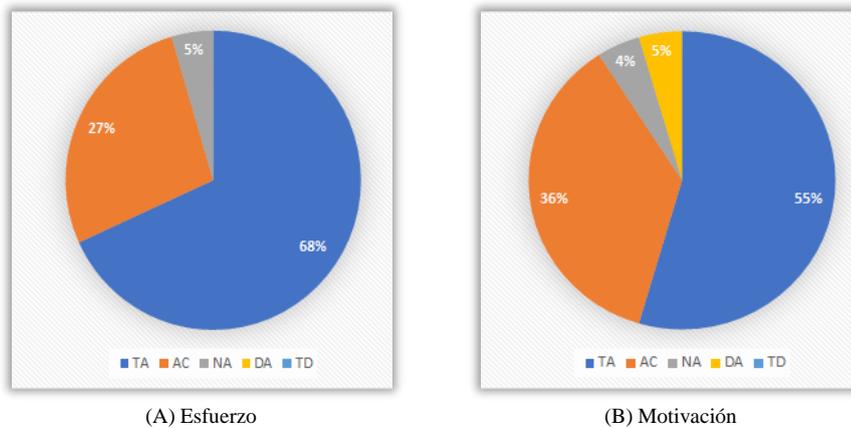


Figura 10. Gráfico de pastel para las opiniones de los Items 1 y 2.
Fuente: Elaboración propia.

- *Ítem 3. El esfuerzo Los tiempos de respuesta del entorno virtual durante mi sesión, me permitieron ejercitarme sin generar desesperación.*

Los alumnos calificaron los tiempos de respuesta al interactuar con el entorno virtual, este aspecto resulta importante para una adecuada interacción, ya que es conveniente que los alumnos no se desesperen por los tiempos de respuesta, esto permite que el alumno no pierda la concentración en su proceso de aprendizaje o de ejercitación. Las opiniones de los alumnos fueron las siguientes: 68% estuvo de acuerdo o en total acuerdo, 27% respondió no aplica, y solamente el 5% restante indicó estar en desacuerdo (ver Figura 11A).

- *Ítem 4. El número de retos generados por el entorno durante la sesión fue apropiado para mantener mi atención.*

Las opiniones respecto del número de retos generados por el entorno en un 96% fueron positivas (ver Figura 11B). Una sobrecarga de retos puede ocasionar que los alumnos pierdan el enfoque o se frustren y el interés en responder adecuadamente vaya decayendo. El prototipo desarrollado con tecnología web mantiene reglas durante la construcción del entorno, el número de retos va decreciendo por cada bloque, lo cual limita al profesor a mantener un número considerable de retos, a mayor complejidad menor número de retos.

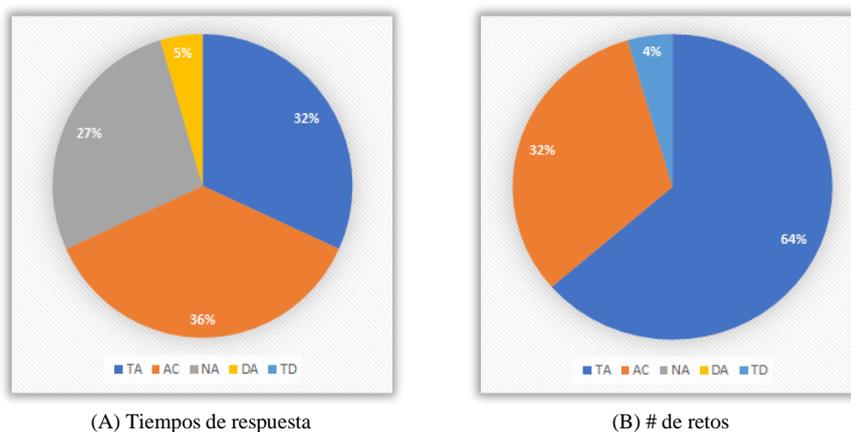


Figura 11. Gráfico de pastel para las opiniones de los Items 3 y 4.
Fuente: Elaboración propia.

- *Ítem 5. La dinámica de interacción (competitiva) generada por el entorno virtual mantuvo mi interés durante la sesión de ejercitación.*

La dinámica de interacción fue calificada por los alumnos en un 91% como adecuada para mantener el interés en la actividad y solo un 5% estuvo en desacuerdo en dicha aseveración (ver Figura 12A). Es importante destacar que ésta dinámica es la más compleja de los tres esquemas propuestos por el modelo; en esta dos alumnos compiten por obtener un mejor puntaje al ir respondiendo cada uno de los retos que se les van presentando. Los datos indican que la dinámica competitiva es adecuada y mantiene el interés de los alumnos.

- *Ítem 6. Las prestaciones (funcionalidades) disponibles en el entorno me permitieron realizar las actividades propias de la dinámica competitiva*

Con este ítem los alumnos calificaron el que las prestaciones disponibles en el entorno fueran útiles para realizar las actividades correspondientes en una dinámica competitiva. Los resultados de la encuesta indican que el 91% de los aprendices estuvo de acuerdo o en total acuerdo y solamente el 5% estuvo en desacuerdo con dicha aseveración (ver figura 12B).

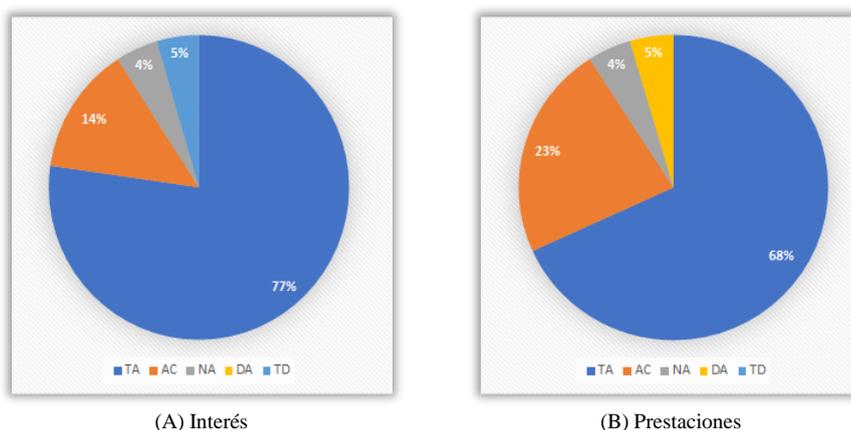


Figura 12. Gráfico de pastel para las opiniones de los Items 5 y 6.
Fuente: Elaboración propia.

5.2 Verificación

En este apartado se documentan los resultados obtenidos de la prueba de rendimiento a la que fue sometido el sistema utilizando la herramienta JMeter; dicha herramienta es un proyecto de Apache que puede ser utilizado como una herramienta de prueba de carga para analizar y medir el rendimiento de una variedad de servicios, con énfasis en aplicaciones web, en las cuales se requiere el acceso de muchos usuarios simultáneamente.

Uno de los módulos verificados fue el módulo individual y la funcionalidad verificada corresponde a la dinámica del juego individual al seleccionar una respuesta, lo cual significa verificar si es correcta o no y asignar los puntajes al usuario.

Tabla 1. Resultados de JMeter sobre el módulo individual

Etiqueta: Respuesta									
# Usuarios	□	Min	Max	D. E.	% Error	Rend	Kb/sec	Sent KB/sec	Media de Bytes
1	19371	19371	19371	0	0.00%	0.05162	0.05	0.02	933
50	17140	4951	45933	7334.9	0.00%	0.6248	0.57	0.24	933
100	18980	5925	42183	7326.43	0.00%	1.32378	1.21	0.51	932.6
1000	18480	2621	59374	7969.8	0.10%	12.47427	11.38	4.79	933.9

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 1 se muestran los resultados obtenidos de la capacidad del sistema para soportar estas situaciones; se observa que para 1 usuario el resultado fue un 0.00% de error al obtener los requerimientos de la función, en cuestión del tiempo requerido para la obtención de respuesta se tiene como mínimo (Min) y máximo (Max) de 19371 milisegundos. Por lo tanto, es una función estable y rápida con un usuario.

Para 50 usuarios el margen de error de los requerimientos sigue siendo un 0.00%, en este caso el mínimo es de 4951 milisegundos y un máximo de 45933, la media es de 17140 lo cual está por debajo del medio minuto y cuenta con una desviación estándar de 7334 milisegundos. Estos resultados demuestran que para un salón de clases numeroso el tiempo de respuesta es muy rápido aun siendo que utilicen la función al mismo tiempo.

En el caso de la prueba con 100 usuarios el margen de error no sufre cambios, sin embargo, los tiempos de carga son de un mínimo de 5925 y un máximo de 42183, con una desviación estándar de 7326.43 milisegundos con respecto a la media de 18980, lo cual es menor a medio minuto. Para esta prueba los tiempos de respuesta resultan rápidos, lo cual permite al usuario no frustrarse por la espera.

Por último, en la prueba con una cantidad de 1000 usuarios el tiempo de respuesta también es suficientemente rápido. Para estas pruebas el porcentaje de error se mantiene nulo en los casos menores o iguales a 100 usuarios, sin embargo, con 1000 usuarios se eleva un mínimo el porcentaje de error en los recursos, estos resultados indican que la aplicación web puede soportar una gran cantidad de usuarios a la vez respondiendo una pregunta en el entorno individual.

6. CONCLUSIONES

El prototipo del Sistema para Configuración de Entornos Virtuales de Aprendizaje basados en Gamificación descrito en este artículo, permitió validar el modelo instruccional propuesto; en particular, se configuró un entorno virtual de aprendizaje con el esquema competitivo; el proceso de verificación arrojó opiniones positivas por parte de los aprendices, y en cuanto al proceso de validación, los tiempos de respuesta en la prueba de rendimiento realizada fueron adecuados. En cuanto al uso de UWE como metodología para el diseño del prototipo, se pudo observar que UWE ofrece los modelos adecuados para la construcción de una aplicación de este tipo, y por consiguiente, considera las características propias que describen una aplicación web, entre estas características están el contenido, estructura de navegación y presentación. También, se pudo observar que entre los modelos que ofrece UWE considera las etapas de requisitos, análisis, diseño y desarrollo, es decir, en el modelado incorpora las etapas del ciclo de vida de un software que sin duda ayudaron a la realización de este trabajo.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el apoyo brindado por la Facultad de Matemáticas (UADY), así como los alumnos de la Licenciatura en Ingeniería de Software de la UADY que participaron en la prueba piloto.

REFERENCIAS

Aguilar, R., Briceño, E., Díaz, J., y Ucán, J. (2020). Modelo instruccional configurable y computable basado en elementos de gamificación: un estudio de caso sobre la educación en Ingeniería de Software. *Revista Apertura*. 12(2), pp. 20-35.

Briceño, E. (2020). *Modelo Instruccional Configurable y Computable basado en Elementos de Gamificación*. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Yucatán.

Deterding, S.; Dixon, D.; Khaled, R. & Nacke, L. (2011). *From game design elements to gamefulness defining gamification*. In Proceedings of the 15th international academic MindTrek conference: Envisioning future media environments, (pp. 9-15), ACM, New York, NY, USA, pp. 9-15.

González, Y. D., y Romero, Y. F. (2012). Patrón Modelo-Vista-Controlador. *Revista Telemática*, 11(1), pp. 47-57.

Hamari, J.; Koivisto, J., & Sarsa, H. (2014). *Does gamification work? - A literature review of empirical studies on gamification*. In Proceedings of the Annual Hawaii International Conference on System Sciences pp. 3025-3034.

Holzinger, H. (2005). Usability Engineerig: Methods for Sotware Developers. *Communications of the ACM*, Vol. 48, No. 1

Johnson, D., Deterding, S., Kuhn, K., Staneva, A., Stoyanov, S., & Hides, L.(2016). Gamification for health and wellbeing : A systematic review of the literature. *Internet Interventions*, 6, pp. 89–106.

Juristo, N. Moreno, A. y Vegas, S. (2004). *Técnicas de Evaluación de Software*. Universidad Politécnica de Madrid.

Kapp, L. M.; Blair, L. & Mesch, R. (2014). *The gamification of learning and instruction*. San Francisco, CA: Wiley.

Koch, N., Knapp, A., Zhang, G., and Baumeister, H. (2008). Uml-Based Web Engineering An Approach Based on Standards. *Web Engineering: Modelling and Implementing Web Applications*. Chapter: 7, Springer Berlin/Heidelberg, pp.157-191.

McCool, S. (2012). *Laravel Starter*. Packt Publishing Ltd.

Nah, F. F., Zeng, Q., & Telaprolu, V. R. (2014). *Gamification of Education : A Review of Literature*. In International conference on hci in business, Springer, pp. 401–409.

Soto, C., Ucán, J. y Aguilar R. (2018). Diseñando Entornos Virtuales de Aprendizaje para el Análisis de la Colaboración con UWE. *Abstraction and Application*. Vol. 20. Pp. 55-67.

NOTAS BIOGRÁFICAS



David Israel Chán Chán es Ingeniero de Software egresado de la Facultad de Matemáticas. Comprometido con el desarrollo de software e investigación de tecnologías para la resolución de problemas del cliente. Actualmente labora como Desarrollador sr de plataformas web en una empresa importante de la península de Yucatán.



Raúl Antonio Aguilar Vera obtuvo el grado de Doctor por la Universidad Politécnica de Madrid, España (Mención de Doctor Europeo) y el de Master en Ingeniería de Software por la misma Institución, posee también el grado de Maestro en Educación Superior por la Universidad Autónoma de Yucatán. Actualmente es profesor en la Facultad de Matemáticas de la Universidad Autónoma de Yucatán. Es coordinador de la Sección Académica de Ingeniería de Software de la Academia Mexicana de Computación (AMEXCOMP). Su trabajo de investigación incluye las áreas de Ingeniería de Software e Informática Educativa.



Juan Pablo Ucán Pech es Doctor en Sistemas Computacionales por la Universidad del Sur, campus Mérida, México. Maestro en Sistemas Computacionales con especialidad en Ingeniería de Software por el Instituto Tecnológico de Mérida, México. Actualmente es profesor en la Facultad de Matemáticas de la Universidad Autónoma de Yucatán. Es miembro de la Academia Mexicana de Computación (AMEXCOMP). Su trabajo de investigación se centra en temas relacionados con la Ingeniería de Software, Ingeniería Web e Informática Educativa.



Julio Cesar Díaz Mendoza es Ingeniero Industrial en Producción por el Instituto Tecnológico de Mérida (ITM). Maestro en Tecnologías de Información, por la Universidad Interamericana para el Desarrollo (UNID). Especialista en Docencia de la Universidad Autónoma de Yucatán. Actualmente es profesor en la Facultad de Matemáticas de la Universidad Autónoma de Yucatán, e imparte asignaturas en las carreras de Ingeniería de Software y Ciencias de la Computación. Su interés se enfoca al área de Ingeniería de Software Educativo



Jesús Antonio Santos Tejero es Ingeniero en Sistemas Computacionales, Maestro en Tecnologías de Información, Profesor-Investigador Asociado C en el Tecnológico Nacional de México campus Valladolid, experiencia de 18 años en docencia. Perfil deseable Prodep, responsable técnico de proyectos financiados por CONACYT de 2018 a 2021, miembro de las Redes de Investigadores Internacionales INNOVADER y REDILAT, desarrollador de Software, líder de proyectos de T.I. con estándar P.M.I., evaluador de proyectos de investigación para publicaciones, actualmente cursando Doctorado en Investigación y Docencia por la UNISANT Valladolid.



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

Recibido 15 Jul 2021

ReCIBE, Año 10 No. 1, Mayo 2021

Aceptado 02 Sep 2021

Prácticas de los equipos de desarrollo de microservicios: un mapeo sistemático de la literatura

Microservices team practices: a systematic mapping study

Alan González-Heredia¹
alan14_04@hotmail.com

Jorge Octavio Ocharán-Hernández¹
jocharan@uv.mx

Maria de los Ángeles Arenas-Valdés¹
aarenas@uv.mx

Karen Cortés Verdín¹
kcortes@uv.mx

¹Facultad de Estadística e Informática, Universidad Veracruzana, México

RESUMEN

Debido a la creciente adopción de la Arquitectura de Microservicios, estilo que hace énfasis en la división de los sistemas en una colección de pequeños servicios con una sola responsabilidad, existe una necesidad de construir este tipo de sistemas con calidad y de adaptar las prácticas de los equipos de desarrollo para alcanzar una mejor escalabilidad, mantenibilidad, facilidad de despliegue así como una mayor agilidad y una clara separación de intereses. Al igual que con otro tipo de sistemas, el desarrollo de microservicios trae consigo diferentes retos que las organizaciones deben enfrentar. Dichos retos no solo tienen que ver con la parte técnica, sino que también implica un cambio en las prácticas y organización de los equipos de desarrollo. El objetivo de este estudio es analizar las prácticas de desarrollo que llevan a cabo los equipos, la forma en que éstos se organizan y los retos que enfrentan durante el desarrollo de microservicios. Siguiendo un proceso de mapeo sistemático de la literatura se recopilaron 26 estudios primarios los cuales fueron analizados mediante una síntesis temática. Los resultados muestran que los equipos tienden a ser pequeños y multifuncionales, las prácticas que realizan están relacionadas con una cultura ágil y de independencia, lo que se complementa con los modelos de gobernanza descentralizada y ciclo de vida independiente. Los retos se relacionan con la complejidad del dominio, aspectos específicos de la organización y las habilidades que los desarrolladores deben de tener. Como conclusión se obtuvo la importancia de las características de una organización y sus equipos de desarrollo, la estrecha relación que tiene una cultura DevOps con el desarrollo de microservicios, la independencia y descomposición son aspectos clave que deben tomarse en cuenta y se detectaron diversos retos donde el factor humano juega un papel importante.

PALABRAS CLAVE

Arquitectura de microservicios, Prácticas de desarrollo, Mapeo sistemático, Síntesis temática

ABSTRACT

Due to the growing adoption of Microservices Architecture, a style that emphasizes the division of systems into a collection of small services with a single responsibility, there is a need to build this type of system with quality and to adapt the practices of development teams to achieve better scalability, maintainability, ease of deployment as well as greater agility and a clear separation of interests. As with other types of systems, the development of microservices brings with it different challenges that organizations must face. These challenges are related to the technical side and imply a change in the practices and organization of the development teams. This study aims to analyze the development practices carried out by the teams, the way they are organized, and the challenges they face during the development of microservices. Following a systematic literature mapping process, 26 primary studies were collected and analyzed through a thematic synthesis. The results show that teams tend to be small and cross-functional. Their practices are related to an agile and independent culture, complemented by decentralized governance and independent lifecycle models. The challenges are related to the complexity of the domain, specific aspects of the organization, and the skills that developers must-have. In conclusion, the importance of the characteristics of an organization and its development teams, the close relationship that a DevOps culture has with the development of microservices, independence, and decomposition are vital aspects that must be taken into account, and several challenges were detected where the human factor plays an important role.

KEYWORDS

Microservice Architecture, Development Practices, Systematic Mapping, Thematic Synthesis

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años la arquitectura de microservicios se ha convertido en una opción de estilo arquitectónico dominante en la industria del software orientado a servicios. Las empresas han descubierto que adoptar un enfoque de microservicios permite que los equipos y las organizaciones de software sean más productivos en general y desarrollen productos de software exitosos. Empresas como Netflix, SoundCloud, Amazon, Uber han adoptado dicha arquitectura y obtenido sus beneficios. De acuerdo con Larrucea (2018) los microservicios están inspirados en la computación orientada a servicios (SOA); son aplicaciones pequeñas con una sola responsabilidad, que se pueden implementar, escalar y probar de forma independiente. Sin embargo, al adoptar o querer migrar a una arquitectura de microservicios hay factores organizacionales que deben tomarse en cuenta. Estos factores tienen que ver con las actividades que se realizan durante el desarrollo y las características que poseen los equipos. Los microservicios tienen el fin de crear un sistema modular esto trae consigo las metodologías ágiles que permiten a los equipos trabajar de manera independiente. Uno de los problemas que pueden generarse es que los equipos estén cada vez más aislados unos de otros y tengan una poca o nula comunicación, lo que generará problemas en el desarrollo del sistema entero, ya que, al igual que los microservicios, los equipos deben trabajar juntos para conseguir un objetivo (Fowler, 2016). En 1968 Melvin E. Conway realizó un estudio en el cual determinó que “las organizaciones que diseñan sistemas están limitadas a producir diseños que son copias de las estructuras de comunicación de dichas organizaciones” (Conway, 1968). También existe evidencia de distintas organizaciones que migraron de monolito a microservicios, se detectó que uno de los desafíos más importantes eran los organizacionales debido a que los equipos tuvieron que hacer frente a un cambio de mentalidad al tener que establecer procesos ágiles (Fritzsch et al., 2019). De igual forma Salah (2016) reportaron que la capacitación de personal es una tarea que consume mucho tiempo y si a eso se le añade la flexibilidad que promueve la arquitectura en cuanto a las tecnologías de desarrollo es posible que la coordinación entre diferentes equipos se vuelva compleja. El objetivo de este estudio de mapeo sistemático es analizar el estado actual en el que se encuentran las organizaciones que desarrollan sistemas con arquitectura de microservicios y las prácticas que sus equipos realizan durante el proceso de desarrollo. A pesar de que se encuentran investigaciones que mencionan las prácticas de las organizaciones, no se tiene conocimiento de una revisión sistemática que reúna el estado del arte de lo que están haciendo los equipos que desarrollan con una arquitectura de microservicios, por lo cual es necesario tener esta revisión sistemática y proporcionar una fuente bibliográfica donde se recopile y analice dicha información sobre las prácticas que realizan los equipos de desarrollo.

2. TRABAJO RELACIONADO

En diversas revisiones sistemáticas enfocadas en la arquitectura de microservicios se mencionan factores importantes durante su desarrollo y los retos que conlleva. En ellas se habla sobre los aspectos organizacionales de los equipos y las prácticas que tienen que realizar para lograr la adopción de los microservicios. Pahl y Jamshidi (2016) realizaron un estudio de mapeo sistemático de 21 artículos publicados que reportaron experiencias acerca de los microservicios y su aplicación. Concluyeron que las investigaciones de microservicios aún estaban en una etapa temprana, las herramientas para facilitar su operación aún no eran suficientes y entre las futuras tendencias de investigación se encontraban, migración de microservicios, monitoreo de microservicios y DevOps con microservicios. De igual manera Di Francesco et al. (2017) llevaron a cabo un estudio de mapeo sistemático que incluyó a 71 estudios primarios, logrando una clasificación y evaluación de tendencias de publicación, enfoques de investigación y potencial de la adopción industrial para microservicios. Di Francesco et al. (2019) extendieron dicha investigación incluyendo 32 artículos más. Los autores encontraron que la investigación existente tiene un enfoque en paradigmas de la nube y que la complejidad de los microservicios se ve compensada gracias a su flexibilidad, también mencionan como las organizaciones adoptan DevOps durante el ciclo de vida de desarrollo e implica un cambio cultural, pero no profundizan en prácticas organizacionales.

Por otra parte Hassan et al. (2020) durante su estudio de mapeo sistemático sobre la transición hacia microservicios y su problema de granularidad, en sus resultados proporciona un marco de clasificación en el cual las actividades organizacionales se encuentran entre las más realizadas para una adopción satisfactoria de microservicios y por lo tanto hay que brindarles atención. También se encuentran encuestas que proporcionan evidencia de las prácticas y características de los equipos de desarrollo que están trabajando en un ambiente profesional. Zhang et al. (2019) realizaron una investigación empírica que brinda una visión sistemática de las prácticas industriales en microservicios. Guiaron su estudio con el objetivo de investigar la brecha entre las visiones ideales y las prácticas industriales reales sobre microservicios y qué beneficios se pueden obtener de las experiencias industriales. Como resultados obtuvieron una caracterización de las brechas entre las características típicas aceptadas en la comunidad y las prácticas en la industria de los microservicios, también confirmaron los beneficios que pueden obtenerse a través del desarrollo de microservicios y los posibles problemas que deben abordarse con cierta experiencia, algunos problemas descritos, por ejemplo: transformación organizacional, descomposición, distributed monitoring y localización de errores fueron hallados durante el estudio. Wang y Kadiyala (2020) realizaron un estudio amplio de métodos mixtos que incluye entrevistas en profundidad con 21 profesionales y una encuesta en línea a 37 participantes, que abarca 37 empresas en total. Concluyeron con una categorización de las prácticas en tres; arquitectura, infraestructura y administración de código, cada una de ellas está conformada por las distintas prácticas que realizan las organizaciones y también ofrecen una distribución respecto a la experiencia de los integrantes y el tamaño de los equipos. Finalmente, Fritsch et al. (2019) investigaron el proceso de migración de 14 sistemas en diferentes dominios y tamaños mediante la realización de 16 entrevistas en profundidad con profesionales de software de 10 empresas. Entre sus descubrimientos se encuentran que, gracias a la alta complejidad de sus sistemas heredados, la mayoría de las empresas prefirieron reconstruir el sistema utilizando las tecnologías actuales en lugar de dividir las bases de código existentes, ya que no contaban con un método adecuado de descomposición. Los desafíos organizacionales estaban relacionados con las grandes y tradicionales empresas que establecían simultáneamente procesos ágiles. Iniciar un cambio de mentalidad y garantizar una colaboración fluida entre los equipos fue crucial para ellos.

3. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

El método de investigación seguido es el propuesto por Kitchenham et al. (2015) en su guía para realizar revisiones y mapeos sistemáticos de la literatura en el área de ingeniería de software. Dicha guía proporciona pautas que se ajustan al objetivo de las preguntas de investigación que es analizar el estado actual de la literatura, para posteriormente proponer una categorización. En esta sección se detallan las actividades que se realizaron durante la planeación y la conducción de dicho método. Se cubren los siguientes puntos: Preguntas de investigación, estrategia de búsqueda, términos de búsqueda, construcción de la cadena de búsqueda, evaluación de la cadena, proceso de selección de estudios, selección de fuentes, extracción de datos, síntesis de la información y evaluación de la calidad.

4. PLANEACIÓN

Con el propósito de explorar las iniciativas en torno a procesos de IS, en los cuales se ha utilizado la gamificación como estrategia, se establecieron un conjunto de preguntas que orientan el estudio.

4.1 Preguntas de investigación

Se especifican las siguientes preguntas de investigación (PI) con el objetivo de obtener un subconjunto o grupo de datos cualitativos durante la revisión de la literatura. Las respuestas a las preguntas de investigación proporcionan un aporte significativo a los investigadores y al público interesado en el tema de los microservicios en el ámbito organizacional, debido a que brindan información sobre el estado del arte de las organizaciones que desarrollan con arquitectura de microservicios.

PI1. ¿Qué características tienen los equipos que desarrollan sistemas con arquitectura de microservicios?

Motivación: Es de vital importancia para la investigación conocer las características de los equipos de desarrollo, debido a que la arquitectura de microservicios trae consigo cambios en ellos.

PI2. ¿Cuáles son las prácticas que realizan los equipos de organizaciones que desarrollan sistemas con arquitectura de microservicios?

Motivación: Identificar las prácticas que las organizaciones están realizando actualmente.

PI3. ¿Cómo se organizan los equipos que desarrollan sistemas con arquitectura de microservicios?

Motivación: Descubrir de que manera los equipos de desarrollo están organizándose para lograr un desarrollo con microservicios satisfactorio.

PI4: ¿Cuáles son los retos que conllevan las prácticas de los equipos en el desarrollo con arquitectura de microservicios?

Motivación: Detectar los retos que las organizaciones enfrentan durante las prácticas podrá establecer un panorama acerca de cuales son las más realizadas y como enfrentarlos anticipadamente.

4.2 Estrategia de búsqueda

Para la búsqueda de estudios se realiza una búsqueda automatizada. Primero se definen los términos de búsqueda, con base en ellos se construye la cadena de búsqueda, posteriormente para validar la completitud del proceso de búsqueda se realiza una lectura preliminar en la que se detectan revisiones de la literatura relacionadas con el objeto de estudio y se localizan los artículos que ellas incluyeron, de esta forma se obtiene un conjunto de 30 investigaciones relacionadas que son suficientes para la evaluación de la completitud en un estudio de mapeo sistemático de la literatura según sugieren Kitchenham et al. (2015) en su guía, después se realiza la evaluación de la cadena de búsqueda y finalmente se definen las fuentes a consultar.

4.3 Terminos de búsqueda

Partiendo de las preguntas de investigación y del análisis preliminar de los términos utilizados en investigaciones relacionadas, se plantean los siguientes términos para realizar la búsqueda. En la Tabla 1 se muestran los términos, los que se encuentran en la primera fila tienen el objetivo de recolectar los estudios relacionados únicamente con microservicios, los siguientes son para conocer el ámbito en que se está realizando dicha arquitectura y los últimos son para obtener las prácticas o actividades que están realizando los equipos de desarrollo en las organizaciones.

Términos	Términos relacionados
Microservice	Microservice architecture, microservice system, microservice style
Development	Organization, team, migration, implementation, industrial, agile, adoption
Practice	Experience, strategies, process, practice issue, practice challenge, scheme

Tabla 1 Términos de búsqueda

4.4 Cadena de búsqueda

Con base en los términos anteriores se realizaron prototipos de la cadena de búsqueda los cuales fueron probados en las bases de datos seleccionadas y evaluadas. Gracias a los resultados se logró determinar la cadena final, que se muestra a continuación:

(microservice* OR “microservice style” OR “microservice architecture”) AND (“development” OR “organization” OR “migration” OR “migrating” OR “implementation” OR “industrial” OR “agile” OR “adoption”) AND (practice* OR experience* OR strategy* OR process* OR challenge*)

La cadena es una combinación de los términos clave y relacionados, con el fin de lograr una búsqueda más específica se dividen en grupos para unirlos con los conectores AND y OR. La evaluación de la efectividad de la cadena fue realizada mediante los métodos recall y precision mencionados por Dieste et al. (2009).

4.5 Fuentes seleccionadas

Las fuentes de información seleccionadas se muestran en la Tabla 2. Entre ellas se encuentran bases de datos académicas cuya calidad de estudios sobre la computación es reconocida y también se han hallado estudios relacionados con el tema de microservicios.

Fuente	Dirección
IEEE Xplore	https://ieeexplore.ieee.org
ACM Digital Library	https://dl.acm.org
ScienceDirect	https://www.elsevier.com
Springer Link	https://www.springer.com
Wiley Online Library	https://onlinelibrary.wiley.com

Tabla 2 Fuentes seleccionadas

4.6 Proceso de selección

El proceso de selección de estudios primarios consiste en ingresar la cadena de búsqueda en las bases seleccionadas y filtrarlos con base en los criterios de inclusión y exclusión que se muestran en la Tabla 3. El proceso está dividido en tres fases principales que se encuentran explicadas a continuación:

Fase 1: Ingresar la cadena de búsqueda en las bases de datos seleccionadas y filtrar los estudios con base en los criterios CI-1, CI-2 y CE-1.

Fase 2: Durante esta fase al leer el título y el abstract de los trabajos serán aplicados los criterios CI-3, CI-4 y CE2.

Fase 3: En la etapa final del proceso se realizará la lectura completa de los artículos para poder determinar su selección tomando en cuenta CI-5 y CE-3.

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
CI-1 El artículo fue publicado entre el año 2015 y 2020	CE-1 Es un artículo de opinión, resumen o que no haya sido revisado por pares.
CI-2 Se encuentra escrito en idioma inglés	CE-2 Se centra en un enfoque de arquitectura basado en servicios, pero no en uno de microservicios.
CI-3 El título o el abstract se relaciona con algunas de las preguntas de investigación	CE-3 El artículo no proporciona detalles acerca de las prácticas mencionadas.
CI-4 El título o el abstract debe contener al menos dos términos de búsqueda	
CI-5 Responde por lo menos una de las preguntas de investigación	

Tabla 3 Criterios de selección

El intervalo de fechas definido en el CI-1 es debido a que es en dichos años cuando el tema de microservicios empezó a tener un auge. CI-2 debido al lenguaje universal. CI-3, CI-4 y CI-5 son planteados con base en las preguntas y objetivos de la investigación. CE-1 sirve para aumentar la calidad de los resultados y CE-2, CE-3 son para descartar aquellos estudios que puedan producir un sesgo en la investigación.

4.7 Extracción de datos

A continuación, se muestra en la Figura 1 la plantilla de extracción de datos. Los datos de la publicación son usados para extraer la información general de cada estudio seleccionado. Cada publicación puede tener muchos hallazgos, los cuales contienen los segmentos de texto que se relacionan con el objetivo y preguntas de investigación. Como se está realizando un estudio de mapeo sistemático la extracción de datos puede ser iterativa, ya que las tendencias importantes y la forma de categorización de los artículos solamente pueden hacerse evidentes a medida que se leen en las diversas fases del proceso. La herramienta MAXQDA es utilizada para analizar la información, apoyar la extracción de datos y en la etapa de la síntesis.

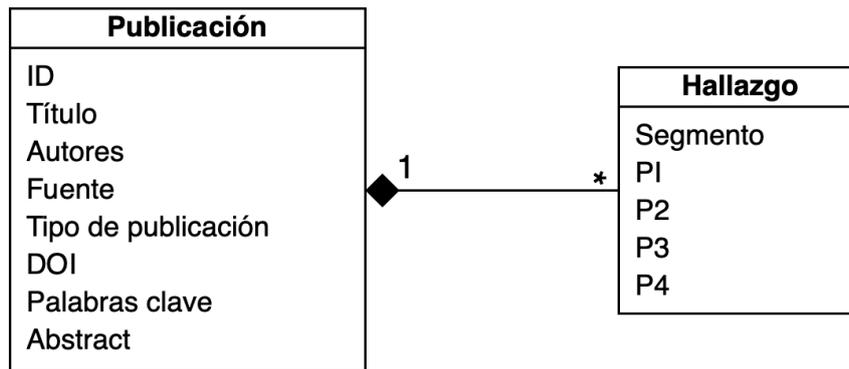


Figura 1 Plantilla de extracción de datos

4.7 Síntesis de la información

Para la síntesis de los datos se utilizó la síntesis temática siguiendo la guía propuesta por Cruzes et al. (2011). Dicho método se compone de cinco fases principales: la lectura inicial del texto, la identificación de segmentos importantes, codificación de los segmentos, la identificación de temas y temas de orden superior, como se muestra en la Figura 2. Estas actividades tienen el objetivo de hallar una clasificación a partir de la información extraída.

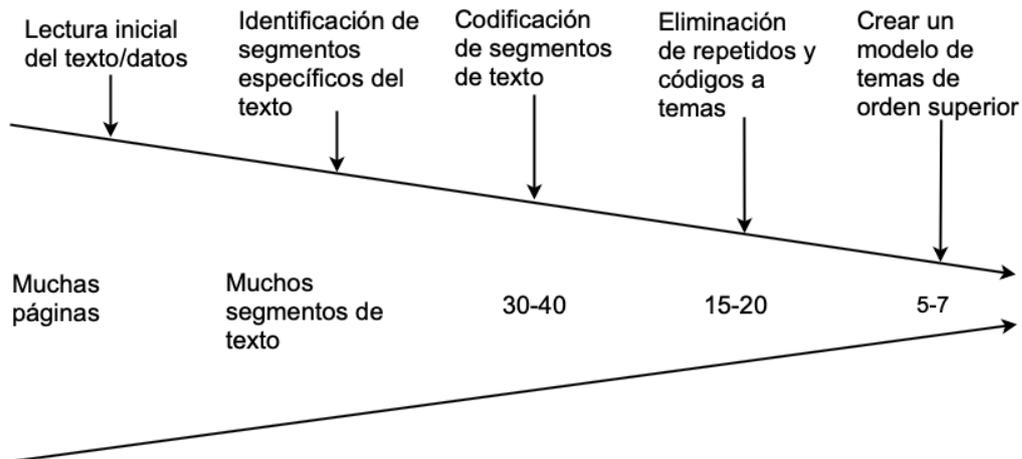


Figura 2 Proceso de la síntesis temática

5. CONDUCCIÓN

Este apartado está compuesto de dos puntos principales, el primero es la conducción del proceso de selección en el que se ejecuta la búsqueda de estudios y se aplican los criterios pertinentes en cada fase. Después, se encuentra el proceso de la síntesis temática con información detallada de cada actividad realizada durante su ejecución y la clasificación de la información obtenida.

5.1 Fase de selección

Durante la fase de selección de los estudios primero se ingresó la cadena de búsqueda en las bases de datos seleccionadas, obteniendo un resultado inicial de 2694 estudios. Posteriormente al aplicar la fase 1 quedaron un total de 1585, en esta fase se excluyeron los estudios que no estuvieran publicados entre los años 2015 y 2020, escritos en un idioma distinto al inglés y que no sean artículos de investigación o revisados por pares. Durante la fase 2 el título y abstract de los estudios fueron analizados para poder determinar su inclusión con base en la relación que tengan con las preguntas de investigación y excluirlos si no están relacionados con el tema de microservicios, el resultado al final de la fase 2 fue de 114. Finalmente, en la fase 3 se leyó completamente cada estudio restante de tal forma que se pudo determinar si respondía algunas de las preguntas de investigación y si proporcionaba información relevante sobre las prácticas durante el desarrollo de microservicios, quedando como 26 el número de estudios seleccionados para esta investigación. En la Tabla 4 se puede observar con más detalle el número de estudios seleccionados por base de datos, durante la conducción de cada una de las fases del proceso de selección.

Biblioteca digital	Inicio	Fase 1	Fase 2	Fase 3
SpringerLink	460	300	6	4
ScienceDirect	455	280	7	3
ACM Digital Library	853	501	11	4
IEEE Xplore	418	369	84	14
Wiley	408	135	6	1
Total	2694	1585	114	26

Tabla 4 Proceso de selección

5.2 Síntesis temática

Durante la conducción del análisis cualitativo de la información se realizaron las diferentes fases del proceso de la síntesis temática utilizando la herramienta MAXQDA, dicha herramienta proporciona las funciones necesarias para la codificación y extracción de los segmentos de texto. Al leer todos los estudios se lograron extraer un total de 304 segmentos de texto que proporcionan información relevante para responder las preguntas de investigación, también se hallaron 113 códigos. Posteriormente al eliminar los códigos repetidos y reducirlos a temas, restaron 95 códigos y 11 temas. En la Tabla 5 se muestran los temas de orden superior determinados y los temas relacionados.

Tema de orden superior	Tema
<i>Organization</i>	<i>Team practices</i> <i>Organizational model</i>
<i>Microservice design</i>	<i>Service granularity</i> <i>Design approaches</i> <i>Decomposition techniques</i>
<i>Developer challenges</i>	<i>Testing challenges</i> <i>Operation Challenges</i> <i>Decomposition challenges</i> <i>Skills challenges</i>
<i>Deployment and operations</i>	<i>Pipelines</i> <i>Deployment</i> <i>Monitoring and logging</i>

Tabla 5 Temas de orden superior y temas

Los temas hallados fueron analizados e interpretados para crear un modelo de temas de orden superior y la relación entre ellos, en la Figura 3 se muestra el producto final del proceso.

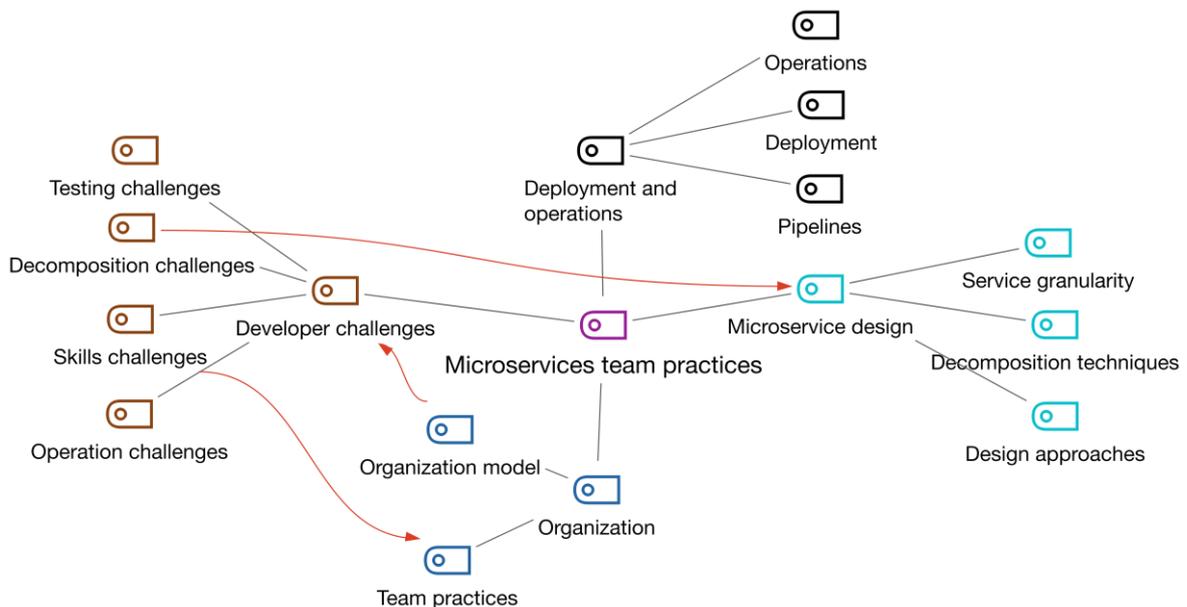


Figura 3 Modelo de orden superior

En la Tabla 6 se muestra cada uno de los temas hallados con una descripción que tiene como objetivo dar a conocer a que se refieren los códigos y segmentos de texto que se encuentran. La información completa con los segmentos de texto puede ser consultada en el siguiente enlace.

https://drive.google.com/file/d/1qMIwAYaaD_FvcHgMyzWXS-XCz6pXrQ3k/view?usp=sharing

Tema de orden superior	Tema
<i>Team practices</i>	Comprende las diversas actividades que realizan los equipos de desarrollo
<i>Organizational model</i>	Comprende los diversos modelos de organización que se adoptan durante el desarrollo
<i>Service granularity</i>	Comprende la heterogeneidad de los tamaños de los microservicios y sus límites
<i>Design approaches</i>	Comprende los diversos enfoques y patrones de diseño que son utilizados para la adopción
<i>Decomposition techniques</i>	Comprende técnicas que son usadas para descomponer un sistema o problema
<i>Testing challenges</i>	Comprende tareas que son un reto en la etapa de pruebas debido a la naturaleza de los sistemas
<i>Operation challenges</i>	Comprende los retos que enfrentan los desarrolladores durante la operación
<i>Decomposition challenges</i>	Comprende los problemas que se enfrentan durante la descomposición
<i>Skills challenges</i>	Comprende las diversas dificultades que enfrentan directamente los desarrolladores
<i>Pipelines</i>	Comprende las técnicas que son adoptadas para la automatización de pruebas y cambios
<i>Deployment</i>	Comprende las actividades que se realizan durante el despliegue de microservicios

Tabla 6 Temas obtenidos

5.1 Evaluación de la calidad

La evaluación de la calidad de los estudios primarios suele realizarse mediante un instrumento de calidad que comprende una serie de preguntas relacionadas con los objetivos, el diseño, la realización y los resultados de cada estudio. Las preguntas se denominan criterios de calidad. El instrumento de calidad suele denominarse lista de control de calidad (Kitchenham et al., 2015). El aseguramiento de la calidad de los estudios es una actividad que proporciona un valor agregado a los resultados de la investigación y ayuda a mostrar la calidad de la literatura en los estudios de mapeo sistemático. Para realizar la evaluación se utilizó una lista de verificación propuesta por Dybå y Dingsøyr (2008). Originalmente la lista está comprendida por 12 preguntas, pero se excluyeron algunas, debido al alcance de la investigación. Cada pregunta se respondió con base en la siguiente escala de valores; 0: No, 0.5: Parcialmente, 1: Sí. En la Tabla 7 se muestra un ejemplo de la lista de verificación aplicada a un estudio. Al evaluar todos los estudios el resultado promedio obtenido fue que el 100% (26) de los estudios está arriba de la puntuación de 7 y el 85% (22) tiene un puntaje total de 8. La información completa de la evaluación de calidad puede ser consultada en el siguiente enlace.

<https://drive.google.com/file/d/1aEfkZSbSRMOJHoUITcVxuun8IdLefDQW/view?usp=sharing>

ID	EP-01
<i>Is the paper based on research (or is it merely a "lessons learned" report based on expert opinion)?</i>	1
<i>Is there a clear statement of the aims of the research?</i>	1
<i>Is there an adequate description of the context in which the research was carried out?</i>	1
<i>Was the research design appropriate to address the aims of the research?</i>	1
<i>Was the data collected in a way that addressed the research issue?</i>	1
<i>Was the data analysis sufficiently rigorous?</i>	1
<i>Is there a clear statement of findings?</i>	1
<i>Is the study of value for research or practice?</i>	1
Total:	8

Tabla 7 Ejemplo de evaluación de la calidad

6. RESULTADOS

En esta sección se abordan los resultados de la conducción del método de investigación. Se extrajeron un total de 26 artículos de los cuales la cantidad de estudios en el 2016 es de tan solo 2, en cambio en el 2017 el número aumenta a 6 estudios, en el 2018 se encuentran 8 lo que es cuatro veces más que hace 2 años, para 2019 se mantiene en 7. Sin embargo, en el año 2020 se nota un decremento en el número de estudios publicados reduciéndose 3, la Figura 4 muestra la información mencionada.

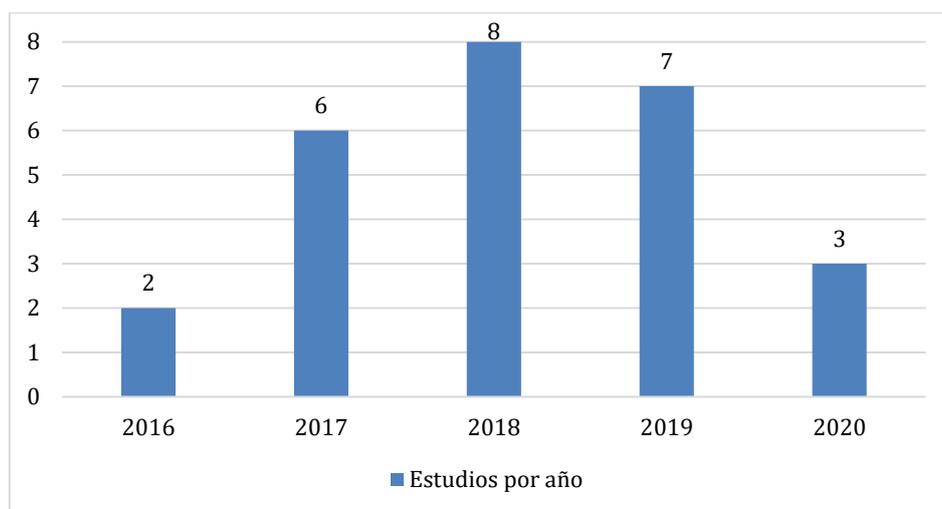


Figura 4 Estudios por año

El mayor porcentaje de los tipos de los estudios seleccionados son de conferencias con un 69% (18) del total, por otra parte están los journals con un 31% (9) de todos los recolectados, dichos valores se pueden observar en la Figura 5.

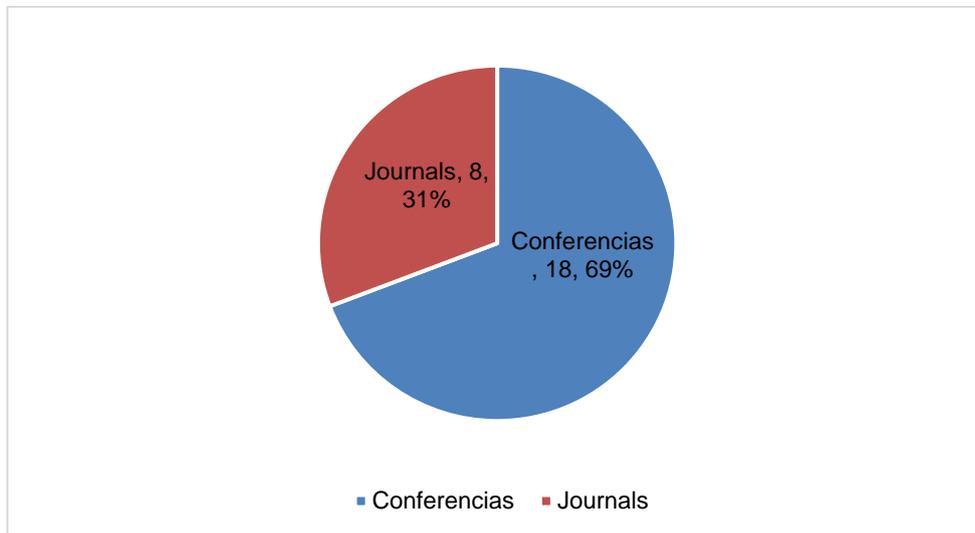


Figura 5 Tipos de estudios

En la Figura 6 se muestra que la base de datos académica donde se logró recuperar más artículos fue la IEEE Xplore con un total de 14 estudios recolectados. Seguida por ACM y Springer Link con un total de 4 estudios recolectados en cada una. Con menos estudios recuperados se encuentra Science Direct con un total de 3 y Wiley con 1 estudio.

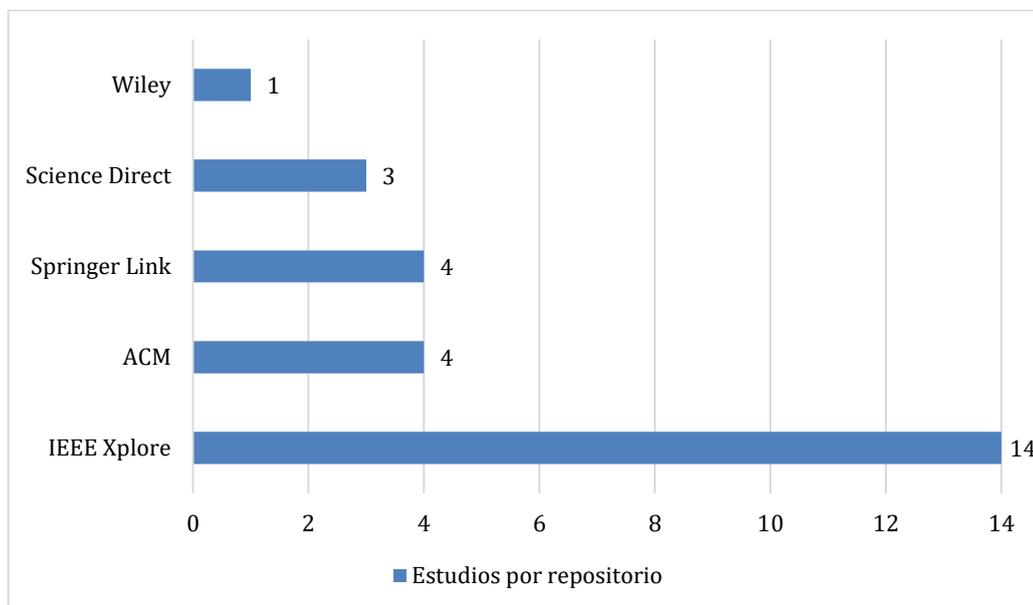


Figura 6 Estudios por repositorio

6.1 Respuestas a las preguntas de investigación

6.1.1 Características de los equipos de desarrollo

En esta sección se reportan las características que se encuentran presentes en los equipos que desarrollan sistemas con Arquitectura de Microservicios para caracterizarlos. Cabe destacar que, a pesar de que existe un número importante de trabajos que tratan el desarrollo de Microservicios, son relativamente pocos los estudios que describen las características de los equipos de desarrollo; sin embargo, es posible identificar algunos rasgos comunes. Los equipos de desarrollo tienen un tamaño de cinco a diez integrantes y tienen bajo su responsabilidad un solo servicio. En la literatura se identificó que las organizaciones siguen la regla de dos pizzas por equipo introducida en Amazon (AWS, 2020) para determinar el número de desarrolladores y que al tener asignado un solo servicio se sigue la filosofía de “you build, you run it” (Bogner et al., 2019), también mencionada en la literatura. Por otro lado, el tamaño del equipo los obliga a ser multifuncionales (Waseem et al., 2020), esto quiere decir que los integrantes deben de tener la capacidad para realizar diferentes tipos de prácticas durante todo el ciclo de vida de desarrollo. En cambio, hay estudios que reportan la existencia de equipos DevOps o de tamaño no tan pequeño como en otros casos. Dicha variación sucede ya que el dominio, alguna característica en específico o ciertas limitaciones, ocasionan que la distribución de los equipos y responsabilidades se adapte a las necesidades específicas del contexto en el que se desarrolla el sistema.

6.1.2 Prácticas de los equipos de desarrollo

Por la naturaleza de los microservicios, las organizaciones realizan prácticas complementarias que se ajustan a los dominios, pero en general son similares. Diversas prácticas mencionadas ya existían y las organizaciones han tenido que adaptarlas a este tipo de desarrollo. En la Figura 7 se muestra una gráfica con las prácticas que realizan los equipos de desarrollo por frecuencia de menciones. En primer lugar, se encuentra la selección del tipo de Application Programming Interface (API) adecuada para la comunicación entre los Microservicios (Bucchiarone et al., 2018; Fan & Ma, 2017; Lotz et al., 2019; Luz et al., 2018; Premchand & Choudhry, 2018; Salah et al., 2016; Zhang et al., 2019). Los tipos de API web puede ser RESTful, RPC o incluso message brokers para poder lograr esa sincronía entre los diversos servicios. Otras de las prácticas tiene que ver con la heterogeneidad tecnológica en la que los equipos se encuentran envueltos (Bogner et al., 2019; Garriga, 2018; Hassan et al., 2020; Luz et al., 2018; O’Connor et al., 2016; Soldani et al., 2018; Waseem et al., 2020), cuando cada equipo es responsable de un solo servicio las decisiones tecnológicas quedan bajo su control, por lo tanto, se usa una amplia variedad de tecnologías. Otros estudios reportan explícitamente diferentes prácticas ágiles (Di Francesco et al., 2018; Fan & Ma, 2017; Fritzsche et al., 2019; Idoughi et al., 2017; O’Connor et al., 2016; Srikaew & Kim, 2017) y mencionan que la Arquitectura de Microservicios se relaciona fuertemente con este tipo de prácticas, ya que eso permite la flexibilidad que se pretende alcanzar en los equipos de desarrollo. Scrum (Fritzsche et al., 2019; Sousa et al., 2020), DevOps, user stories (Idoughi et al., 2017), también son reportados en la literatura y son prácticas que se complementan con una cultura ágil. Además, se reporta un cambio cultural (O’Connor et al., 2016; Premchand & Choudhry, 2018) implica equipos pequeños (Sousa et al., 2020), equipos de operaciones (Bogner et al., 2019), equipos DevOps (Bogner et al., 2019; Zhang et al., 2019) y una autonomía en las decisiones que toman los equipos en general. La variación en la organización de los equipos se debe, de acuerdo con los autores, a los dominios y características en específico de cada uno de los sistemas. Finalmente, la alineación a 12-factor app principles (Bogner et al., 2019) es reportada explícitamente como otra práctica en la literatura.

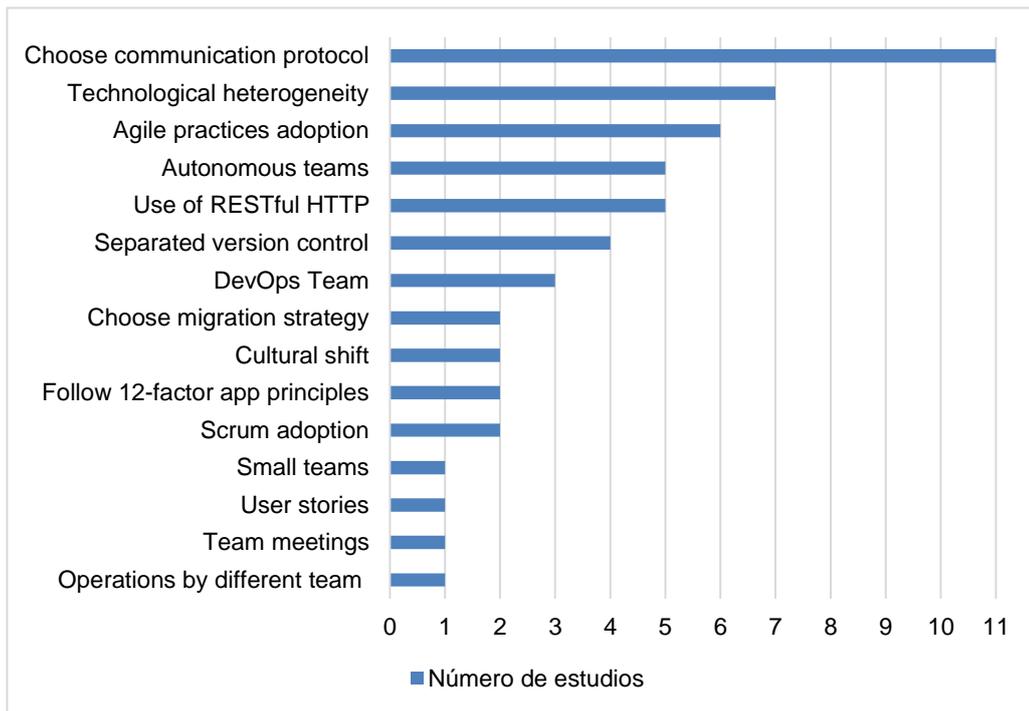


Figura 7 Prácticas de los equipos reportadas

Una fase del desarrollo en donde se encuentran prácticas que involucran directamente a los equipos, es la de diseño. Al diseñar un sistema con arquitectura de microservicios los desarrolladores se encontrarán con una tarea que se repetirá sin importar las características del dominio, la descomposición. En este sentido, se identificaron técnicas que los desarrolladores ocupan para lograr desacoplar un sistema en partes pequeñas, en la Figura 8 se muestran las técnicas detectadas en la literatura. En primer lugar, los estudios reportan las siguientes estrategias para lograr una descomposición adecuada: database decomposition (Bogner et al., 2019; Fan & Ma, 2017; Garriga, 2018; Lotz et al., 2019; Salah et al., 2016; Srikaew & Kim, 2017), system decomposition (Buchgeher et al., 2017; Di Francesco et al., 2018) y domain decomposition (Di Francesco et al., 2018; Sousa et al., 2020). En casos donde el sistema era muy complejo para lograr descomponerlo se optó por una reescritura completa de la aplicación (Bogner et al., 2019; Fritzsich et al., 2019). De igual forma la técnica de descomposición funcional (Fritzsich et al., 2019; Idoughi et al., 2017; Srikaew & Kim, 2017) es mencionada para lograr descomponer un sistema con base en las funcionalidades principales, ya que es una estrategia que analiza de manera minuciosa un proceso complejo para examinar sus elementos individuales. Finalmente, horizontal decomposition (Zhang et al., 2019), vertical decomposition (Zhang et al., 2019), featured-oriented decomposition (Bogner et al., 2019), static analysis (SA) (Ponce et al., 2019) y dynamic analysis (Ponce et al., 2019) son técnicas que también se mencionan en la literatura.

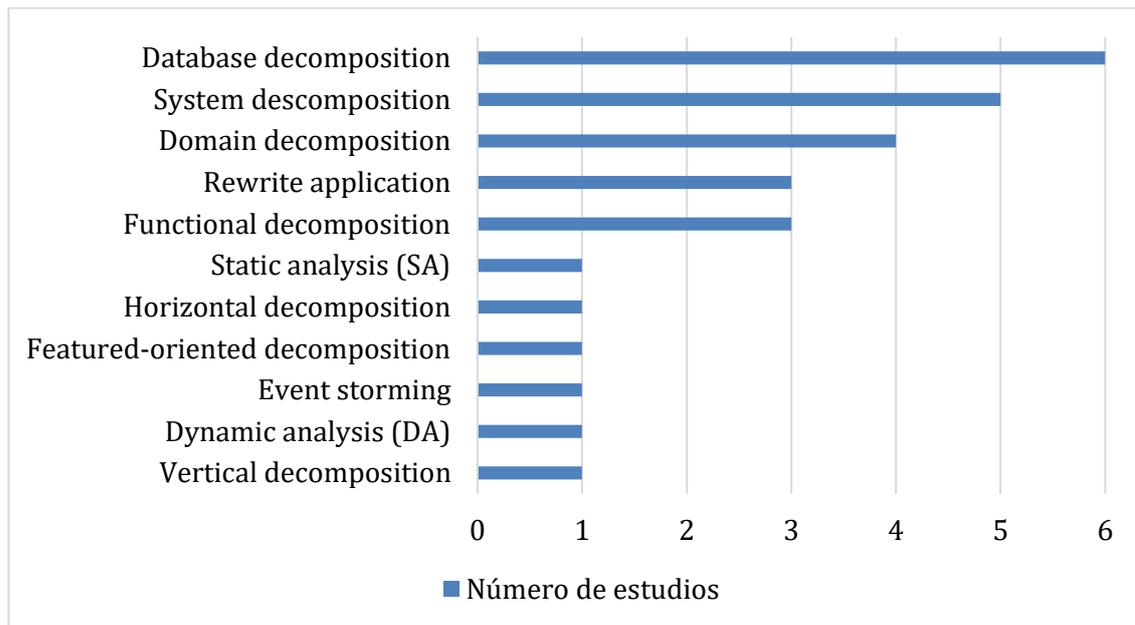


Figura 8 Técnicas de descomposición

En la Figura 9 se muestran diversos enfoques de diseño que las organizaciones adoptan para lograr el desarrollo de microservicios. Dichos enfoques están conformados por las diversas estrategias y patrones de diseño que son utilizados. Domain Driven Design al ser un enfoque que busca dividir un dominio complejo en subdominios, es mencionado en la literatura como una de las alternativas principales durante el diseño de microservicios (Bogner et al., 2019; Di Francesco et al., 2018; Fan & Ma, 2017; Fritzsche et al., 2019; Ghofrani & Bozorgmehr, 2019; Waseem et al., 2020; Zhang et al., 2019). De igual forma el uso de patrones de diseño es reportado con frecuencia. Model-Driven Design (MDD) (Ghofrani & Bozorgmehr, 2019; Ponce et al., 2019) también es mencionado debido a que usa elementos de diseño como entrada, dichos elementos pueden ser: capacidades de negocio, objetos de negocio, entidades de dominio y diagrama de flujo de datos de la lógica de negocio. También, para desacoplar la base de datos se utilizan enfoques como una base de datos por servicio (Kalske et al., 2018; Soldani et al., 2018; Waseem et al., 2020) y administración descentralizada de los datos. Por último, design for failure (Buchgeher et al., 2017; Zhang et al., 2019) es reportado en algunas ocasiones en la literatura, concepto introducido originalmente por Martin Fowler sobre diseñar microservicios pensando en que fallarán y que acciones tomar.

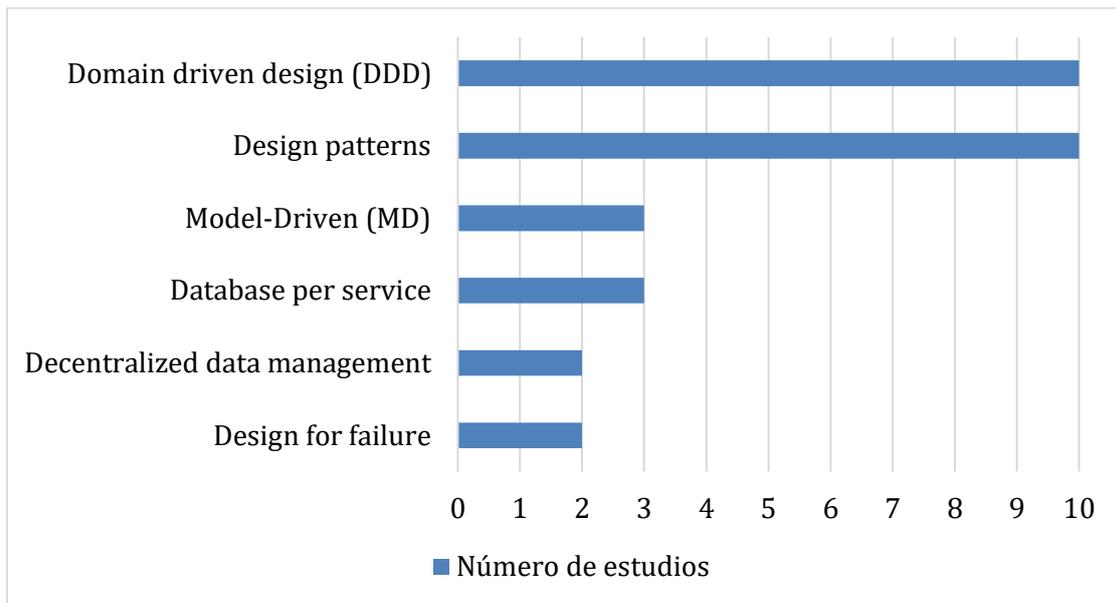


Figura 9 Enfoques de diseño

De igual forma, en la Figura 10 se pueden observar prácticas relacionadas con el despliegue y la operación de los microservicios. El uso de contenedores es muy recurrente durante este tipo de desarrollo, debido a la integración natural que tienen los microservicios con las plataformas basadas en contenedores, cada microservicio puede ser empaquetado y entregado en su propio contenedor (Bogner et al., 2019; Di Francesco et al., 2019; Fan & Ma, 2017; Lotz et al., 2019; Luz et al., 2018; O'Connor et al., 2016; Salah et al., 2016; Soldani et al., 2018; Sousa et al., 2020; Srikaew & Kim, 2017; Waseem et al., 2020). También, se reportan prácticas que tienen una estrecha relación con una cultura DevOps; Continuous integration (CI) (Bogner et al., 2019; Fan & Ma, 2017; Fritzsich et al., 2019; Hassan et al., 2020; Idoughi et al., 2017; Premchand & Choudhry, 2018; Sousa et al., 2020; Zhang et al., 2019), Continuous delivery (CD), Continuous deployment (Bogner et al., 2019; Fan & Ma, 2017; Fritzsich et al., 2019; O'Connor et al., 2016; Premchand & Choudhry, 2018; Zhang et al., 2019), al ejecutar estas actividades las organizaciones pueden lograr la integración de diversos microservicios, software listo para ser entregado al usuario y el despliegue automatizado del sistema. Después, el monitoring y logging es mencionado en diversos estudios (Ahmad et al., 2018; Di Francesco et al., 2018; Fan & Ma, 2017; Garriga, 2018; Hassan et al., 2020; Zhang et al., 2019), debido a que los microservicios se comunican por la red mediante sus APIs, deben de estar en constante monitoreo para asegurar su funcionamiento correcto. Finalmente, existen organizaciones que se apegan al paradigma de computación en la nube (Ahmad et al., 2018; Bogner et al., 2019; Di Francesco et al., 2018; Garriga, 2018; Soldani et al., 2018), entregando sus microservicios en contenedores a un proveedor de servicios y existen otras que reportan un grado de automatización únicamente en la etapa de despliegue (Buchgeher et al., 2017; Fan & Ma, 2017; Luz et al., 2018; Premchand & Choudhry, 2018).

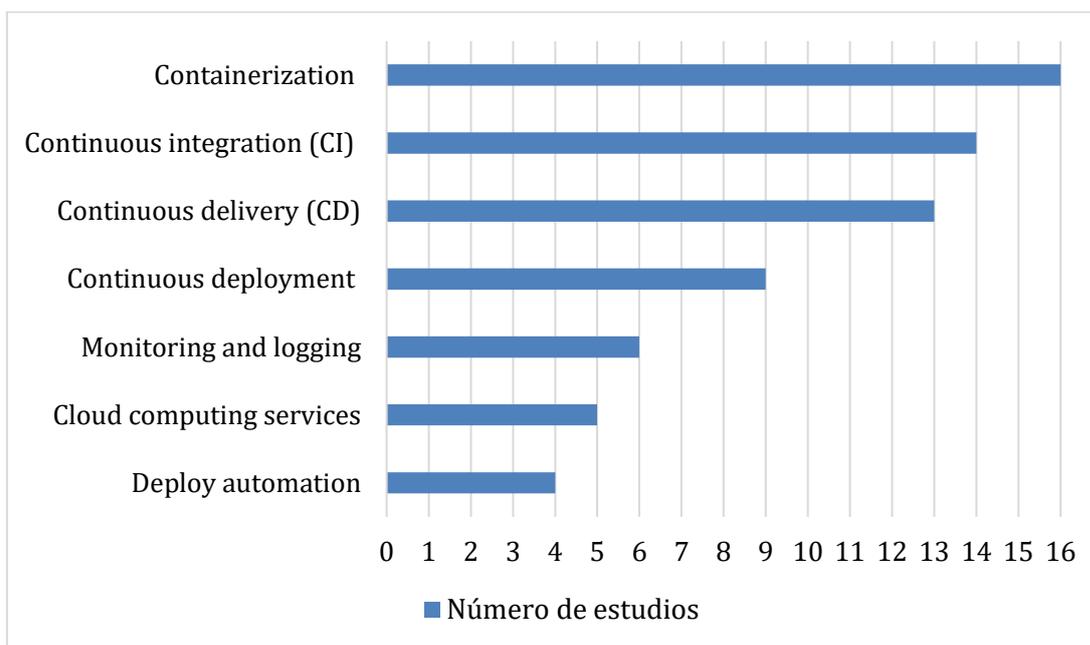


Figura 10 Despliegue y operaciones

6.1.3 Organización de los equipos de desarrollo

La organización de los equipos es de suma importancia en cualquier tipo de desarrollo, pero específicamente en el de microservicios la arquitectura del sistema está estrechamente relacionada con dicha organización. Los modelos de organización hallados son las pautas que los equipos respetan para la división de responsabilidades durante el desarrollo. Debido a la naturaleza del estilo arquitectónico se reporta que un modelo de gobernanza descentralizada es utilizado para una adopción satisfactoria (Bogner et al., 2019; Buchgeher et al., 2017; Fritzsche et al., 2019; Hassan et al., 2020; Premchand & Choudhry, 2018; Zhang et al., 2019). A diferencia de un modelo centralizado que permite una plataforma tecnológica única, los microservicios admiten una mezcla de múltiples lenguajes, marcos de desarrollo y tecnologías de datos, es decir, la diversidad tecnológica (Fan & Ma, 2017; Lotz et al., 2019; Taibi, Lenarduzzi, Pahl, et al., 2017; Zhang et al., 2019). Dicho modelo descentralizado va de la mano con los equipos autónomos que pueden tomar sus propias decisiones y la heterogeneidad tecnológica (Bogner et al., 2019). En segundo lugar, se reportan modelos alrededor de conceptos del negocio y que se comuniquen a través de APIs (Ahmad et al., 2018; Di Francesco et al., 2018; Garriga, 2018; Gundelsby, 2018; Premchand & Choudhry, 2018), esto permite que los equipos tengan la responsabilidad de un conjunto de componentes y puedan comunicarse con otro mediante una API. Siguiendo esta línea se puede observar que los modelos que fomentan la independencia de los procesos son los más reportados: despliegue independiente (Soldani et al., 2018), ciclo de vida independiente (Buchgeher et al., 2017; Idoughi et al., 2017; Kalske et al., 2018; Lotz et al., 2019; Soldani et al., 2018; Srikaew & Kim, 2017; Zhang et al., 2019). La posibilidad de un despliegue independiente es reconocido como uno de los mayores beneficios en el desarrollo con arquitectura de microservicios (Soldani et al., 2018). Existen algunos dominios con características en particular, ahí fue de suma importancia adoptar un modelo de gobernanza centralizada (Bogner et al., 2019), a pesar de que existe un grado considerable de autonomía, las decisiones finales eran responsabilidad de un equipo primario. De igual forma también se reporta que algunas organizaciones optan por un greenfield approach que indica la libertad de la reconstrucción total de un sistema (Bogner et al., 2019). Después se tiene conway's law mencionado explícitamente, dicha ley impone muchos principios mencionados anteriormente para lograr una independencia satisfactoria (Kalske et al., 2018; Zhang et al., 2019). En la Figura 11 se muestran los diversos modelos de organización y el número de estudios.

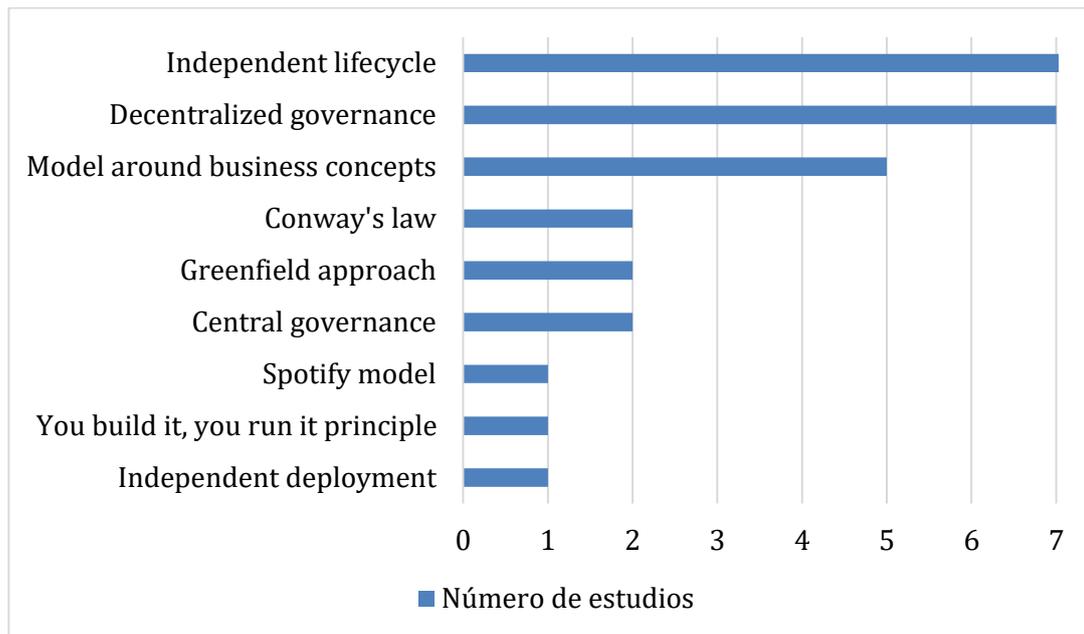


Figura 11 Modelos de organización

6.1.4 Retos que conllevan las prácticas de los equipos en el desarrollo

Tomar la decisión de adoptar una arquitectura de microservicios conlleva varios factores que tienen que enfrentar los equipos de desarrollo. El cambio que existe no solamente impacta nivel técnico o de diseño, también implica una transformación organizacional como se ha mencionado anteriormente. Dicho cambio en las organizaciones trae consigo retos en las habilidades de los desarrolladores que se pueden observar en la Figura 12. De primera instancia cuando las organizaciones quieren migrar a microservicios, se encuentran con la necesidad de tener equipos integrados por desarrolladores con habilidades específicas o práctica con este tipo de sistemas (Bogner et al., 2019; Buchgeher et al., 2017; Fritzsche et al., 2019; Ghofrani & Bozorgmehr, 2019; Kalske et al., 2018; Luz et al., 2018; O'Connor et al., 2016; Ponce et al., 2019; Sousa et al., 2020; Taibi, Lenarduzzi, & Pahl, 2017; Waseem & Liang, 2017; Zhang et al., 2019). El cambio de mentalidad también es uno de los retos que se enfrentan los desarrolladores (Ahmad et al., 2018; Bogner et al., 2019; Di Francesco et al., 2018; Fritzsche et al., 2019; Ghofrani & Bozorgmehr, 2019; Kalske et al., 2018; Ponce et al., 2019), debido a que el estilo arquitectónico con el que suelen trabajar implica un flujo de trabajo diferente al de microservicios. También se enfrentan retos que tienen que ver con la complejidad de los sistemas (Di Francesco et al., 2019, 2018; Fan & Ma, 2017; Garriga, 2018; Lotz et al., 2019), siguiendo esta línea, igual se encuentran con la dificultad a la hora de las pruebas (Ghofrani & Bozorgmehr, 2019; Soldani et al., 2018; Taibi, Lenarduzzi, & Pahl, 2017; Waseem & Liang, 2017). Otro de los retos hallados es la necesidad de desarrolladores con experiencia en el desarrollo basado en servicios (Buchgeher et al., 2017; Zhang et al., 2019), Zhang et al. Reporta que la decisión de que partes de un monolito deberían separarse en servicios, fueron tomadas por desarrolladores con experiencia en el área (Buchgeher et al., 2017). Al final se encuentran retos que tienen que ver con la coordinación de los equipos de desarrollo (Gundelsby, 2018; Salah et al., 2016) y la estructura de la organización. Los equipos de desarrollo deben sincronizarse de manera adecuada, para no interferirse durante el trabajo y que cause una baja productividad (Premchand & Choudhry, 2018).

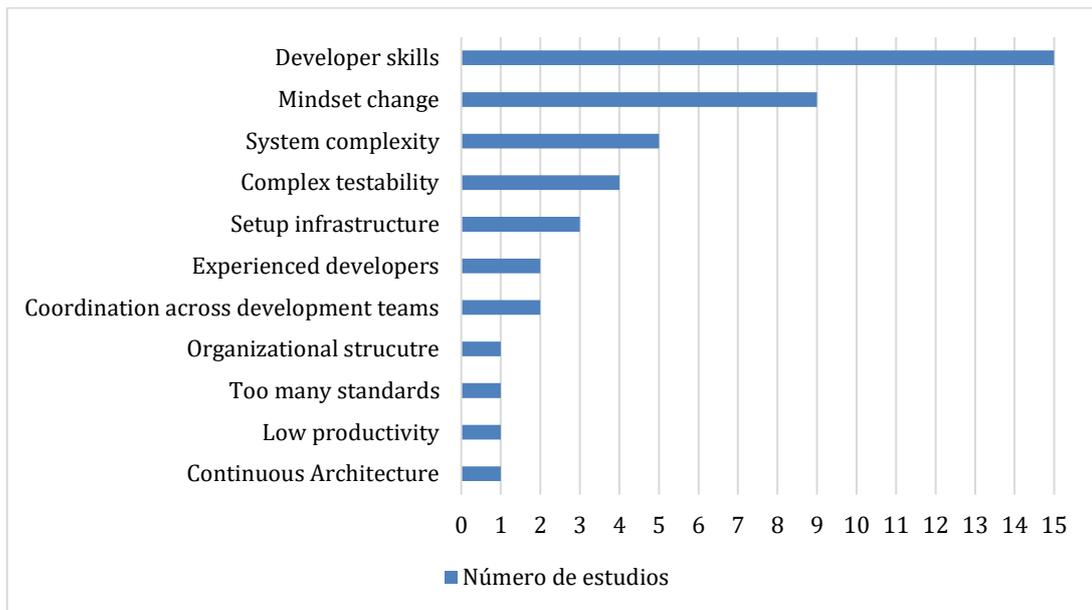


Figura 12 Retos relacionados con las habilidades

Como se mencionó anteriormente, la descomposición durante el desarrollo de microservicios es una de las prácticas más frecuentes, pero lograr una descomposición exitosa conlleva sus retos. En 12 estudios se reporta como un problema encontrar la estrategia de descomposición adecuada, Luz et al. Reportaron que el principal reto enfrentado durante la adopción es la capacidad de entender cual es la manera correcta de descomponer un monolito (Luz et al., 2018). Por otra parte, al tener varios microservicios se encuentra el reto de saber cual es el límite de cada uno (Di Francesco et al., 2018; Garriga, 2018; Gundelsby, 2018; Luz et al., 2018; Ponce et al., 2019; Soldani et al., 2018) este punto tiene que ver con la granularidad de los servicios, identificar que tan grande o que tan pequeño debe de ser, no es una tarea fácil. En organizaciones que tienen sistemas grandes o muy complejos, la capacidad de entenderlos es otro de los problemas que se reportan en la literatura (Di Francesco et al., 2018; Fritsch et al., 2019; Zhang et al., 2019). En este sentido, también se puede hallar el alto acoplamiento que pueden tener los componentes existentes de un sistema (Di Francesco et al., 2018)(Salah et al., 2016). Por último, una descomposición inadecuada puede traer consigo una independencia caótica, esto significa una serie de retos durante todo el ciclo de vida, desde la incapacidad para poder agregar funciones sin afectar a otros servicios, hasta el despliegue de los mismos, en este punto también se encuentra lo que es la dificultad de integrar los diversos microservicios. La Figura 13 muestra los retos mencionados anteriormente.

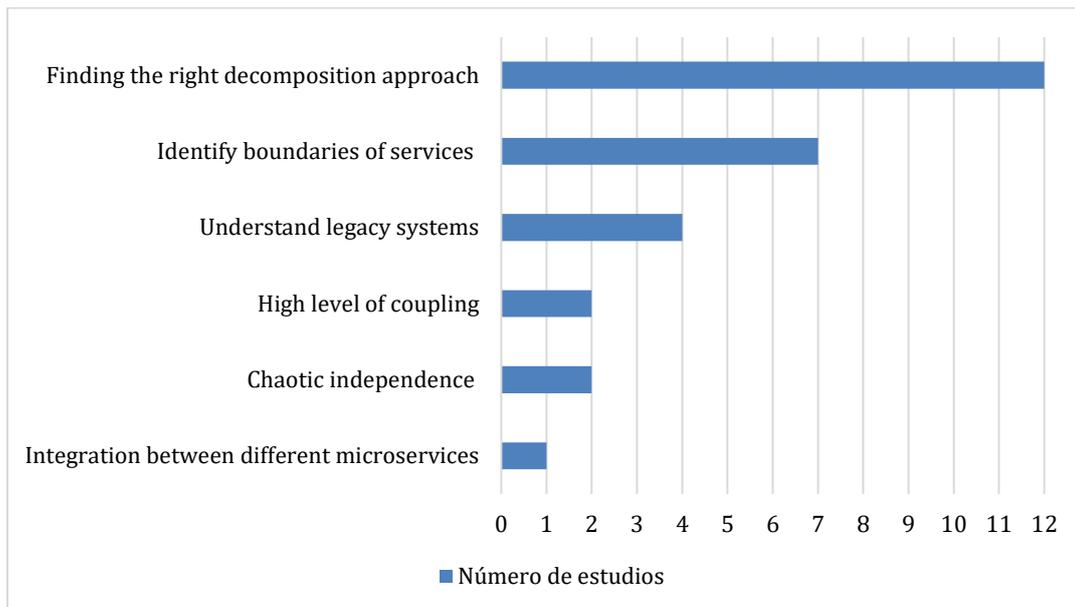


Figura 13 Retos en la descomposición

7. DISCUSIÓN

Los resultados de la revisión de la literatura muestran que la arquitectura de microservicios es un estilo arquitectónico que han adoptado las organizaciones durante los últimos años para resolver las problemáticas en sus dominios específicos. Para la inclusión de estudios, los años 2015 al 2020 fueron definidos ya que es cuando el tema de microservicios empezó a tener auge. A pesar de que el año 2020 cuenta con un número bajo de estudios recuperados, esto sucede debido a los criterios que se tienen que cumplir para ser incluidos en esta investigación, sin embargo, en la literatura se encuentran diversos trabajos que abordan el tema de microservicios y apunta a que seguirán en aumento. Se analizaron los estudios para responder las preguntas de investigación, los datos relevantes fueron extraídos con una herramienta para análisis de datos cualitativos. Dicha herramienta también fue utilizada durante la síntesis de información y posteriormente exportados a una hoja de cálculo para facilitar su lectura. Con base en la información recolectada de los estudios, se analizó el estado del arte de los equipos de desarrollo con arquitectura de microservicios. Para responder la PI-1 se recolectaron características de los equipos mencionadas explícitamente en los estudios, los resultados muestran que las particularidades que ellos poseen están relacionadas con el problema a resolver y el modelo de organización que adopten. Los estudios abordan de manera implícita detalles de los equipos, mencionando que deben de ser pequeños y tener la suficiente capacidad cognitiva para desarrollar y mantener el servicio a su cargo. Para la PI-2 entre las prácticas reportadas se encuentran actividades que los equipos tienen que realizar con el cambio de paradigma, ya que la adopción de microservicios trae consigo un cambio cultural. De igual manera la descomposición es un tema recurrente, debido a que para adoptar este estilo arquitectónico debe de existir una separación de responsabilidades. Tomando en cuenta lo anterior los equipos optan por diversos enfoques de diseño que sirven para lograr un desarrollo exitoso. En cuanto a modelos de organización como respuesta a la PI-3 se encuentra dominante la descentralización y la independencia durante el ciclo de vida del servicio. El tener un sistema separado por capacidades de negocio se ajusta a los modelos independientes. Finalmente, entre los retos que responden la PI-4 se encuentra el factor humano, debido a la dificultad de adaptación, falta de habilidades y nuevas actividades que implican un cambio de mentalidad en los desarrolladores. De igual manera, durante la descomposición se encuentran diversos retos que deben de enfrentar los equipos de desarrollo, debido a que los sistemas pueden tener un alto nivel de acoplamiento o una alta complejidad que conlleva un serie de barreras.

Los hallazgos mencionados son relevantes para las personas que deseen investigar a profundidad acerca de la organización de los equipos en los microservicios, que prácticas realizan y que retos se pueden encontrar durante su desarrollo, ya que esta es una fuente bibliográfica en donde se recopila el estado del arte de dicho tema. Por último, cabe destacar que gran parte de los resultados obtenidos, no habían sido mencionados por trabajos relacionados y eso es debido a que el objetivo de este estudio fue analizar las diversas prácticas de los equipos de desarrollo de microservicios y hasta este momento no existía un estudio que abordara el tema de manera rigurosa como se realizó en este trabajo.

8. CONCLUSIÓN

En este estudio se buscó analizar las prácticas de los equipos que desarrollan sistemas con una Arquitectura de Microservicios. Las preguntas de investigación que se definieron se centran en las prácticas de los equipos que desarrollan este tipo de sistemas, así como los retos a los que se enfrentan. Se seleccionaron 26 estudios primarios que sirvieron para realizar una síntesis temática e identificar diferentes patrones. Entre uno de los descubrimientos se encuentra la tendencia de estudios relacionados con el desarrollo de microservicios. Las características de los equipos de desarrollo concuerdan con premisas ya mencionadas, pero dependiendo el dominio específico tienen que adaptarse. Se encontraron diversas prácticas que los equipos de desarrollo deben realizar en el ámbito cultural, en su forma de trabajo y durante la descomposición del sistema. De igual forma se resalta la importancia de un modelo de organización que brinde un nivel de independencia deseado. También es importante considerar todos los retos que conlleva el desarrollo con microservicios, debido a que el factor humano juega un papel muy importante respecto a las habilidades y cambio de mentalidad necesario. Los hallazgos que se han detectado pueden servir para diversas líneas de investigación como: El análisis de las estrategias de descomposición y cual es la adecuada, profundizar en las prácticas DevOps que proporcionan el mayor beneficio a los microservicios, proponer un marco de trabajo para estandarizar la organización del desarrollo de manera explícita. Los resultados que aquí se presentan pueden crear conciencia en profesionales del desarrollo de software sobre los cambios en las prácticas y organización de los equipos que el desarrollo de Microservicios trae consigo, así como los retos a los que se tendrían que enfrentar en la adopción de este estilo arquitectónico. Para los investigadores, nuestro estudio puede ser una base para estudios que deseen profundizar en los aspectos a nivel organizacional en la adopción del desarrollo de sistemas con una Arquitectura de Microservicios y proponer soluciones a los diferentes retos identificados. Por lo anterior, se ve como trabajo futuro un análisis de literatura gris, así como otro tipo de estudios empíricos, incluyendo encuestas y entrevistas, que profundicen en los hallazgos aquí descritos, así como el desarrollo de guías y otro tipo de artefactos que aborden los retos aquí descritos.

9. REFERENCIAS

- Ahmad, N., Naveed, Q. N., & Hoda, N. (2018). Strategy and procedures for Migration to the Cloud Computing. 2018 IEEE 5th International Conference on Engineering Technologies and Applied Sciences (ICETAS), 1–5. <https://doi.org/10.1109/ICETAS.2018.8629101>
- AWS. (2020). Deployment Strategies - Introduction to DevOps on AWS.
- Bogner, J., Fritsch, J., Wagner, S., & Zimmermann, A. (2019). Microservices in Industry: Insights into Technologies, Characteristics, and Software Quality. 2019 IEEE International Conference on Software Architecture Companion (ICSA-C), 187–195. <https://doi.org/10.1109/ICSA-C.2019.00041>
- Bucchiarone, A., Dragoni, N., Dustdar, S., Larsen, S. T., & Mazzara, M. (2018). From Monolithic to Microservices: An Experience Report from the Banking Domain. *IEEE Software*, 35(3), 50–55. <https://doi.org/10.1109/MS.2018.2141026>
- Buchgeher, G., Winterer, M., Weinreich, R., Luger, J., Wingelhofer, R., & Aistleitner, M. (2017). Microservices in a Small Development Organization. En A. Lopes & R. de Lemos (Eds.), *Software Architecture* (pp. 208–215). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-65831-5_15
- Conway, M. E. (1968). How do committees invent. *Datamation*, 14(4), 28–31.
- Cruzes, D. S., & Dyba, T. (2011). Recommended Steps for Thematic Synthesis in Software Engineering. 2011 International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement, 7491, 275–284. <https://doi.org/10.1109/ESEM.2011.36>
- Di Francesco, P., Lago, P., & Malavolta, I. (2019). Architecting with microservices: A systematic mapping study. *Journal of Systems and Software*, 150(April), 77–97. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2019.01.001>
- Di Francesco, P., Lago, P., & Malavolta, I. (2018). Migrating Towards Microservice Architectures: An Industrial Survey. 2018 IEEE International Conference on Software Architecture (ICSA), 29–2909. <https://doi.org/10.1109/ICSA.2018.00012>
- Dieste, O., Grimán, A., & Juristo, N. (2009). Developing search strategies for detecting relevant experiments. *Empirical Software Engineering*, 14(5), 513–539. <https://doi.org/10.1007/s10664-008-9091-7>
- Dybå, T., & Dingsøy, T. (2008). Empirical studies of agile software development: A systematic review. *Information and Software Technology*, 50(9), 833–859. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.infsof.2008.01.006>
- Fan, C.-Y., & Ma, S.-P. (2017). Migrating Monolithic Mobile Application to Microservice Architecture: An Experiment Report. 2017 IEEE International Conference on AI & Mobile Services (AIMS), 109–112. <https://doi.org/10.1109/AIMS.2017.23>
- Fowler, S. J. (2016). *Production-Ready Microservices: Building Standardized Systems Across an Engineering Organization* (1st ed.). O'Reilly Media, Inc.
- Francesco, P. Di, Malavolta, I., & Lago, P. (2017). Research on Architecting Microservices: Trends, Focus, and Potential for Industrial Adoption. 2017 IEEE International Conference on Software Architecture (ICSA), 21–30. <https://doi.org/10.1109/ICSA.2017.24>

- Fritzsche, J., Bogner, J., Wagner, S., & Zimmermann, A. (2019). Microservices Migration in Industry: Intentions, Strategies, and Challenges. 2019 IEEE International Conference on Software Maintenance and Evolution (ICSME), 481–490. <https://doi.org/10.1109/ICSME.2019.00081>
- Garriga, M. (2018). Towards a Taxonomy of Microservices Architectures. En A. Cerone & M. Roveri (Eds.), *Software Engineering and Formal Methods* (pp. 203–218). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-74781-1_15
- Ghofrani, J., & Bozorgmehr, A. (2019). Migration to Microservices: Barriers and Solutions. En H. Florez, M. Leon, J. M. Diaz-Nafria, & S. Belli (Eds.), *Applied Informatics* (pp. 269–281). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-32475-9_20
- Gundelsby, J. H. (2018). Enabling autonomous teams in large-scale agile through architectural principles. *Proceedings of the 19th International Conference on Agile Software Development: Companion*, 1–4. <https://doi.org/10.1145/3234152.3234183>
- Hassan, S., Bahsoon, R., & Kazman, R. (2020). Microservice transition and its granularity problem: A systematic mapping study. *Software: Practice and Experience*, 50(9), 1651–1681. <https://doi.org/10.1002/spe.2869>
- Idoughi, D., Abdelouhab, K. A., & Kolski, C. (2017). Towards a microservices development approach for the crisis management field in developing countries. 2017 4th International Conference on Information and Communication Technologies for Disaster Management (ICT-DM), 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICT-DM.2017.8275679>
- Kalske, M., Mäkitalo, N., & Mikkonen, T. (2018). Challenges When Moving from Monolith to Microservice Architecture. En I. Garrigós & M. Wimmer (Eds.), *Current Trends in Web Engineering* (pp. 32–47). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-74433-9_3
- Larrucea, X., Santamaria, I., Colomo-Palacios, R., & Ebert, C. (2018). Microservices. *IEEE Software*, 35(3), 96–100. <https://doi.org/10.1109/MS.2018.2141030>
- Lotz, J., Vogelsang, A., Benderius, O., & Berger, C. (2019). Microservice Architectures for Advanced Driver Assistance Systems: A Case-Study. 2019 IEEE International Conference on Software Architecture Companion (ICSA-C), 45–52. <https://doi.org/10.1109/ICSA-C.2019.00016>
- Luz, W., Agilar, E., de Oliveira, M. C., de Melo, C. E. R., Pinto, G., & Bonifácio, R. (2018). An experience report on the adoption of microservices in three Brazilian government institutions. *Proceedings of the XXXII Brazilian Symposium on Software Engineering - SBES '18*, 32–41. <https://doi.org/10.1145/3266237.3266262>
- O'Connor, R. V., Elger, P., & Clarke, P. M. (2016). Exploring the impact of situational context. *Proceedings of the International Conference on Software and Systems Process*, 6–10. <https://doi.org/10.1145/2904354.2904368>
- Pahl, C., & Jamshidi, P. (2016). Microservices: A Systematic Mapping Study. *Proceedings of the 6th International Conference on Cloud Computing and Services Science*, 1(Closer), 137–146. <https://doi.org/10.5220/0005785501370146>
- Ponce, F., Márquez, G., & Astudillo, H. (2019). Migrating from monolithic architecture to microservices: A Rapid Review. 2019 38th International Conference of the Chilean Computer Science Society (SCCC), 1–7. <https://doi.org/10.1109/SCCC49216.2019.8966423>

- Premchand, A., & Choudhry, A. (2018). Architecture Simplification at Large Institutions using Micro Services. 2018 International Conference on Communication, Computing and Internet of Things (IC3IoT), 30–35. <https://doi.org/10.1109/IC3IoT.2018.8668173>
- Salah, T., Jamal Zemerly, M., Chan Yeob Yeun, Al-Qutayri, M., & Al-Hammadi, Y. (2016). The evolution of distributed systems towards microservices architecture. 2016 11th International Conference for Internet Technology and Secured Transactions (ICITST), 318–325. <https://doi.org/10.1109/ICITST.2016.7856721>
- Soldani, J., Tamburri, D. A., & Van Den Heuvel, W.-J. (2018). The pains and gains of microservices: A Systematic grey literature review. *Journal of Systems and Software*, 146, 215–232. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2018.09.082>
- Sousa, P. S. de, Nogueira, N. P., Santos, R. C. dos, Maia, P. H. M., & Souza, J. T. de. (2020). Building a prototype based on Microservices and Blockchain technologies for notary's office: An academic experience report. 2020 IEEE International Conference on Software Architecture Companion (ICSA-C), 122–129. <https://doi.org/10.1109/ICSA-C50368.2020.00031>
- Srikaew, P., & Kim, I. (2017). A microservice development for document management system. 2017 4th International Conference on Computer Applications and Information Processing Technology (CAIPT), 1–4. <https://doi.org/10.1109/CAIPT.2017.8320721>
- Taibi, D., Lenarduzzi, V., & Pahl, C. (2017). Processes, Motivations, and Issues for Migrating to Microservices Architectures: An Empirical Investigation. *IEEE Cloud Computing*, 4(5), 22–32. <https://doi.org/10.1109/MCC.2017.4250931>
- Taibi, D., Lenarduzzi, V., Pahl, C., & Janes, A. (2017). Microservices in agile software development. 1–5. <https://doi.org/10.1145/3120459.3120483>
- Wang, Y., & Kadiyala, H. (2020). Promises and Challenges of Microservices : an Exploratory Study. 1–45.
- Waseem, M., & Liang, P. (2017). Microservices Architecture in DevOps. 2017 24th Asia-Pacific Software Engineering Conference Workshops (APSECW), 13–14. <https://doi.org/10.1109/APSECW.2017.18>
- Waseem, M., Liang, P., & Shahin, M. (2020). A Systematic Mapping Study on Microservices Architecture in DevOps. *Journal of Systems and Software*, 170, 110798. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2020.110798>
- Zhang, H., Li, S., Jia, Z., Zhong, C., & Zhang, C. (2019). Microservice Architecture in Reality: An Industrial Inquiry. 2019 IEEE International Conference on Software Architecture (ICSA), 51–60. <https://doi.org/10.1109/ICSA.2019.00014>

NOTAS BIOGRÁFICAS



Alan González Heredia actualmente es estudiante de Ingeniería de Software en la Universidad Veracruzana, se encuentra realizando prácticas profesionales e impulsando prácticas de Ingeniería de Software en Intel Corporation. Sus áreas de interés son la Ingeniería de Software, el Diseño y la Arquitectura de software.



Jorge Octavio Ocharán Hernández es Doctor en Ciencias de la Computación por la Universidad Veracruzana y Maestro en Ingeniería de Software por la misma institución, posee además el título de Máster en Software Libre: Administrador de Redes y Sistemas Operativos por la Universitat Oberta de Catalunya y de Ingeniero en Tecnologías Estratégicas de la Información por la Universidad Anáhuac Campus Veracruz. Actualmente es profesor de tiempo completo de la Facultad de Estadística e Informática de la Universidad Veracruzana en donde realiza actividades de docencia, tutoría, vinculación e investigación desde 2017. Es miembro de la Association for Computing Machinery y de la IEEE Computer Society. Sus áreas de interés son la Ingeniería de Software, el Diseño y la Arquitectura de Software, la Ingeniería de Requisitos y los Aspectos Humanos de la Ingeniería de Software. Es un entusiasta del Software Libre y de Fuente Abierta.



María de los Ángeles Arenas Valdés es Maestra en Ciencias Computacionales por la Fundación Arturo Rosenbluth, México. Licenciada en Informática por la Universidad Veracruzana. Actualmente es profesor en la Facultad de Estadística e Informática de la Universidad Veracruzana. Sus intereses se centran en temas relacionados con la Ingeniería de Software, en especial con la Ingeniería de Requisitos.



Karen Cortés Verdín es Doctora en Ciencias de la Computación Doctorado y Maestra en Ingeniería de Software por el Centro de Investigación en Matemáticas (CIMAT) A.C. en Guanajuato México. M.Sc Information Systems Engineering, por la University of Manchester Institute of Science and Technology (UMIST), Manchester Reino Unido. Actualmente es profesora de tiempo completo en la Licenciatura en Ingeniería de Software de la Universidad Veracruzana (UV), en Xalapa Veracruz México. Cuenta con diplomados en Enseñanza Superior, Propiedad Intelectual, Redes, Diseño Curricular y Habilidades del Pensamiento. Sus áreas de interés son Líneas de Productos de Software, Arquitecturas de Software, Orientación a Aspectos, Orientación a Concerns, Calidad de Software y Procesos de Software.



Esta obra está bajo una [licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 2.5 México](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/mx/).

Perspectiva docente sobre tecnología en tiempos del COVID-19 en México

The teachers' perspective on technology at the time of the COVID-19 in Mexico

Adriana Peña Pérez Negrón¹
adriana.pena@cucei.udg.mx

Carlo Giovannella²
carlo.giovannella@uniroma2.it

Aurora Espinoza Valdez¹
aurora.espinoza@academicos.udg.mx

Mirna Muñoz³
mirna.munoz@cimat.mx

David Bonilla Carranza¹
jose.bcarranza@academicos.udg.mx

Marcello Passarelli⁴
passarelli@itd.crn.it

¹Universidad de Guadalajara CUCEI

²University of Rome Tor Vergata & ASLERD

³Centro de Investigación en Matemáticas, A.C. Unidad Zacatecas

⁴Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto Tecnologie Didattiche

Resumen

La pandemia por el COVID-19 tomó al mundo por sorpresa en muchos aspectos. Uno de los campos más afectados es la educación, en México millones de estudiantes cambiaron al aprendizaje en línea de un día para otro. En este documento se presentan los resultados de un cuestionario aplicado a profesores universitarios con la finalidad de entender su percepción acerca de este cambio. Participaron 187 maestros, principalmente del estado de Jalisco (51%) y al menos un profesor de 25 de los 32 estados de la República Mexicana. Los principales resultados muestran que, con esta experiencia, los profesores han cambiado su perspectiva acerca de la educación en línea, mostrando su interés por utilizar esta modalidad en el futuro, y considerándola sustentable y viable. Sin embargo, también extrañan el salón de clase; la falta de laboratorios y la interacción personal, y la desigualdad económica son las principales desventajas de la educación a distancia.

Palabras clave: cursos en línea, actividades de aprendizaje, profesores universitarios.

Abstract

The COVID-19 pandemic took the world off guard in many aspects. One major field affected is education, in Mexico millions of students switched from the classroom to distance learning. In this paper are presented results from a questionnaire applied to Mexican university professors, aimed to understand their perception how prepared we were for the switch. One hundred eighty-seven professors participated, mainly from the state of Jalisco (51%), and at least one of the 25 of the 32 Mexican states responded. Main results show that after this experience, teachers changed their perspective to the online education, showing their intent on rely more on the technology in the future, and considering it as sustainable and viable. However, they also miss classrooms; the labs, the personal interaction, and economical issues are the main drawback of the online education.

Keywords: online courses, learning activities, college professors.

1. Introducción

La enfermedad COVID-19 ocasionada por el virus SARS-COV2 paralizó el mundo. Esta enfermedad tuvo su origen en Wuhan, Hubei, China en diciembre del 2019, por ese entonces la Comisión Municipal de Salud de Wuhan notifica sobre un conglomerado de casos de neumonía en la ciudad, que posteriormente se relacionan con el nuevo coronavirus. La Organización Mundial de la Salud (OMS) declara la epidemia del COVID-19 el día 11 de marzo del 2020 (OMS, 2020).

En México, el 27 de febrero del 2020 se confirma el primer caso. En los primeros días de marzo el gobierno mexicano implementa programas de prevención que contemplan medidas de aislamiento y distanciamiento social, el lavado de manos, y en algunos estados el uso de cubre-bocas. En el mismo mes de marzo, el día 17, se anuncia el cierre de toda actividad no esencial, y para el 27 de marzo oficialmente se cierran también las escuelas (Martínez y Gamboa, 2020; Villasís-Keever y García-Bolaños, 2020). En algunos estados como Guanajuato, Jalisco y Yucatán el cierre de las escuelas fue de la mano con las medidas de aislamiento, lo cual es secundado por algunos otros estados.

La pandemia ocasionó en México que millones de alumnos se vieran obligados a continuar sus estudios de manera remota; este cambio tuvo que hacerse de un día para otro. Sin preparación previa, profesores y alumnos han ido improvisando sobre la marcha. En este contexto el uso de herramientas tecnológicas ha sido clave para la transición.

No obstante, así como en las clases presenciales, varios y diversos factores tienen injerencia en la calidad del proceso educativo en línea, que involucran no solo la infraestructura tecnológica, sino además cuestiones sociales y psicológicas.

De momento es imposible conocer el impacto y las implicaciones que la pandemia del COVID-19 tendrá sobre la educación, muchas de ellas con fundamento en las diferencias culturales y sociales de la comunidad académica (Martínez y Gamboa, 2020; Giovannella y Passarelli, 2020), que están directamente ligadas a la aplicación de la tecnología.

La experiencia adquirida en el programa mexicano “Telesecundaria”, para llevar educación a través de la televisión a áreas rurales que no tenían suficientes maestros (de acuerdo con la OCDE el 93% de los mexicanos cuentan con televisión), dio pie a la implementación de manera emergente del programa “Capacita TV” (Gouédard y Viennet, 2020). Aunado a este esfuerzo, se crearon objetos de aprendizaje disponibles en línea mediante el programa “Aprende en Casa”. Estos esfuerzos coordinados por la Secretaría de Educación Pública (SEP) tienen la finalidad de dar cobertura a nivel nacional a la educación obligatoria (preescolar, primaria, secundaria y nivel medio superior), que comprende hasta antes de entrar a la universidad.

Un factor importante a recalcar en cuanto a educación en línea es que en México las normas referentes a la educación a distancia están principalmente enfocadas a su promoción y no a su regulación (Corona y Méndez, 2020). Los esfuerzos, aunque loables no presenta la calidad de una educación presencial, además de incrementar el sesgo que frente a la pobreza presenta la educación en México (Martínez y Gamboa, 2020).

En referencia a la educación superior, de acuerdo con un reporte presentado por la SEP con base en información reportada por las universidades estatales públicas, las acciones frente a la pandemia de estas entidades educativas incluyen el diseño de aplicaciones digitales y materiales informativos, diseño e implementación de campañas de concientización, producción de equipo y materiales sanitarios, servicios de asesoría sanitaria, psicológica, nutricional y jurídica, y capacitación a trabajadores de la salud (SEP, 2020).

Aun cuando la mayoría de las Instituciones de Educación Superior (IES), adoptaron diferentes medidas para continuar con la educación en modalidad a distancia, es innegable que habrá un efecto negativo en el aprendizaje de los alumnos. También aquí las instituciones y los alumnos más vulnerables serán seguramente en los que desafortunadamente, dicho impacto negativo sea más fuerte. Paradójicamente también habrá impactos positivos, ya que el uso de tecnologías digitales en la educación seguramente se quedará para formar parte de contenidos, estructura y formas (Malo Álvarez, Maldonado-Maldonado, Gacel-Ávila, y Marmolejo, 2020).

Una gran cantidad de información se ha publicado en referencia al impacto del COVID-19. En cuanto a educación superior, en DAAD (2020) se puede encontrar una lista de estudios a este respecto, con un apartado dedicado especialmente a Latinoamérica. Todos los análisis y estudios de esta época representarán evidencia que en el futuro servirá para identificar la universalidad y las peculiaridades de cada contexto (Giovannella y Passarelli, 2020).

Particularmente en el ámbito universitario en México, Maldonado Gómez et al. (2020) presentan un análisis comparativo del impacto de la virtualidad en el desarrollo del proceso de enseñanza entre universidades de México y Argentina mediante un cuestionario aplicado a 206 profesores y estudiantes de ambos países, de los cuales solo el 12% fueron maestros. El documento no especifica cuántos maestros de la muestra pertenecen a México. Entre los resultados, se detectó que el 65% de los maestros mexicanos estuvo de acuerdo en la infraestructura y acompañamiento institucional del acceso a recursos tecnológicos, el 41% dijo tener problemas de adaptación y el 65% consideró como incorrecto el proceso de aprendizaje. En términos generales, los números en las encuestas son similares para ambos países. De acuerdo con los autores, tanto para México como para Argentina se encontró la necesidad de incrementar el factor humano y buscar alternativas para trabajar con el estrés y la angustia que generaron las clases a distancia.

Sánchez Mendiola et al. (2020), llevaron a cabo una encuesta para maestros de bachillerato, licenciatura y posgrado de la Universidad Nacional Autónoma de México con 383 respuestas, de las cuales el 73.4% fue de maestros a nivel licenciatura. En las respuestas se encontró que poco más del 60% está de acuerdo con el tipo de apoyo institucional recibido. Entre los principales problemas reportados están los relacionados con la *logística* como, por ejemplo, manejo de tiempo, horarios de clase, espacio físico para trabajar; *tecnología*, como lo relacionado con acceso a Internet, disposición de equipo de cómputo, conocimiento de plataformas educativas; pedagogía, conocimiento de herramientas para educación a distancia, envío de tareas y actividades, por ejemplo; y *socio-afectivos*, que representan aspectos emocionales, en ese orden de frecuencia.

2. Transición de la práctica docente

Trasladar la oferta educativa al esquema en línea requiere de la formación docente en diferentes aspectos pedagógicos y tecnológicos. En una primera instancia se esperaría que, debido al cambio repentino de presencial a virtual, los profesores presenten una tendencia a optar por reproducir las prácticas de los salones de clase en las clases virtuales e ir las modificando en un proceso adaptativo a las características de la modalidad en línea.

Las prácticas docentes dentro del aula es el quehacer tanto del profesor como de los alumnos que, en función de los objetivos de enseñanza, inciden directamente en el aprendizaje de los alumnos (García Cabrero, Loredó Enríquez y Carranza Peña, 2008). Dichas prácticas se pueden mantener, hasta cierto punto, en la transición hacia la educación a distancia. Sin embargo, las características particulares, ventajas y desventajas de la comunicación mediada por computador (CMC), afectarán a éstas en una adaptación paulatina. La CMC permite, además de la comunicación síncrona, una comunicación asíncrona y, por ejemplo, permite grabar las sesiones, no obstante, se pueden presentar intermitencias en la conexión, fallas de luz, e incluso falta de espacios apropiados en el hogar para atender las lecciones.

Al no haber interacción personal con los alumnos, el profesor debe modificar también su forma de entender un contexto escolar diferente. En el aula física, el profesor aprende a ver la reacción de sus alumnos, los conoce y pone atención a ellas adaptando la enseñanza. En un entorno virtual, en muchas ocasiones, es imposible mantener el vídeo abierto. La presencia social tan importante como apoyo en el aprendizaje, vinculada a la construcción del espacio en el que alumnos y profesores interactúan y se expresan, debe cuidarse y fomentarse mediante diferentes medios cuando se trata de entornos en línea.

Así mismo, la construcción de un entorno para el aprendizaje genera presencia cognitiva. Para fortalecerla en la modalidad a distancia es importante mantener una comunicación fluida, que incluye comunicación escrita (Garrison, Anderson y Archer, 2000), que a su vez requiere fortalecimiento.

Por otro lado, el profesor requiere diseñar y planear el aprendizaje, además de monitorearlo y evaluarlo, para dar retroalimentación a los alumnos. Esta presencia docente en entornos virtuales debe mantenerse constantemente haciendo uso de las ventajas que ofrece la tecnología, y que, sin embargo, requieren de un esfuerzo extra de los participantes.

En este contexto, la experiencia del docente tanto pedagógica como en el ámbito tecnológico, representa un importante impacto que seguramente afectará la percepción sobre el uso de la tecnología tanto en el docente como en el alumno.

En este documento se presentan el análisis y los resultados de un cuestionario desarrollado por la Asociación para Ecosistemas de Aprendizaje Inteligente y Desarrollo Regional (ASLERD, por sus siglas en inglés), cuyo objetivo principal es auxiliar escuelas y ecosistemas de aprendizaje para promover sistemas inteligentes (*Smart learning*) a fin de conseguir el bienestar de las personas involucradas en el proceso de enseñanza. ASLERD es una asociación europea (<http://www.aslerd.org>). El cuestionario fue traducido del inglés al español y adaptado para México.

El cuestionario tiene la finalidad de entender la percepción de los maestros en cuanto a su preparación para el cambio de clases presenciales a clases en línea, su percepción en cuanto al apoyo institucional recibido para la transición, y el uso de tecnologías digitales. El cuestionario en México se aplicó a maestros universitarios.

El estudio fue lanzado a nivel nacional. Sin embargo, cabe resaltar que de las 187 respuestas recibidas el 51% corresponde al estado de Jalisco. No obstante, se obtuvieron al menos una respuesta de 25 de las 32 entidades federativas de México, lo que representa un 78% del territorio nacional. El cuestionario se aplicó durante el mes de septiembre del 2020, en este mes las universidades ya habían cerrado el primer ciclo escolar del año y en su mayoría tenían menos de un mes de haber iniciado el segundo ciclo escolar. Esto incluye un periodo vacacional en el que muchos profesores tuvieron oportunidad de capacitarse para la transición.

Es importante mencionar que parte de los resultados obtenidos en este estudio fueron publicados en un comparativo entre tres países Italia, México e Iraq (Giovannella et al. 2021). Sin embargo, en este documento se presentan resultados detallados, incluyendo la transcripción del cuestionario, y análisis de la transición particularmente en México.

3. Método

Cuestionario.

El cuestionario, que puede consultarse en el Apéndice A, fue desarrollado con la herramienta Formularios Google y consta de tres partes. En un apartado inicial se informa a los participantes sobre el uso de los datos y se pide su autorización para utilizarlos de manera anónima para los participantes. La primera sección se refiere a antecedentes socio-biográficos, se solicitaron datos referentes a: género, edad, tipo de universidad (pública o privada), área de estudio en la que imparten sus materias, estado de la República en el que se encuentran y el nombre de la universidad en la que imparten clases.

La segunda sección consta de 36 preguntas, 21 de opción múltiple y 15 abiertas en las que se piden comentarios sobre algunas de las preguntas de opción múltiple. La finalidad de esta sección es conocer la percepción sobre cómo el ecosistema de aprendizaje respondió a la pandemia y las condiciones de operación a seis meses del cierre inicial de las escuelas.

La tercera sección contiene 39 preguntas, 19 de opción múltiple o respuesta numérica y 20 preguntas abiertas en las que se pide aclaración o comentarios sobre las 19 preguntas de opción múltiple. Esta sección tiene la finalidad de recabar información sobre cambios en la opinión de los docentes sobre las tecnologías, la enseñanza en línea y sus expectativas futuras al respecto. Todas las preguntas son opcionales, esto significa que no se obliga al participante a responder para continuar con el cuestionario.

Participantes.

El cuestionario fue socializado por los autores mediante correos electrónicos y redes sociales del 1 al 30 de septiembre del 2020. El cuestionario fue contestado por 187 profesores universitarios, 78 mujeres, 107 hombres y 2 personas que prefirieron no contestar, la mayoría de ellos de universidades públicas (88%). Los rangos de edad reportados son: 14 % de menores de 30 años, 30% tienen entre 30 y 40 años, 34% están en el rango de entre 40 y 50 años, 17% tienen entre 50 y 60 años, y solo el 5% son mayores de 60 años.

Los participantes dan clase en 19 áreas diferentes de enseñanza. Entre ellas destacan Ciencias de la Computación (40%), Ingeniería (22%) y Ciencias Básicas (Matemáticas, Física, Química y Ciencias Naturales 13%) lo que representa el 77% en áreas CTIM (Ciencias, Tecnología, Ingenierías y Matemáticas) o STEM (por sus siglas en inglés).

En cuanto a la localización regional, los participantes pertenecen a 25 diferentes estados de la República de los 32 que comprenden el territorio nacional. Los de mayor frecuencia son Jalisco (51%), Zacatecas (11%), Veracruz (7%), Estado de México (5%) y Guanajuato (5%).

Respecto a la fatiga, un participante no respondió la sección 3, y dos participantes dejaron la sección 3 después de responder 13 de las 19 preguntas. Hay participantes que no contestaron algunas preguntas de opción múltiple, pero continuaron contestando el resto del cuestionario.

El grueso del análisis de los resultados comprende todas las preguntas con respuestas con escala numérica y de opción múltiple, y un breve análisis sobre algunas preguntas abiertas que consideramos significativas.

3.1 Resultados

Los análisis de los resultados se dividen en tres partes. Primero se hace un análisis descriptivo de las respuestas de opción múltiple. En la segunda parte se hace un análisis de valores numéricos sobre la opinión de los maestros en cuanto a preparación para el cambio de presencial a virtual. La tercera parte contiene un análisis de las respuestas sobre la percepción de los maestros de las tecnologías y sus expectativas al respecto en el futuro.

3.1.1 Respuestas de opción múltiple

Esta sección comprende preguntas con respuesta en las que el participante seleccionó entre varias opciones su respuesta o respuestas.

Sección 2 condiciones de respuesta ante la pandemia.

El dispositivo que más utilizan los maestros para las clases a distancia es la laptop o computadora portátil (42%), seguida del celular (25%), las computadoras es un 20% y las tabletas es el de menor uso con un 10%. La mayoría de ellos se conecta a Internet por fibra óptica (58%) o ADSL (28%).

El tiempo que dedican a dar clases es de más de 4 horas para el 25% de los encuestados, 36% entre 2 y 4 horas, 30% entre 1 y 2 horas, y solo el 9% pasa menos de una hora dando clase. Además del tiempo de dar clase, las horas que dedican a actividades relacionadas con la docencia incluyendo sus clases es de menos de dos horas para el 10%, de entre 2 y 4 horas el 20%, entre 4 y 6 horas el 25%, entre 6 y 8 horas del 24% y el 21% dedica más de 8 horas al día a estas actividades (una respuesta en blanco).

A la pregunta ¿Cuánto tiempo te tomó acostumbrarte a la educación a distancia?, el 9% contestó que todavía no se acostumbra, mientras que al 32% le tomó menos de una semana, al 39% entre 1 y 2 semanas y al restante 21% más de 2 semanas.

Por último, los profesores consideran en su mayoría que las relaciones con colegas y administrativos han sufrido decremento (56%), aunque un 44% piensa que han mejorado en cuanto a calidad y número (tres respuestas vacías). Este dato llama la atención ya que se esperaría un mayor porcentaje de decremento en las relaciones, sin embargo, una buena cantidad de profesores considera que sus relaciones han mejorado.

En cuanto a las dificultades para llevar a cabo las actividades de educación a distancia con mayor frecuencia el 58% dijo tener problemas de mala conexión a Internet, el 26% dijo tener dificultades para comunicarse con los alumnos, y el 28% extraña el pizarrón (9 respuestas vacías). Como podemos observar la mala conexión a Internet representa uno de los problemas más significativos.

Sección 3 cambios de opinión sobre tecnología y enseñanza en línea.

Las siguientes preguntas tienen como parte del texto la frase “después de esta experiencia” para contextualizar el cambio de opinión.

Acerca de dar una experiencia educativa de alta calidad los usos de la tecnología como apoyo con mayor frecuencia son la producción de contenido (69.5%), compartir contenido (81%), llevar a cabo ejercicios (87%) y auto-evaluación (68%). La tecnología entonces permite principalmente compartir contenido y hacer ejercicios en línea. Lo que concuerda con la respuesta de los encuestados respecto a que la tecnología educativa permite mejorar principalmente el aprendizaje autónomo y auto-regulado (84%).

Sobre las competencias que han mejorado los maestros, entre las seleccionadas con mayor frecuencia están la producción de contenido en línea (65%), producción de contenido fuera de línea, y entornos de clase virtual (55.5% ambos), y herramientas para la comunicación digital (54%). Como se puede ver, la mejora de los profesores en el uso de la tecnología ha sido significativa, considerando el corto tiempo de adaptación.

De cara al futuro se les preguntó cómo preferirían continuar sus actividades, el 25% seleccionó el formato presencial frente al 66% de manera mixta, y solo el 8% preferiría continuar de manera totalmente virtual. Al parecer las ventajas que ofrece la tecnología, como evitar traslados, podría conformarse en una realidad que permita hacer uso de las dos modalidades.

De las diferentes prácticas relacionadas con actividades educativas, lecciones, ejercicios/prácticas, revisiones, exámenes escritor, y exámenes orales, se les preguntó si es mejor hacerlo de manera presencial o virtual. Las respuestas se pueden observar en el gráfico de la Figura 1, en donde podemos ver que para los exámenes escritos y los ejercicios los profesores prefieren la modalidad presencial, mientras que para el resto de las actividades prefieren la modalidad a distancia, aunque la preferencia no es muy marcada.

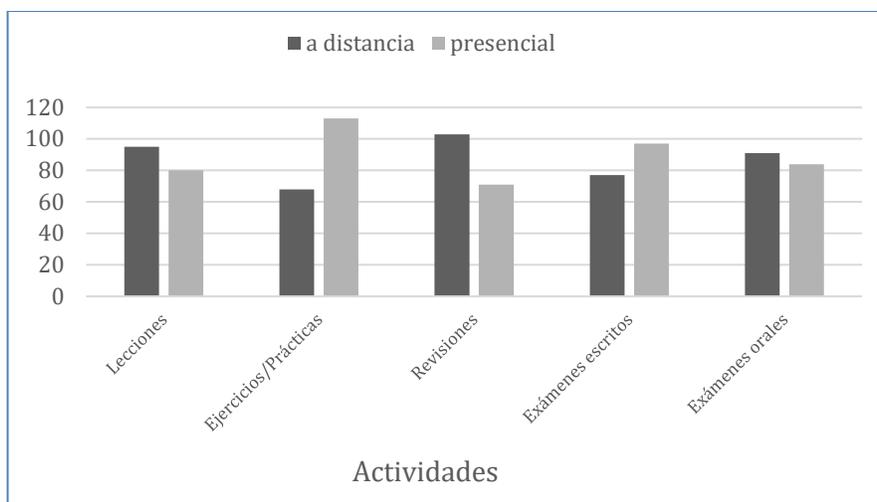


Figura 1: Frecuencia en la preferencia de modalidad por tipo de actividad

3.1.2 Respuestas de numéricas

En la siguiente Tabla 1 se presentan los resultados de la respuesta de opción numérica de la Sección 2 del cuestionario. La primera columna contiene las variables relacionadas con las preguntas, en la segunda columna están los valores promedio de las respuestas y entre paréntesis cuadrados el límite inferior y superior con 95% de confianza, y en la tercera columna se encuentra la desviación estándar.

De acuerdo con los datos de la Tabla 1, las universidades en una escala del 1 al 10 fueron calificadas con 6.36 en promedio en cuanto a su preparación para el cambio, más o menos los mismos datos que presenta la experiencia previa de los maestros para dar clases en línea (6.36). Sin embargo, su preparación tecnológica y pedagógica la consideran menor (5.4 y 5.48 respectivamente). También podemos observar que el incremento en la carga de trabajo es bastante significativo (58%), un porcentaje que se espera baje una vez establecidos los cambios iniciales.

Tabla 1. Respuestas Sección 2 (Condiciones de respuesta para el cambio)

Variable	μ [LIC, LSC]	σ
EPED - Experiencia previa en educación a distancia (1 a 10)	6.36 [6.70, 6.02]	2.34
PU - Preparación de la universidad para cambiar a educación en línea (1 a 10)	6.14 [5.82, 6.46]	2.22
TAEE - Tecnología adecuada para el entorno en línea (1 a 10)	7.20 [6.89, 7.53]	2.19
PTM - Preparación tecnológica de los maestros (1 a 10)	5.40 [5.09, 5.72]	2.16
PPM - Preparación pedagógica de los maestros (1 a 10)	5.48 [5.18, 5.77]	2.04
ICT - Incremento en la carga de trabajo (% con base 0)	0.58 [0.54, 0.62]	0.28
CMMT - Capacidad del maestro en el manejo del tiempo (-5 a +5)	0.55 [1.25, 1.71]	2.67
RDSC - Reproducción de las dinámicas del salón de clase (1 a 10)	5.57 [5.25, 5.90]	2.26
AELD - Actividad educativa: lección-debate (-5 a +5)	-0.63 [-0.99, -0.26]	2.51
AETI - Actividad educativa: transmisora-interactiva (-5 a +5)	0.56 [0.21, 0.91]	2.43
AEAS - Actividad educativa: asíncrona-síncrona (-5 a +5)	0.20 [-0.16, 0.57]	2.52
AEIC - Actividad educativa: individual-colaborativa (-5 a +5)	-0.56 [-0.97, -0.17]	2.73

μ = valor medio, LIC límite inferior de confianza, LSC límite superior de confianza, σ = desviación estándar

Las preguntas con escala del -5 al + 5 manejan indicadores opuestos. Por ejemplo, para CMMT (capacidad del maestro en el manejo del tiempo) en el extremo izquierdo es mucho peor (-5) y en el derecho, mucho mejor (5). En las actividades educativas (i.e., AELD, AETI, AEAS y AEIC) se indican los dos extremos en la descripción. Este tipo de preguntas tienen en general una muy pequeña tendencia (menos de 1 dígito) hacia uno de los dos extremos, y una desviación estándar muy alta de alrededor de 2 puntos y medio. La capacidad de manejo del tiempo (CMMT) es ligeramente mejor, se utiliza más la catedra que el debate, las actividades interactivas son mayores que las transmisoras, en menor grado son más síncronas que asíncronas, y se hace más trabajo individual que colaborativo. Lo cual en cierta forma coincide con la replicación de prácticas docentes en el salón físico.

La siguiente Tabla 2, presenta los resultados de la tercera sección del cuestionario dedicada a ver el cambio de opinión de los maestros en algunos rubros. Vemos que los profesores consideran que es más fácil que difícil hacer educación en línea (FEL) y que tienen una percepción alta sobre su utilidad (UEL, 7.75). En referencia a su percepción sobre la sustentabilidad y viabilidad de la educación en línea (SEE) presenta un 7.43 (dos puntos arriba del punto medio), los maestros sufrieron con la pandemia un cambio en su percepción (6.26) en cuánto a lo que era su experiencia educativa (CPEE). Vemos un buen grado de incremento en el interés en aprender tecnologías (IIAT, 7.82) y su intención de trabajar en el futuro en educación en línea (ICTE, 7.71). También le dan una buena puntuación a la relevancia de la educación pedagógica (RPM, 8.60) y a que la universidad la utilice (UEEU, 8.03). Han visto incrementadas sus competencias en tecnología educativa (ICTE, 7.48), aunque consideran que el grado de madurez digital para la educación de su universidad es más bajo (GMEU, 6.61). Todo esto a pesar de que extrañan las aulas físicas (EAF, 7.36).

Tabla 2. Respuestas Sección 3 (Cambio de opinión sobre tecnología y educación en línea)

Variable	μ [LIC, LSC]	σ
FEL - Facilidad de hacer educación en línea (1 a 10)	6.59 [6.30,6.89]	1.90
URL - Utilidad de hacer educación en línea (1 a 10)	7.75 [7.49,8.01]	1.80
SEE - Sustentabilidad y viabilidad de la educación en línea (1 a 10)	7.43 [7.16,7.71]	1.90
CPEE - Cambio en la percepción sobre su experiencia educativa (1 a 10)	6.26 [5.87,6.62]	2.57
IIAT - Incremento en el interés en aprender tecnologías (1 a 10)	7.82 [7.44,8.18]	2.58
ICTE - Incremento en las competencias tecnológicas educativas (1 a 10)	7.48 [7.15,7.81]	2.26
ITFEE - Intención de trabajar en el futuro en educación en línea (1 a 10)	7.71 [7.37,8.04]	2.29
RPM - Relevancia de la educación pedagogía del maestro (1 a 10)	8.60 [8.31,8.89]	1.92
UEEU - Uso de educación en línea de la universidad (1 a 10)	8.03 [7.75,8.31]	2.51
UEL - Uso de la educación en línea de las escuelas (1 a 10)	7.53 [7.23,7.84]	2.12
EAF - Extrañar aulas físicas (1 a 10)	7.36 [7.00,7.73]	2.53
GMEU - Grado de madurez digital de la educación de la universidad (1 a 10)	6.61 [6.28,6.92]	2.17

μ = valor medio, LIC límite inferior de confianza, LSC límite superior de confianza, σ = desviación estándar

3.1.3 Correlación entre variables

Los coeficientes de correlación Pearson más significativos encontradas, arriba del 0.50, son PU con TAEE (.68), PTM (.66) y PPM (.66), lo que significa que la preparación de la universidad para el cambio está correlacionada con el uso de una tecnología adecuada para el entorno en línea, y la preparación pedagógica y tecnológica de los maestros. A su vez TAEE está correlacionado con PTM (.56) y PPM (.55), esto es, la tecnología adecuada tiene relación con la preparación de los maestros tanto en tecnología como en pedagogía. Además, PTM y PPM tienen una fuerte correlación entre ellos (.81).

UEL está correlacionado con SEE (.71), esto es, la sustentabilidad y viabilidad de la educación en línea tiene correlación con su utilidad.

CPEE y IIAT también tienen correlación (.58), el cambio en la percepción de la experiencia educativa se relaciona con el incremento en el interés por aprender tecnologías. A su vez IIAT se correlaciona con ICTE (.63), lo que significa que el incremento en el interés por aprender está relacionado con el incremento en las competencias tecnológicas educativas de los maestros.

UEEU tiene un coeficiente de correlación del 0.57 con ITFEE y de 0.50 con RPM. Esto es, la percepción de los maestros de que las universidades deben hacer uso de la educación en línea, tiene correlación con su intención de trabajar en el futuro con educación a distancia y la relevancia de su educación pedagógica. Finalmente, UEL la consideración de usar la educación en línea en todas las escuelas está correlacionado también con UEEU (0.50), su uso en las universidades.

3.1.4 Red causal

Para un análisis de la causalidad, se realizó una estructura causal basada en el concepto de Pearl de d-separación (Hayduk et al., 2003), para establecer dependencia de variables. Este proceso establece la direccionalidad de la relación. Es importante puntualizar que este proceso permite un análisis exploratorio (Kalisch et al., 2012) y su uso debe reducirse a una interpretación tentativa. El algoritmo utilizado es el PC que se basa en pruebas estadísticas de independencia condicional sobre el conjunto de datos con el fin de poder identificar las relaciones de dependencia de las variables del modelo y así obtener un grafo causal. El nivel de significancia para la prueba de independencia condicional en este caso es $\alpha=0.05$.

Se encontraron 3 grafos conectados. La primer red causal se muestra en la Fig. 2, aquí se distingue el nodo UEEU por ser el que tiene más relaciones causales, éste corresponde a la percepción de los maestros en cuanto que tanto se deba hacer uso en las universidades de educación en línea después de la pandemia y la respuesta presenta una relación causal con EPED, RPM, UELE, e ITFEE (la experiencia de los maestros en educación en línea, la relevancia de la educación pedagógica, el uso de la educación en línea de las escuelas en general, y su intención de trabajar en el futuro en educación a distancia).

A su vez UEL (uso de la educación en línea) tiene injerencia en UEEU (uso de la educación en línea de las universidades). El grado de madurez digital de la educación de la universidad, GMEU es causado por FEL, la facilidad para hacer educación en línea. RPM, la relevancia de la pedagogía en los maestros y CPEE, el cambio en la percepción sobre la experiencia educativa. Por último, el incremento en el interés de aprender tecnologías IIAT, tiene una relación mutua tanto con ICTE como con CPEE (un incremento en las capacidades tecnológicas educativas y el cambio en la percepción sobre la experiencia educativa).

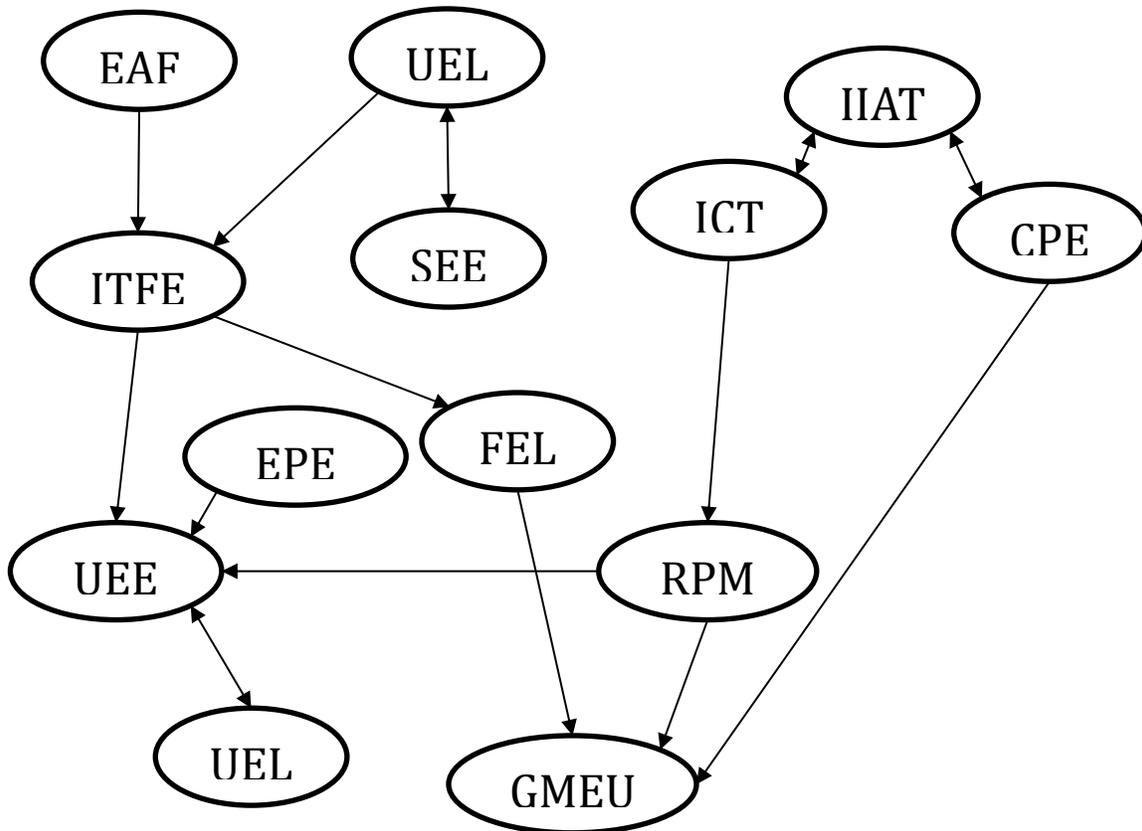


Figura 2: Red causal 1

En la segunda red, Fig. 3., el nodo con más relaciones es PU, (la preparación de la universidad para cambiar a la educación en línea) presenta relación causal con TAEE, PTM, ICT y PPM (tecnología adecuada, la preparación tecnológica y pedagógica de los maestros, y el incremento en la carga de trabajo).

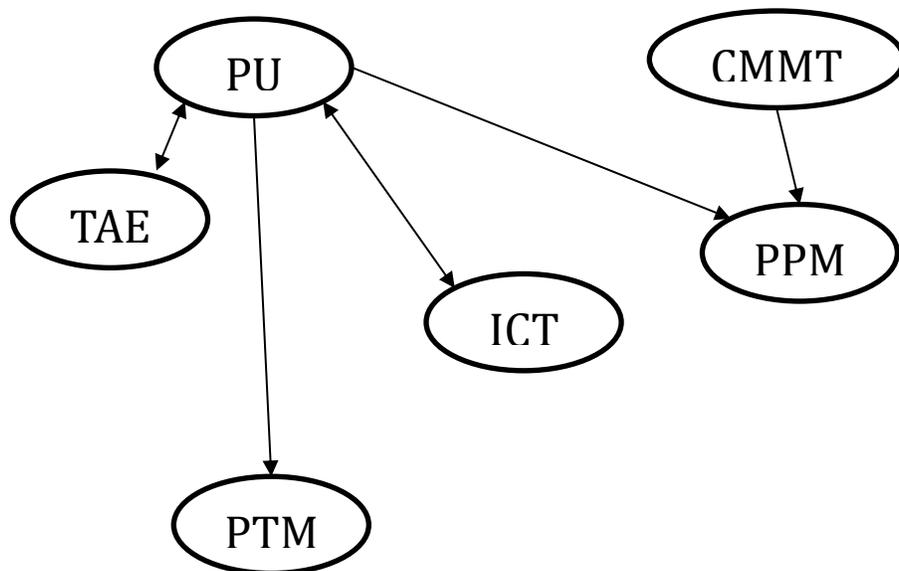


Figura 3: Red causal 2

La última red 3, Fig. 4, relaciona todas las actividades educativas (AEIC, AELD, AETI, AEAS) entre ellas y la RDSC (reproducción de dinámicas de clase presencial en la educación en línea) como causa de las actividades colectivas individuales-colaborativas.

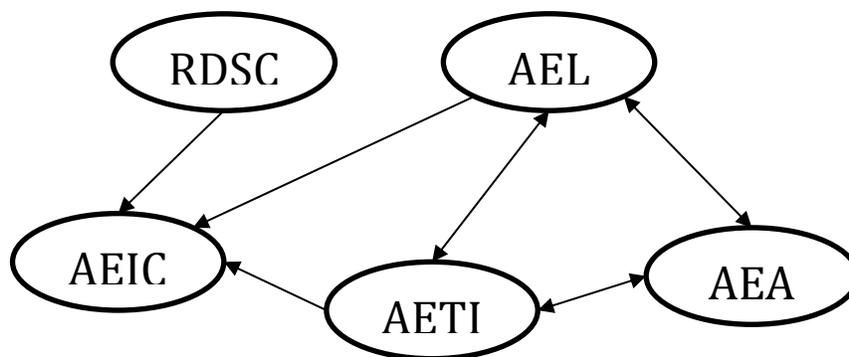


Figura 4: Red causal 3

3.1.5 Respuestas abiertas

En esta sección se seleccionaron algunas de las respuestas abiertas más significativas. Llama la atención la diferencia en el promedio entre lo preparado de la universidad para el cambio (PU, 6.14) y lo adecuado de la tecnología para la educación en línea (TAE, 7.20) entre las respuestas con puntuación mayor a seis en el TAE se encuentra el uso de plataformas para la educación consolidadas como Blackboard, Moodle y Google Classroom, aunado a la capacitación recibida por la universidad. Entre las respuestas con puntuación menor a seis, los maestros expresaron su falta de capacitación, y falta de recursos tecnológicos (equipo y conexión a Internet).

El problema de no poder organizar su tiempo (CMMT), en general se refieren al trabajo extra que se ocasiona en el hogar, como la atención a tareas domésticas y atención a los niños. Además, de la carga que representó en su momento digitalizar contenido.

Un problema recurrente en la evaluación en línea es que los alumnos se comunican entre ellos y se copian las respuestas. Por otro lado, no hay una tendencia clara sobre la mejoría o no de la relación entre los maestros y los alumnos, mientras que para algunos profesores ha mejorado la relación, otros consideran que ha empeorado y varios la consideran sin cambios. Lo mismo ocurre con la relación entre colegas.

Los maestros que extrañan las clases presenciales (EAF), reportan la falta de contacto social y no poder hacer uso del pizarrón. Otro factor importante parece ser la retroalimentación de los alumnos, su comunicación no verbal cuando entienden o no la explicación del maestro, algo que se pierde en las clases a distancia.

Los comentarios a la pregunta ¿Has experimentado problemas no abordados en el cuestionario? Algunos seleccionados fueron: *Ansiedad, soledad y depresión; Que sensación percibes de los estudiantes; Sí, los salarios bajos de la universidad...; Licencias de software; Sí, elaborar exámenes; Los problemas de la salud; Prestaciones de los alumnos; Algo que me ha preocupado mucho en este tiempo es la intimidad de los estudiantes y el profesor...; La cuestión de la motivación de los estudiantes; Problemas de cobertura en comunidades donde radican algunos alumnos; Si, existen niveles de estrés y ansiedad muy altos...; La capacitación y apoyo en la generación de materiales didácticos del docente...; Rediseñar los programas de estudio a un sistema mixto, semipresencial.* Además de mencionar problemas ya tratados como la mala conectividad, diferencias económicas, entre otros. Otros aspectos importantes son la ansiedad, depresión, problemas de salud, motivación. Finalmente, el tremendo esfuerzo que ha significado rediseñar los programas de estudio.

La última pregunta del cuestionario es ¿Qué consejos le darías a tus colegas con respecto a la educación a distancia? las palabras que sobresalen en frecuencia son paciencia, capacitación, adaptación, y herramientas que utilizan en el contexto de aprendizaje y la ayuda que éstas representan para las clases virtuales. La Fig. 4 muestra una nube de palabras más usadas, el tamaño denota su frecuencia.

Referencias

Corona, J. F. B., y Méndez, O. R. (2020). Educación virtual y su marco regulatorio en México ante la emergencia sanitaria por COVID-19. *Universos Jurídicos*, (14), 36-60. Disponible en <https://universosjuridicos.uv.mx/index.php/univerjuridicos/article/view/2561>

DAAD. (2020). Info & Services for Higher Education Institutions. Disponible en <https://www.daad.de/en/information-services-for-higher-education-institutions/centre-of-competence/covid-19-impact-on-international-higher-education-studies-and-forecasts/>

García Cabrero, B., Loredó Enríquez, J., & Carranza Peña, G. (2008). Análisis de la práctica educativa de los docentes: pensamiento, interacción y reflexión. *Revista electrónica de investigación educativa*, 10(SPE), 1-15.

Garrison, R., Anderson, T. & Archer, W. (2000). Critical Inquiry in a text based environment: Computer conferencing in higher education. *The Internet and higher education* 2 (2-3):87-105. Elsevier.

Gómez, G. M., de los Ángeles Miró, M., Stratta, A. E., Mendoza, A. B. M. A. B., & Zingaretti, L. (2020). LA educación superior en tiempos de Covid-19: análisis comparativo México-Argentina. *Revista de Investigación en Gestión Industrial, Ambiental, Seguridad y Salud en el Trabajo-GISST*, 2(2), 35-60.

Gouëdard, P., Pont, B., y Viennet, R. (2020). Education responses to COVID-19: Implementing a way forward. Disponible en https://www.oecd-ilibrary.org/education/education-responses-to-covid-19-implementing-a-way-forward_8e95f977-en

Giovannella, C., & Passarelli, M. (2020). The effects of the Covid-19 pandemic seen through the lens of the Italian university teachers and the comparison with school teachers' perspective.

Giovannella, C., Passarelli, M., Alkhafaji, A. S., & Peña Pérez Negrón, A. (2021). A comparative study on the effects of the COVID-19 pandemic on three different national university learning ecosystems as bases to derive a Model for the Attitude to get Engaged in Technological Innovation (MAETI). *Interaction Design and Architecture (s) Journal (IxD&A)*, 47.

Hayduk, L., Cummings, G., Stratkotter, R., Nimmo, M., Grygoryev, K., Dosman, D., ... y Boadu, K. (2003). Pearl's D-separation: One more step into causal thinking. *Structural Equation Modeling*, 10(2), 289-311. https://doi.org/10.1207/S15328007SEM1002_8

Kalisch, M., Mächler, M., Colombo, D., Maathuis, M. H., y Bühlmann, P. (2012). Causal inference using graphical models with the R package pcalg. *Journal of Statistical Software*, 47(11), 1-26. <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000049768>

Malo Álvarez, S., Maldonado-Maldonado, A., Gacel-Ávila, J., y Marmolejo, F. (2020). Impacto del COVID-19 en la educación superior en México. *Revista de Educación Superior en América Latina*, (8).

Martínez, Y. M., y Gamboa, L. A. A. (2020). Covid-19, Pobreza y Educación en Chiapas: Análisis a los Programas Educativos Emergentes. *Revista Internacional de Educación para la Justicia Social*, 9(3), 61-82. Disponible en https://scholar.google.com/scholar_url?url=https://revistas.uam.es/riejs/article/download/riejs2020_9_3_004/12298/33156&hl=es&sa=T&oi=gsb-ggp&ct=res&cd=0&d=1753343333261081386&ei=litaYITKKMyMywS60KzQCw&scisig=AAGBfm3KjOVHKbEqalmkFautzk8u8TVJWQ

Mendiola, M. S., Hernández, A., Torres, R., Carrasco, M., Romo, A., Mario, A., y Cazales, V. (2020). Retos educativos durante la pandemia de COVID-19: una encuesta a profesores de la UNAM. *Revista Digital Universitaria*, 21(3). Disponible en <https://www.revista.unam.mx/wp-content/uploads/a12.pdf>

Organización Mundial de la Salud. (2020). COVID-19: cronología de la actuación de la OMS. Disponible en <https://www.who.int/es/news/item/27-04-2020-who-timeline---covid-19>

Secretaría de Educación Pública. (2020). Acciones de las Instituciones de Educación Superior durante la emergencia sanitaria. Disponible en <https://educacionsuperiordurantecovid.anuies.mx/>

Villasís-Keever, M. Á., & García-Bolaños, C. (2020). <https://www.revista.unam.mx/wp-content/uploads/a12.pdf>. *Revista Mexicana de Pediatría*, 87(2), 43-45.

Apéndice A

Yoy la educación a distancia en tiempos del Covid-19 - cuestionario para profesor universitario

Debido al encierro y al cierre de las universidades que hemos sufrido en los últimos meses, este cuestionario tiene como objetivo conocer tu opinión sobre algunos aspectos de tu experiencia sobre la educación a distancia.

El cuestionario fue elaborado por ASLERD (the Association for Smart Learning Ecosystems and Regional Development) y es aplicado por profesores de la Universidad de Guadalajara y el CIMAT, Zacatecas.

Agradecemos tu tiempo, y en la medida de lo posible te solicitamos tus comentarios a las preguntas de opción múltiple y de escalas lineal. Los resultados nos permitirán hacer una profunda reflexión sobre tópicos relacionados con la educación a distancia

El cuestionario tiene 3 secciones:

- 1) Antecedentes socio-biográficos
- 2) Actividades actuales de educación a distancia
- 3) Tus opiniones sobre la educación a distancia actualmente

El cuestionario toma de 10 a 15 min si solo contestas las preguntas de opciones y de 20 a 25 min si contestas las preguntas abiertas.

1. El cuestionario es anónimo, no requiere datos personales. La información recabada será utilizada únicamente con fines de investigación. Por favor acepta para continuar si / no

Sección 1. Antecedentes socio-biográficos

2. Género *

F / M / Prefiero no contestar

3. Edad *

Menor de 30 años / Entre 30-40 años / Entre 40-50 años / Entre 50-60 años / Mayor de 60 años

4. Tipo de Universidad en la que impartes clases *

pública / privada / pública abierta / privada abierta

5. Área de estudios de las clases que impartes *

Agricultura Arquitectura y Diseño Economía / Farmacia Leyes Ingeniería Humanidades / Ciencias de la Educación

Medicina, Dentista y Ciencias de la Salud Veterinaria / Psicología / Matemáticas, Física, Química y Ciencias / Naturales Ciencias Políticas / Ciencias Sociales Estadística / Ciencias Computacionales / Otro:

6. Estado en el que se encuentra la Universidad *

7. Nombre de la Universidad

Sección 2. Actividades actuales de educación a distancia

8. En una escala del 1 (extremadamente limitada) a 10 (muy extensa), ¿cómo evalúas tu experiencia previa (antes de la pandemia) en cuanto a educación a distancia?
9. ¿Qué dispositivos estás usando para tus actividades de educación a distancia? (se pueden seleccionar varias opciones)
Celular / Tableta / Computadora Laptop
10. ¿Cómo te conectas a Internet?
Fibra óptica ultra rápida / Fibra óptica / ADSL / Celular / Satélite (LTE) / Other
11. Si has tenido dificultades para llevar a cabo las actividades de educación a distancia, ¿cuáles fueron las causas (se permite varias opciones)?
ninguna o poca disponibilidad de dispositivos (incluido si tienes que compartir con otros) dispositivos viejos u obsoletos / mala conexión (ancho de banda limitado) / contrato con límite de datos / el ambiente familiar no es apropiado / mi nivel limitado de habilidades digitales el uso muchos entornos/aplicaciones / procedimientos muy complicados para participar en las actividades educativas extraño el pizarrón / uso de entornos virtuales/aplicaciones que desconozco / ninguna o poca asistencia técnica (por parte de la universidad) / leyes de privacidad de datos (por ejemplo, Ley Federal de Protección de Datos) / dificultad para encontrar material para los estudiantes / dificultades para comunicarme con los estudiantes o colegas limitaciones para expresarme a través de canales en línea dificultades para concentrarme / problemas relacionados con la cámara (por ejemplo, mostrar un video, hablar frente a la cámara) / otro
12. Si contestaste "otro", por favor indica que dificultades adicionales has tenido, gracias.
13. Si contestaste "mi nivel limitado de habilidades digitales", por favor indica a qué habilidades te refieres, gracias.
14. En una escala del 1 (muy poco) al 10 (completamente), ¿Qué tan preparada estaba tu UNIVERSIDAD para reaccionar a la transferencia de actividades de educación en línea?
15. Si deseas explicar tu evaluación numérica previa hazlo en las siguientes líneas
16. ¿Qué tanto las TECNOLOGÍAS (entornos virtuales) que utilizó la UNIVERSIDAD fueron apropiadas para enfrentar las necesidades del proceso de educación en línea? 1 (muy poco) al 10 (completamente)
17. Si deseas explicar tu evaluación numérica, hazlo en las siguientes líneas.
18. ¿Cuánto tiempo te tomó acostumbrarte a la educación a distancia?
menos de 1 semana / entre 1 y 2 semanas / más de 2 semanas / todavía no me acostumbro
19. Si tu respuesta fue "todavía no me acostumbro", por favor indica las razones. Gracias
20. En tu opinión, ¿Qué tan preparados estaban los MAESTROS, desde el punto de vista tecnológico, para transferir sus actividades educativas de presencial a distancia? 1 (muy poco) al 10 (completamente)
21. Si deseas explicar tu evaluación numérica, hazlo en las siguientes líneas.
22. ¿Hasta qué punto los MAESTROS de tu universidad, desde el punto de vista de EDUCACIÓN, estaban preparados para transferir las actividades de presencial a distancia? 1 (muy poco) al 10 (completamente)
23. Si deseas explicar tu evaluación numérica, hazlo en las siguientes líneas.
24. En promedio ¿cuánto tiempo al día impartes CLASES en línea?
menos de 30 minutos / entre 30 minutos y una hora / entre 1 y 2 horas / entre 2 y 4 horas / más de 4 horas al día
25. En promedio ¿cuánto tiempo al día estás involucrado en TODAS las actividades relacionadas con educación a distancia?
menos de 30 minutos / entre 30 minutos y 1 hora / entre 1 y 2 horas / entre 2 y 4 horas / entre 4 y 6 horas / entre 6 y 8 horas / más de 8 horas al día

26. ¿Crees que las actividades de educación a distancia han incrementado el trabajo que le dedicas a las clases? Si es así, ¿en qué porcentaje?
0% / 10% / 20% / 30% / 40% / 50% / 60% / 70% / 80% / 90% / 100%
27. Por favor explica porqué.
28. ¿Has podido organizar tu tiempo y actividades mejor o peor que antes? ¿Qué tanto en una escala de -5 (mucho peor) a + 5 (mucho mejor)?
29. Si deseas explicar tu evaluación numérica, hazlo en las siguientes líneas.
30. En tu opinión, ¿qué tanto las actividades en línea reproducen la dinámica del salón de clases? (1 para nada, 10 completamente)
31. Si tu respuesta previa es menos de 6, ¿hasta qué punto piensas que esto es positivo y porqué?
32. ¿Existen actividades educativas, entre las que has tenido en este periodo, que consideres que no se pueden reproducir de manera presencial?
33. ¿En dónde colocarías las actividades educativas que atiendes en este periodo, en una escala entre dos extremos LECCIONES y DEBATES? (-5 solo lecciones a +5 solo debates)
34. ¿En dónde colocarías las actividades educativas que atiendes en este periodo, en una escala entre dos extremos TRANSMISIVAS e INTERACTIVAS? (-5 solo transmisiva a +5 solo interactiva)
35. ¿En dónde colocarías las actividades educativas que atiendes en este periodo, en una escala entre dos extremos ASÍNCRONA y SÍNCRONA? (-5 solo asíncrona a +5 solo síncrona)
36. ¿En dónde colocarías las actividades educativas que organizas en este periodo, en una escala entre dos extremos INDIVIDUAL y COLABORATIVA? (-5 solo individual a + 5 solo colaborativa)
37. Para las actividades educativas que organizas en este periodo, ¿qué propósitos tiene el uso de tecnologías? (se pueden seleccionar varios)
Producción de contenido / Compartir contenido / Dejar lecciones transmisiones (videoclips, películas, lecciones no interactivas) / Dejar lecciones interactivas (por ejemplo, webinars) / Asignar tareas/ejercicio para desarrollarse de forma asíncrona (por ejemplo, en casa) / Llevar a cabo ejercicios de manera síncrona (por ejemplo, en línea) / Comunicación síncrona y asíncrona con otros maestros / Comunicación síncrona y asíncrona con alumnos, colegas o administrativos / Personalización/adaptación / Diversificación educacional y metodológica / Colaboración y trabajo en equipo Socialización / Planeación de procesos y actividades educativas / Manejo de procesos y actividades educativas Evaluación / Auto-evaluación / Otra
38. Si tu respuesta fue "Otra", por favor indica para qué otros propósitos han sido usada la tecnología.
39. ¿Qué métodos de evaluación has adoptado? (se pueden seleccionar varios)
entrevista en línea / examen en línea / evaluación individual / para hacerse en casa trabajo individual / para presentarse en línea trabajo en equipo / para presentarse en línea otro
40. Si tu respuesta fue "otro", por favor indica qué otros métodos has adoptado
41. ¿Qué problemas encontraste durante las evaluaciones en línea y qué crees se podría hacer para solucionarlos?
42. ¿Podrías describir cómo ha cambiado tu relación con los estudiantes (si ha sido mejor o peor)?
43. Por favor describe cómo ha cambiado la relación con tus colegas (si ha ido a mejor o a peor)

44. En relación con colegas y administrativos, las relaciones se han incrementado y mejorado en cuanto a número y calidad / decrementado
45. ¿Podrías explicar por qué?

Sección 3. Tus opiniones sobre la educación a distancia actualmente

46. ¿Qué tan fácil es hacer educación a distancia? (1 nada, 10 completamente)
47. ¿Qué tan útil es hacer educación a distancia? (1 nada, 10 completamente)
48. ¿Qué tanto crees que la educación a distancia es sostenible y viable? (1 nada, 10 completamente)

49. Por favor explica tu evaluación numérica de la pregunta anterior

50. Después de esta experiencia, ¿con qué propósito considera que las tecnologías son útiles para proporcionar una experiencia educativa de alta calidad (varias opciones son posibles)?

Producción de contenido / Compartir contenido / Dejar lecciones transmisivas (videoclips, películas, lecciones no interactivas) / Dejar lecciones interactivas (por ejemplo, webinars) / Asignar tareas/ejercicio para desarrollarse de forma asíncrona (por ejemplo, en casa) / Llevar a cabo ejercicios de manera síncrona (por ejemplo, en línea) / Comunicación síncrona y asíncrona con otros maestros / Comunicación síncrona y asíncrona con alumnos, colegas y administrativos / Personalización/adaptación / Diversificación educacional y metodológica / Colaboración y trabajo en equipo Socialización / Planeación de procesos y actividades educativas / Manejo de procesos y actividades educativas Evaluación /Auto-evaluación / Otra

51. Si tu respuesta fue "Otra", por favor indica para qué otros propósitos es útil la tecnología.

52. Después de esta experiencia, en tu opinión la tecnología educativa permite mejorar: Eficacia del aprendizaje / Eficiencia del aprendizaje /Calidad en la experiencia de aprendizaje / Aprendizaje autónomo y auto-regulado / Desarrollo de sentido/pertenencia de comunidad / Desarrollo de interacciones / Desarrollo de una identidad digital / Diseño y manejo del proceso de aprendizaje / Otro

53. Si tu respuesta fue "Otro", por favor indica qué otros aspectos puede mejorar la tecnología.

54. Después de esta experiencia, ¿qué tanto ha cambiado tu IDEA de sobre la EXPERIENCIA EDUCATIVA? (1 nada, 10 completamente)

55. ¿Podrías explicar cómo? Gracias

56. Después de esta experiencia, ¿qué tanto se ha incrementado tu INTERÉS en APRENDER TECNOLOGÍAS? (1 nada, 10 completamente)

57. ¿Podrías explicar por favor por qué?

58. Después de esta experiencia, ¿qué tanto se han incrementado tus COMPETENCIAS en TECNOLOGÍA EDUCATIVA? (1 nada, 10 completamente)

59. ¿En qué área se han incrementado tus competencias? (se pueden seleccionar varias opciones)

Gráficas digitales / Edición de vídeo digital / Edición de fotografía digital Edición de sonido digital Diseño e impresión 3D / Producción de contenido fuera de línea / Producción de contenido en línea /Búsqueda y filtros críticos de contenido digital /Descarga, organización e intercambio de contenido digital / Procesamiento y visualización de información / Herramientas para comunicación digital / Entornos de trabajo en equipo / Productividad personal fuera de línea (por ejemplo, aplicaciones de oficina) / Productividad personal en línea (por ejemplo, herramientas Google) / Manejo de espacios personales digitales (entornos so / ciales, blogs, etc.) / Entornos de clase virtual / Herramientas digitales de evaluación / E-portafolio / Información de seguridad / Ética digital /Detección de plagio / Manejo de procesos y diseño /Tecnología de asistencia (por

ejemplo, para discapacidades) / Representación de conocimiento (por ejemplo, mapas, gráficos, etc.) / Herramientas de juegos o gamification / Manejo y uso de hardware básico

60. Después de esta experiencia, ¿cuál es tu opinión sobre la FORTALEZA de la educación a distancia?
61. Después de esta experiencia, ¿cuál es tu opinión sobre la DEBILIDAD de la educación a distancia?
62. Después de esta experiencia, ¿en qué forma preferirías continuar con tus actividades educativas universitarias?
presencial / a distancia / mixto o semi-presencial
64. Si seleccionaste "semi-presencial", ¿cómo imaginas la organización física de los espacios dedicados al aprendizaje?
65. En particular, después de esta experiencia crees qué es mejor realizar:
presencial o a distancia: Lecciones / Ejercicio/Prácticas / Revisiones/Exámenes escritora / Exámenes orales
67. Después de esta experiencia, ¿qué tanto estás dispuesto a considerar TRABAJAR en el FUTURO de MANERA REMOTA? (1 nada, 10 totalmente)
68. ¿Deseas explicar el valor numérico de la pregunta anterior?
69. Después de esta experiencia, ¿qué tanto crees que la "PEDAGOGÍA DIGITAL" y el conocimiento/práctica con las TECNOLOGÍAS EDUCATIVAS deberían formar parte de la caja de herramientas de los futuros profesores universitarios (1 para nada, 10 completamente)?
71. En tu opinión, ¿en qué medida deberían las UNIVERSIDADES utilizar actividades educativas en línea (1 para nada, 10 completamente)?
72. ¿Deseas explicar el valor numérico de la pregunta anterior?
73. En su opinión, ¿en qué medida deberían las ESCUELAS utilizar actividades educativas en línea (1 para nada, 10 completamente)?
75. ¿Cuánto extrañas las aulas físicas (10 completamente, 1 para nada)?
76. ¿Deseas explicar el valor numérico de la pregunta anterior?
77. En general, en una escala del 1 al 10, ¿cómo valorarías el nivel de MADUREZ DIGITAL (infraestructura + equipamiento + habilidades + gestión + visión) de tu Universidad?
78. ¿Deseas explicar el valor numérico de la pregunta anterior?
79. ¿Has experimentado problemas no abordados en este cuestionario y que quieras expresar? Gracias
80. En tu opinión, ¿cómo podría mejorarse la calidad de los procesos de educación en línea en los que participas?
81. ¿Qué consejos le darías a tus colegas con respecto a la educación a distancia?



Adriana Peña Pérez Negrón es doctora en Ingeniería de la Informática de la Universidad Politécnica de Madrid, España. Realizó una estancia investigación en la University of Salford, Reino Unido para la mención de “Doctor Europeo”

Actualmente es profesor investigador en el Departamento de Ciencias Computacionales del CUCEI de la Universidad de Guadalajara, México. Es responsable del Cuerpo Académico Informática Aplicada del Programa para el Desarrollo Profesional Docente. Sus principales líneas de investigación son la Realidad Virtual y el estudio del comportamiento en medios digitales.



Carlo Giovannella se graduó en Física, trabajo durante mucho tiempo en el estado sólido físico como experto en sistemas complejos. Hoy día se considera un ‘Diseñador para la experiencia’: experto en la mejora de tecnología para el aprendizaje, diseño de la interacción, comunicación mediada por computadora, diseño y manejo de procesos, procesos y producción de innovación, monitoreo de ecosistemas y mercadotecnia. Desde 2015 es presidente de ASLERD. Fue director científico del Área de Industrias Creativas del Consorzio Roma Ricerche del 2013 al 2016. Es miembro del Departamento de Historia, Patrimonio Cultural, Educación y Sociedad de la University of Rome Tor Vergata, en el que es presidente del ISIM_garage (Interfaces and Multimodal Interactive Systems), un laboratorio de investigación dedicado al diseño y desarrollo de TEL-environment, herramientas y métodos para educación, diseño de interacción y más.



Aurora Espinoza Valdez es doctora en Ciencias Aplicadas del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, México.

Actualmente es profesor investigador en el Departamento de Ciencias Computacionales del CUCEI de la Universidad de Guadalajara, México. Tiene el reconocimiento por el Sistema Nacional de Investigadores como Investigador Nivel I. Sus principales líneas de investigación son Biomatemáticas y aplicaciones de teoría de grafos.



Mirna Muñoz es Doctora en Informática por la Facultad de Informática de la Universidad Politécnica de Madrid, estancia posdoctoral en la Universidad Carlos III de Madrid. Actualmente es investigadora titular A del CIMAT- Unidad Zacatecas en Ingeniería de Software, tiene el reconocimiento por Sistema Nacional de Investigadores como Investigador Nivel I. Ha participado en la traducción oficial del libro CMMI-DEV v1.2 y 1.3, así como al perfil entrada ISO/IEC 29110 que desde mayo ha sido publicada como norma mexicana. Ha publicado diversos artículos técnicos en journals, capítulos Springer link y el libro IGI global, así como en congresos nacionales e internacionales de alto impacto en su área



David Bonilla Carranza es doctorando del programa de Electrónica y Computación del CUCEI de la Universidad de Guadalajara. Hizo su maestría en Tecnologías de la Información en la Universidad de Guadalajara CUCEA. Actualmente es profesor del Departamento de Ciencias Computacionales de la Universidad de Guadalajara. Es miembro fundador de COPSIJAL (Colegio de Profesionistas en Sistemas de Informática de Jalisco). Es cofundador de la plataforma INNOVUS WEB para el desarrollo de sistemas web. Fundador de la comunidad Taban.mx dedicada a la enseñanza y creación de video juegos. Su principal interés de investigación es la mejora de procesos del software a través de video juegos.



Marcello Passarelli es doctor en Psicología, Antropología y Ciencias Cognitivas. Es investigador en ITD-CNR desde el 2017. Sus intereses de investigación incluyen medidas implícitas, modelado estadístico y conocimiento social, con fuerte enfoque cuantitativo. Durante su estancia en ITD-CNR, trabajó en el proyecto H2020 Gaming Horizons, enfocado en el impacto social de los video juegos y la gamificación en el proyecto Erasmus+ CODUR para el aseguramiento de la calidad del e-learning en instituciones, en el proyecto Erasmus+ ENhANCE que diseñó un curriculum europeo de comunidades y familias de enfermeras.



Dimensión epistemológica aplicada a procesos de social media de un grupo académico de facebook

Epistemological dimension applied to social media processes of a facebook academic group

Paola E. Velazquez Solis¹
paola.velazquez@uabc.edu.mx

Brenda L. Flores-Rios¹
brenda.flores@uabc.edu.mx

¹Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali, Baja California, México.

RESUMEN

Las instituciones educativas están incorporando procesos de social media en sus estrategias, como una fuente de conocimiento a partir de la socialización entre los diversos roles. Es por ello que se buscan metodologías, como las empleadas en la Gestión de Conocimiento, que apoyen la integración de nuevos procesos a la dinámica de sus necesidades. En este documento, se emplea la metodología KoFI para identificar los elementos involucrados en la dimensión epistemológica y establecer una correspondencia entre los flujos de conocimiento con los procesos de social media y las herramientas tecnológicas que se utilizan para descubrir, recopilar, preparar y analizar los datos. Se concluye que la implementación de la Gestión de Conocimiento proporciona un complemento a la ejecución de las actividades de los procesos de social media, realizando una contribución teórica-práctica para la adopción de las redes sociales en la comunicación de un grupo académico. Así como analizar los contenidos compartidos y las publicaciones de Facebook en función al engagement.

PALABRAS CLAVE

Flujos de conocimiento, Dimensión epistemológica, Metodología KoFI, Procesos de social media, Redes sociales.

ABSTRACT

Educational institutions are incorporating social media processes in their strategies, as a source of knowledge from the socialization between the various roles. It is because of that methodologies are sought, such as those used in Knowledge Management, which supports the integration of new processes to the dynamics of their needs. In this document, the KoFI methodology is used to identify the elements involved in the epistemological dimension and establish a correspondence between the knowledge flows with the social media processes and the technological tools used to discover, collect, prepare and analyze data. It is concluded that the implementation of Knowledge Management provides a complement to execution of the activities of the social media processes, making a theoretical-practical contribution to the adoption of social networks in the communication of an academic group. As well as analyzing shared content and Facebook posts based on engagement.

KEYWORDS

Knowledge flows, Epistemological dimension, KoFI Methodology, Social media processes, Social networks.

1. INTRODUCCIÓN

El conocimiento es un recurso importante para que las organizaciones aumenten el aprendizaje organizacional, resuelvan problemas y desarrollen nuevos procesos desde el nivel individual hasta el interorganizacional (Dimensión ontológica) (Nisar et al., 2018). Así mismo, el conocimiento es un flujo en el que se mezclan las experiencias, valores, información contextual y puntos de vista de expertos que facilitan un marco de análisis para evaluar e incorporar nuevas experiencias e información (Flores-Rios, 2016). Los procesos organizacionales utilizan diversos canales de comunicación, tanto formales como informales, para almacenar y gestionar el conocimiento (Nisar et al., 2018). Según lo propuesto por diversos autores (Alavi & Leidner, 2003; Flores-Rios, 2016; Nonaka & Takeuchi, 1995), la utilidad de especificar diferentes tipos de conocimiento radica en comparar las ventajas que se derivan de cada uno de ellos. En la dimensión epistemológica (Nonaka & Takeuchi, 1995), se utilizan dos tipos de conocimiento: tácito y explícito. El conocimiento tácito es más complejo de articular debido a que surge por parte de la experiencia con relativa facilidad de una persona a otra (Flores-Rios, 2016). A diferencia del conocimiento explícito el cual se refiere al conocimiento representado por símbolos, números, palabras, fórmulas y es transferido para generar más conocimiento explícito o comunicado en un lenguaje para generar nuevo conocimiento tácito (Cantú Ballesteros et al., 2014; Flores-Rios et al., 2014; Nonaka & Takeuchi, 1995; Rodríguez-Elias & Martínez G., 2011). La Gestión de Conocimiento (GC) promueve un enfoque integrado para identificar, capturar, compartir, recuperar y evaluar todos los activos intangibles de las organizaciones, incluido el conocimiento explícito existente en las bases de datos, documentos y procedimientos (Nisar et al., 2018), así como el conocimiento tácito. Por lo tanto, el flujo de conocimiento se define como el conocimiento que es transferido de una persona o lugar, a otro, donde la transferencia del saber cómo, consiste en la experiencia que tiene valor estratégico para una organización (Erden et al., 2014; Flores-Rios, 2016; Giraldo Marín et al., 2021).

Una buena estrategia de GC consiste en orientar los esfuerzos de análisis de flujos de conocimiento a los aspectos de mayor impacto en la organización (Flores-Rios, 2016; Perez-Soltero et al., 2007) considerando los procesos de conocimiento para la aplicación, transferencia y evolución del conocimiento en la generación o innovación de productos y servicios (Claver-Cortes et al., 2008; Rodríguez-Elias & Martínez G., 2011). Esta nueva concepción identifica la necesidad de las organizaciones de cómo implementar estrategias, técnicas o herramientas de GC en las necesidades de conocimiento que se les presentan en las redes sociales (Narazaki et al., 2020). Un caso particular es el de los docentes o académicos de cualquier disciplina o cultura, están comenzando a impartir cursos a través de plataformas como redes sociales apoyados con las diferentes funcionalidades que brindan las herramientas disponibles, como Portal Home, Historias de voz y el almacenamiento en la nube de Facebook, con lo que se incentiva a los estudiantes a realizar una participación más activa. Propiciando la modificación de las prácticas tradicionales a los contenidos temáticos de los programas de enseñanza-aprendizaje en las instituciones educativas (Velazquez-Solis et al., 2021). La transparencia y acceso al contenido que se presenta en las redes sociales elimina la limitación de la GC, al tratar el conocimiento como un insumo, debido a que las contribuciones o publicaciones están disponibles para todos los usuarios que posean permisos de acceso a ellas. Cuando una herramienta tecnológica registra automáticamente cómo se realiza la interacción en plataformas digitales, captura el conocimiento tal como está integrado en la práctica, en lugar de preservarlo como una abstracción (Kane, 2017). Se ha observado que existe una relación entre los procesos de creación y la GC en ambientes de redes sociales y las características intrínsecas de los procesos de social media (Helms et al., 2017). Sin embargo, se considera de relevancia identificar cuáles otros tipos y procesos de conocimiento se asocian con los procesos de social media, partiendo de la diferencia entre las redes sociales y los social media.

Los social media se refiere a los espacios virtuales donde los usuarios comparten intereses, información, experiencias, material audiovisual, se incentiva la participación entre el comunicador y la audiencia, con el propósito de generar una conversación multidireccional, generar proyectos, integrar comunidades y diseñar nuevas formas de entretenimiento y acción social colectiva (Ureña et al., 2019); convirtiéndose en plataformas de cambio social (van Rooyen, 2020). Por otro lado, las redes sociales como Facebook, Instagram, Twitter, WhatsApp, son medios en los cuales las organizaciones recurren para comunicarse con su personal o como sociedad (Vranešević et al., 2019), caracterizadas por tener una base de usuarios amplia y heterogénea con participación intermitente. Se ha generado un crecimiento de servicios de datos y la necesidad de aprovechar el uso de técnicas y herramientas de social media en procesos educativos. Esta afirmación se basa en los resultados de un mapeo sistemático de literatura para la identificación de áreas de aplicación de arquitecturas de software basadas en modelos, técnicas y herramientas de social media (Velazquez-Solis et al., 2021) donde además, se identificaron las siguientes problemáticas en el análisis de flujos de conocimiento: 1) la interacción de los usuarios en las redes sociales requiere de un alto nivel de compromiso (Ballesteros Herencia, 2018) para obtener datos que realmente aporten valor en el análisis de los mismos; 2) los resultados estadísticos varían dependiendo de la cantidad de usuarios y sus interacciones; 3) la interpretación de un reporte generado por el análisis de datos requiere de una capacitación técnica por parte del arquitecto de software; y 4) la necesidad de documentar las experiencias del análisis de las interacciones de los usuarios en las redes sociales en función de los flujos de conocimiento y contexto del analista de redes sociales.

Por otro lado, se señala que existe una necesidad de recopilar información de la participación de los usuarios, considerando no solo la transparencia en los datos, sino también el riesgo en la predicción de sentimientos y el análisis de reacciones, emociones y opiniones (Mushtaq et al., 2018). A partir de la revisión de trabajos enfocados en Facebook (Arora et al., 2019; Ballesteros Herencia, 2018; Bazarova et al., 2015; Hu & Chen, 2016; Peruta & Shields, 2017) y el análisis de los contenidos en las publicaciones de Facebook, se identificó la medición del engagement en los medios digitales, como un valor cuantitativo de la interacción bidireccional entre las organizaciones y los usuarios de redes sociales (Oviedo-García, Muñoz y Castellanos, 2014). Por ello, conocer el engagement a través de la conducta mostrada por los usuarios mediante su actividad en las plataformas digitales, se obtienen con una serie de métricas, cuantificando variables como el número de visitas, el tiempo de permanencia, y el número de seguidores o clicks del tipo “Me gusta”, el compartir las publicaciones y los comentarios. Por lo anterior, la aportación de este trabajo es identificar los elementos involucrados dentro de la dimensión epistemológica, estableciendo una correspondencia entre los flujos de conocimiento con los procesos de social media y la identificación de herramientas tecnológicas que les brinden soporte. Así como, el *engagement* de los miembros de un grupo académico privado de Facebook.

Este documento está estructurado de la siguiente manera: en la sección 2 se describe un marco referencial para la conceptualización de dimensión epistemológica y los procesos de social media; en la sección 3 se presenta la descripción de la metodología KoFI implementada; la sección 4 expone los resultados obtenidos por medio de la especificación y modelado de los procesos de social media bajo un enfoque de flujos de conocimiento aplicado a un estudio de caso. Finalmente, la sección 5 presenta las discusiones y conclusiones del trabajo.

2. MARCO REFERENCIAL

Dimensión epistemológica

La creación de conocimiento organizacional se representa por medio de dos dimensiones: epistemológica y ontológica (Nonaka & Takeuchi, 1995). Específicamente, en la dimensión epistemológica el proceso de creación de conocimiento es un proceso dinámico e interactivo, donde el modelo SECI (por las iniciales de cuatro formas de conversión del conocimiento: Socialización, Exteriorización, Combinación e Interiorización) tiene como objetivo conocer cómo se genera nuevo conocimiento y cómo se relacionan entre sí (Palacios Ospina, 2017) dentro de la espiral de conocimiento a través de las cuatro formas de conversión del conocimiento (Nonaka & Takeuchi, 1995). Se distingue la conversión del conocimiento tácito a tácito (Socialización), de conocimiento tácito a explícito (Exteriorización), de conocimiento explícito a explícito (Combinación) y de conocimiento explícito a tácito (Interiorización) (Díaz Ayon, 2019; Nonaka & Takeuchi, 1995). La Figura 1 visualiza el modelo SECI identificando los cuatro diferentes patrones de interacción, en los cuales el conocimiento existente es convertido en un nuevo conocimiento tácito y/o explícito (Nonaka & Takeuchi, 1995).



Figura 1. Modelo de procesos de conocimiento. Adaptado de: (Alavi & Leidner, 2003; Flores-Rios, 2016; Nonaka & Takeuchi, 1995)

Actualmente, los social media brindan un conjunto de herramientas tecnológicas para la colaboración de equipos de trabajo y el intercambio de conocimiento (procesos de Exteriorización e Interiorización) para una comunicación e interacción fluida entre los miembros de la organización (Socialización) y representan un depósito de conocimiento de código abierto (Ali et al., 2020) necesario en el proceso de Combinación. Esto último, relacionado con otros procesos de conocimiento como el de organización, almacenamiento, codificación y recuperación (Flores-Rios, 2016). Como trabajo relacionado en aplicaciones educativas, se observó cómo el estudio de Díaz Ayon, a partir del modelo SECI identificó la relación de las fases del modelo en el desarrollo de nuevos proyectos o mejora de los servicios en el área de tecnología de las universidades privadas de Lima, Perú (Díaz Ayon, 2019). Del mismo modo, Mora García et al., analizó cómo se gestiona el conocimiento en las universidades públicas Colombianas, y de esta manera identificar los elementos que dan el sustento necesario para proponer estrategias que permitan crear un modelo de GC (Mora García & De la Cruz Chima, 2018). Giraldo Marin et al., buscaron en un contexto institucional aplicar una metodología que guía estratégica y sistemáticamente el desarrollo de procesos de visibilidad nacional e internacional de la Universidad de Medellín (Giraldo Marín et al., 2021).

Procesos de social media y las redes sociales

La tecnología de los social media es una combinación de diferentes recursos que incluyen las redes sociales, wikis, (micro) blogs, marcadores sociales, plataformas de contenido, entre otros, los cuales poseen características distintivas que apoyan los diversos procesos de conocimiento (Helms et al., 2017). La diferencia entre un social media y una red social es que la primera se enfoca en el uso de tecnologías para hacer interactivo el diálogo entre personas; mientras que una red social es una estructura social formada por personas que comparten de manera virtual sus intereses similares (Alawamleh & Murthy, 2020). Tanto los social media, las redes sociales y los espacios virtuales son mecanismos de interacción (fan page, grupos cerrados, abiertos, públicos, privados, blogs, páginas personales), canales de comunicación con un alcance y potencial de impacto mucho mayor que cualquiera de los otros medios tradicionales, y con la capacidad de interacción y dinamismo superior a cualquiera de los otros medios de comunicación habituales (Briciu & Briciu, 2021).

El análisis de datos por social media es una herramienta para extraer conocimiento originado en las redes sociales (Helms et al., 2017). El conocimiento obtenido del análisis de estos datos proporciona un conocimiento vivenciado a partir de diversos tipos de interacción, reacción y relación entre varias personas en las redes sociales (Chakraborty et al., 2018). Existen cuatro procesos básicos de social media (Figura 2): el descubrimiento de los datos (Mushtaq et al., 2018), la recopilación, la preparación y el análisis de datos (Goyal & Goyal, 2020; Gupta & Gupta, 2016). Los autores del trabajo relacionado resaltan la importancia de determinar el dominio de conocimiento y de dónde se obtienen los datos para su análisis, debido a que la mayor parte de los desafíos por parte de los investigadores aún se encuentran durante este proceso (Liu et al., 2016; Meng et al., 2020). La Figura 2 presenta las actividades asociadas a cada uno de los procesos.

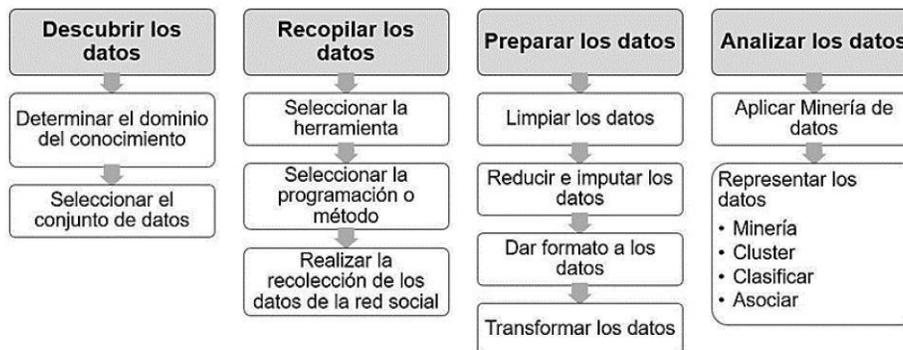


Figura 2. Procesos de social media con sus correspondientes actividades. Adaptado de: (Goyal & Goyal, 2020; Gupta & Gupta, 2016; Meng et al., 2020; Mushtaq et al., 2018)

3. METODOLOGÍA

La metodología KoFI (por sus siglas de Knowledge Flow Identification), propuesta por Rodríguez-Elias (2007), define los lineamientos para la identificación y análisis de flujos de conocimiento en los procesos organizacionales, bajo un proceso iterativo e incremental que se puede retroalimentar de una fase a cualquier otra del modelo. Se compone por cuatro fases (Flores-Rios, 2016; Giraldo Marín et al., 2021; Rodríguez-Elias & Martínez G., 2011): 1) especificar el proceso a analizar y los roles que participan en el proceso; 2) modelar el proceso con enfoque en flujos de conocimiento; 3) analizar el flujo de conocimiento; y 4) analizar las herramientas de soporte al flujo de conocimiento.

La Figura 3 muestra a detalle como la fase 1 define el proceso a analizar, las actividades, los roles y herramientas involucrados, los procedimientos que se utilizan y los documentos o resultados obtenidos en la ejecución de las actividades. En la fase 2, se modela el conocimiento requerido y generado durante las actividades del proceso. La fase 3 permite distinguir las fuentes y los tipos de conocimiento, flujos de conocimiento y las problemáticas en el flujo. Por último, en la fase 4 se realiza un análisis de las herramientas que apoyen los procesos de conocimiento para integrarlas dentro de la eficiencia o automatización del flujo de conocimiento (Cantú Ballesteros et al., 2014; Flores-Rios, 2016; Giraldo Marín et al., 2021; Rodríguez-Elias, 2007) o brindando solución a las necesidades de conocimiento.

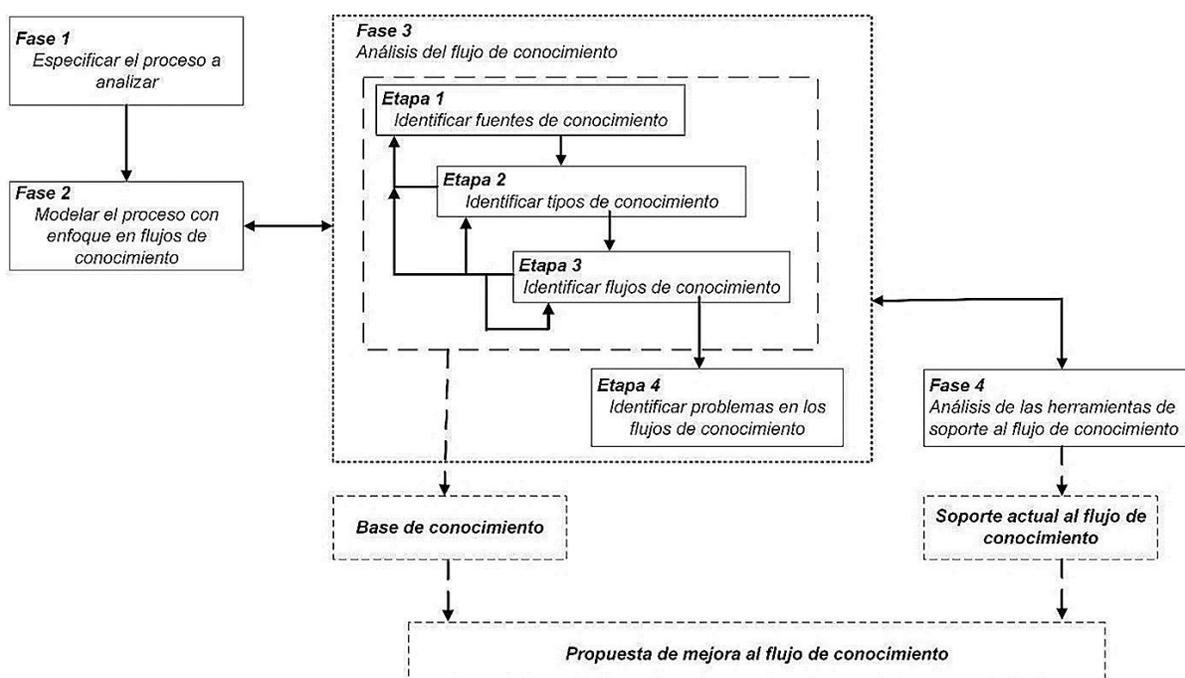


Figura 3. Metodología KoFI. Adaptado de: Flores-Rios (2016)

Para esta investigación, se tomó como estudio de caso un grupo cerrado (privado) de Facebook del programa educativo relacionado con Tecnologías de Información de la Universidad Autónoma de Baja California (GFIC) creado en enero de 2012. El propósito del GFIC es brindar información relacionada a las actividades de los procesos académicos y anuncios, dirigido a 882 miembros conformados por: estudiantes vigentes y no vigentes, egresados y docentes pertenecientes del programa educativo y grupos de interés.

4. IMPLEMENTACIÓN

Fase 1. Especificar el proceso a analizar y roles

En esta fase se detectaron los roles involucrados en la aplicación de los procesos de social media. La caracterización de los roles, el proceso y el conocimiento son parte de la actividad de determinar el dominio de conocimiento del proceso de descubrir los datos (Figura 2). En la Figura 4 se visualizan los roles obtenidos: el Analista de redes sociales, el Social Media Community Manager, el Coordinador de redes sociales y el Director de redes sociales. Una de las principales tareas de estos roles es que apoyen en mejorar la participación de la comunidad, interactúen con los usuarios (fans, miembros, seguidores), desarrollen una presencia en las plataformas de redes sociales seleccionadas y fomenten comunidades externas. Así mismo, generen un mayor compromiso e iniciativas de alcance para involucrar a la comunidad de manera activa y receptiva. El resultado de esta fase es la selección del conjunto de datos para el periodo de enero a junio 2021, como un reporte semestral de interacciones dentro de la red social Facebook y la especificación del conocimiento tácito y explícito representada bajo el ícono de corchetes (Figura 4).



Figura 4. Modelado de roles y tipos de conocimiento identificados

Fase 2. Modelar el proceso con enfoque en flujos de conocimiento

Para identificar las fuentes de conocimiento del proceso se utilizó el modelado global del ciclo de conocimiento propuesto por (Choo, 1999) por medio de la simbología de gráfica rica adaptada (Flores-Rios, 2016), el cual vincula la teoría de la organización, las Ciencias de la información y las cognoscitivas, con los propósitos de la GC. De esta manera, en la Figura 5 se presenta la identificación de los elementos de percepción, la cual comprende la red social Facebook con las estadísticas obtenidas de las interacciones de los usuarios (API de Facebook), las herramientas de hojas de cálculo, análisis estadístico de datos (SPSS, Anaconda Python, RStudio) (Velazquez-Solis et al., 2021), los procesos para el análisis de datos (Figura 2) y los cuatro roles obtenidos de la fase anterior. Esta fase permitió recopilar los datos del GFIC en la red social Facebook y seleccionar las herramientas tecnológicas requeridas (Hojas de cálculo, SPSS, RStudio y Anaconda Python) y el método de social media (Analizar contenido).

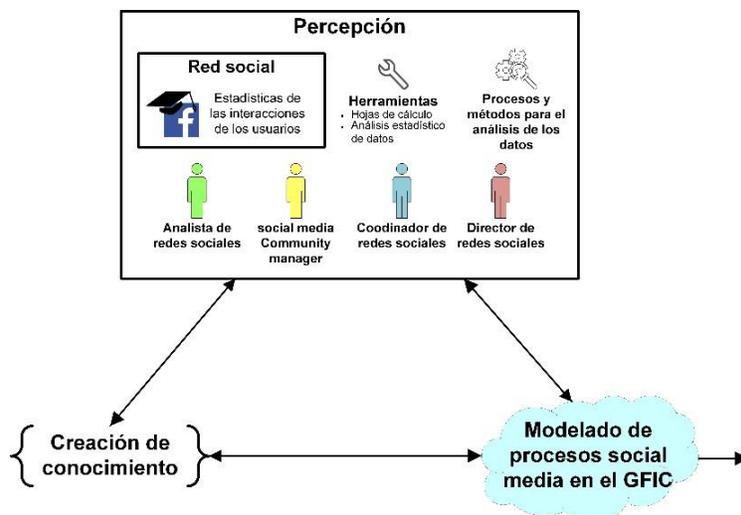


Figura 5. Modelado global del ciclo de conocimiento para procesos de social media. Adaptada de: Flores-Rios (2016)

Fase 3. Análisis del flujo de conocimiento

Partiendo del modelo jerárquico Datos-Información-Conocimiento (DIC) (Arias & Aristizábal, 2011; Davenport & Prusak, 1998), se planteó una jerarquía inversa (CID) argumentando que el conocimiento se articula en un contexto conceptual, que permite verbalizar el conocimiento para generar información (Tuomi, 1999), que puede ser estructurada en datos independientes. La Figura 6 representa el flujo cíclico y desglosa la distinción entre DIC detectados en los procesos de social media dentro del estudio de caso. El modelo DIC presentó una visión de los datos extraídos desde el grupo GFIC de Facebook, hasta convertirse en información ordenada para representar conocimiento en el análisis. De esta forma, el modelo CID, brindó la posibilidad de articular, verbalizar y estructurar el conocimiento desde los procesos de social media, para desglosarlo en información, que posteriormente se asocia a datos individuales, como variables de interés para estudiar. La representación de los datos con el modelo DIC-CID se asocia al proceso de preparar datos de social media, para cumplir con las actividades de limpiar, reducir e imputar, dar formato y transformar los datos.

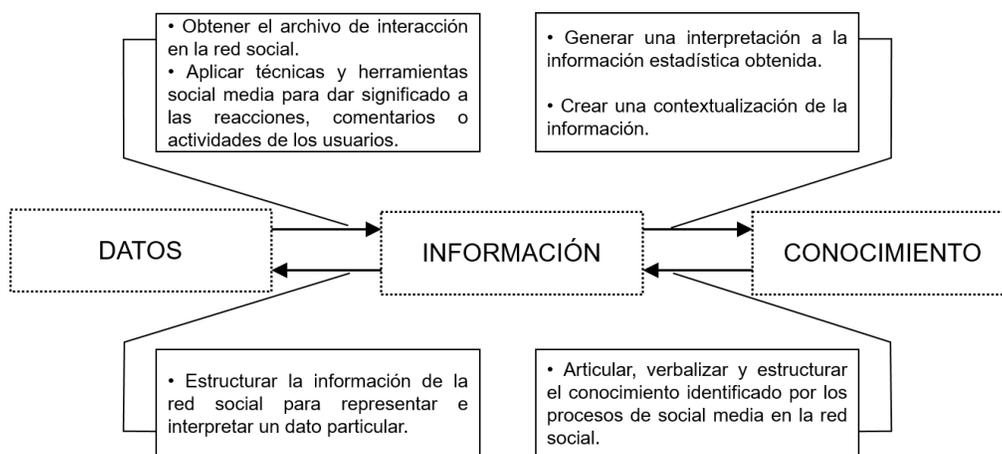


Figura 6. Modelo cíclico Datos-Información-Conocimiento. Elaboración propia

El resultado final de esta fase, permitió elaborar la Figura 7 donde se presentan los flujos de conocimiento identificados en los cuatro procesos de conocimiento de la dimensión epistemológica. De esta forma, se visualiza la tecnología de social media que garantiza el proceso de Socialización, debido a que se genera conocimiento tácito dentro de las redes sociales al intercambiar el conocimiento tácito entre los usuarios. Además, se contribuye a los procesos de Exteriorización e Interiorización el compartir y documentar lecciones aprendidas (habilidades, experiencias, nivel de dominio) de las metodologías relacionadas y las

técnicas implementadas entre los roles involucrados. El proceso de Interiorización se consideró el más complejo debido a que los roles social media Community Manager y el Analista de redes sociales requieren de la interpretación de los procesos de social media, dando un sentido a la información y el dominio de conocimiento que se genera a partir de las redes sociales y el nivel de conocimiento técnico que se requiere para su análisis. La Combinación es el proceso que involucra la categorización de documentos con los datos utilizados desde las redes sociales, el convertir la información generada por las interacciones en las redes sociales y almacenarla en bases de datos, la generación de gráficas, modelos de análisis o tablas, para lograr dar un sentido más completo a la información. Al aplicar el proceso de Análisis de datos se obtuvo un reporte de interacciones o del comportamiento social virtual.

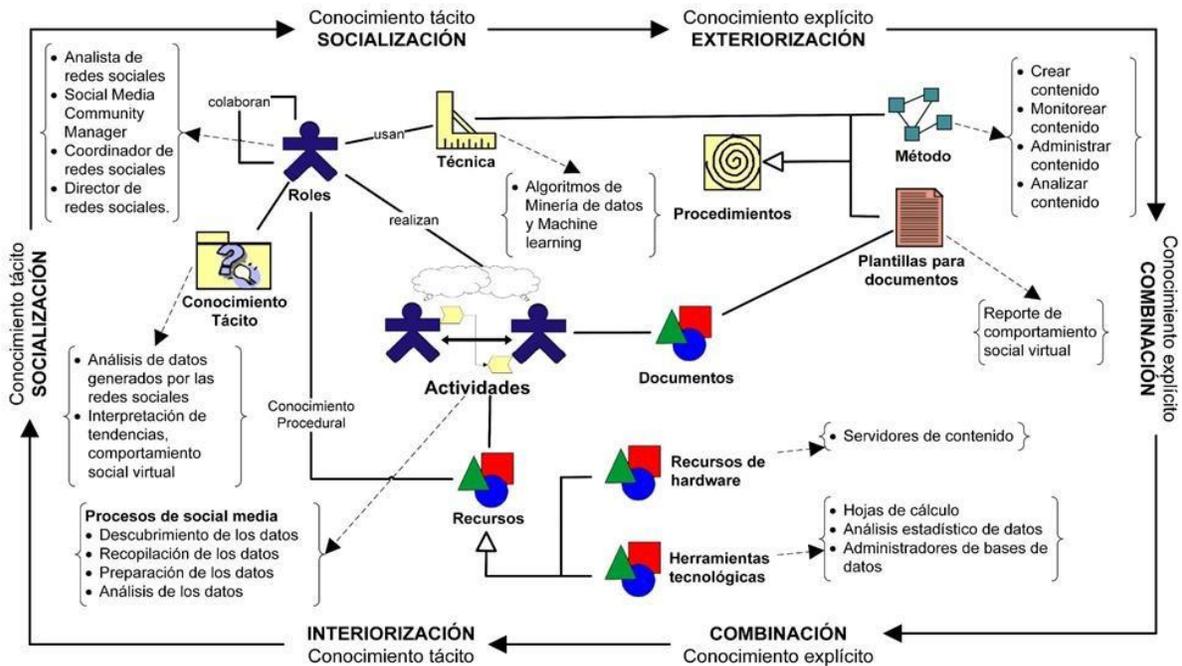


Figura 7. Flujos de conocimiento identificados en procesos de conocimiento de la dimensión epistemológica. Elaboración propia

Se analizó de manera integral, el conjunto de elementos y relaciones detectados dentro de un contexto de social media (Figura 7) enfocado en el estudio de caso del GFIC. Partiendo del acceso a los datos generados por las actividades y reacciones de los usuarios en las redes sociales (presentados en estadísticas semanales, mensuales o anuales), fue posible una aproximación a la información relevante. El resultado de la fase 3 es el insumo para la toma de decisiones sobre el despliegue de nuevas iniciativas de mejora de los flujos de conocimiento existentes o la creación de procesos de innovación y el análisis de herramientas que apoyan dichos flujos.

Fase 4. Análisis de las herramientas de soporte al flujo de conocimiento

En la Figura 8 se muestra cada una de las fases de los procesos de social media. Al determinar el dominio de conocimiento y seleccionar el conjunto de datos (GFIC), se realizó una caracterización de la red social y el estudio de caso analizado, se eligieron las herramientas (Excel, SPSS, RStudio) y los métodos (Analizar el contenido). Para la recolección de datos se exportó en un archivo de Excel el periodo de información del semestre 2021-1 del GFIC. La preparación de los datos extraídos se realizó en Excel, SPSS y RStudio. Excel se implementó para limpiar los datos, seleccionando las columnas necesarias para el análisis, RStudio se utilizó para reducir la cantidad de datos al periodo requerido, y se imputaron aquellos que no contenían un valor para el estudio, con SPSS se dio un correcto formato a los datos y en RStudio se transformaron los datos para aplicar un análisis estadístico que diera un acercamiento al comportamiento de los datos.

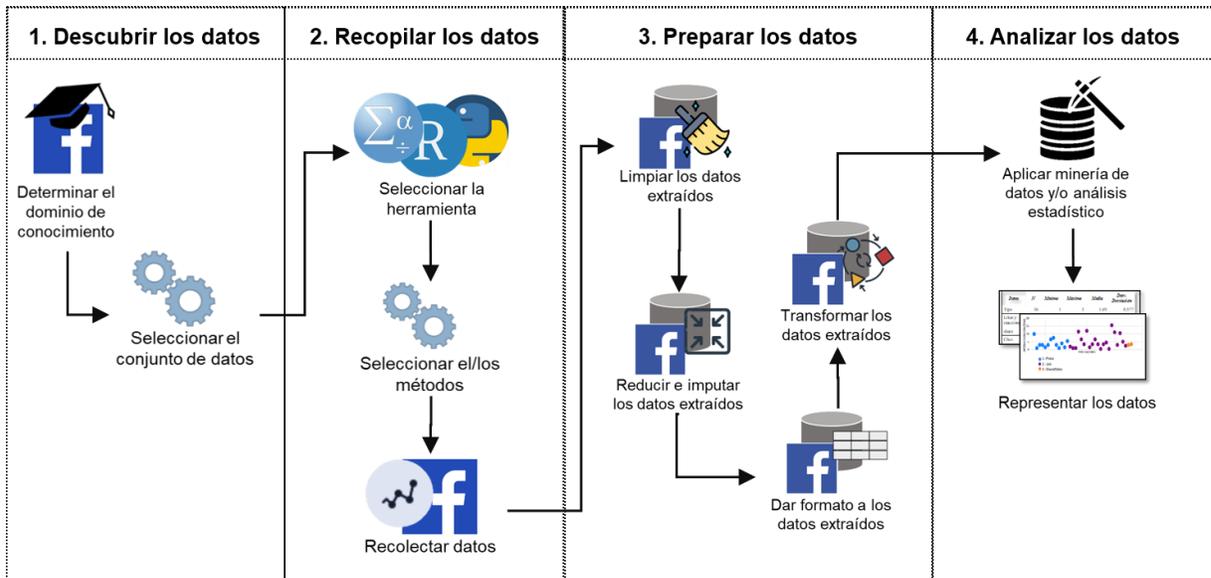


Figura 8. Modelado de procesos de social media. Elaboración propia

El cálculo del *engagement* (E) para la muestra de datos obtenida del periodo de enero a junio de 2021, se realizó por medio de la fórmula propuesta por Peruta & Shields (2017).

$$E = \frac{N_r + N_s + N_c}{N_l} \quad (1)$$

Dónde:

- N_r , Número de reacciones (Me gusta, Me encanta, Me divierte, Me sorprende, Me entristece o Me enoja) en la publicación.
- N_s , número de veces que se ha compartido la página/el grupo de Facebook o la publicación.
- N_c , número de comentarios en la página/el grupo de Facebook o la publicación.
- N_l , número de likes en la página/el grupo de Facebook, o en la publicación.

La muestra seleccionada presenta el total de datos generados en ese periodo que tengan un valor de interactividad, esto quiere decir que cuentan con publicaciones con comentarios, reacciones y/o han sido compartidas. Un valor de *engagement* que se encuentre dentro de los intervalos de una página o grupo concurrido y un alto índice de interactividad debe rondar el 0.9 o 1. La Figura 9(a) principalmente presenta un índice de *engagement* por debajo de la media en páginas y grupos de Facebook concurridos. Presenta poca dispersión y picos en los primeros valores dentro del rango de 0 y 0.1 dentro de la frecuencia. Se identifica una asimetría en el histograma de resultado, lo cual indica que el nivel de compromiso de los miembros del grupo de Facebook analizado es casi nulo. Sin embargo, en la sección de la derecha de la gráfica es posible observar que existen valores atípicos en el rango entre 0.4 y 0.5, lo cual indica que existe un grupo de miembros del grupo que mantienen una comunicación constante con las publicaciones. Las medidas de tendencia obtenidas del número de miembros activos, exponen una media de 229.58 y una mediana de 155. La Figura 9(b) presenta asimetría hacia el extremo menor a la cantidad de miembros activos. Por lo tanto, se comprueba que existe una cantidad mínima de miembros activos dentro del grupo. Finalmente, en la Figura 9(c) se busca alguna asociación entre las variables de compromiso y el número de miembros activos, se encontraría una leve correlación positiva (por la dispersión de los puntos) por el movimiento ascendente de los datos hacia la derecha.

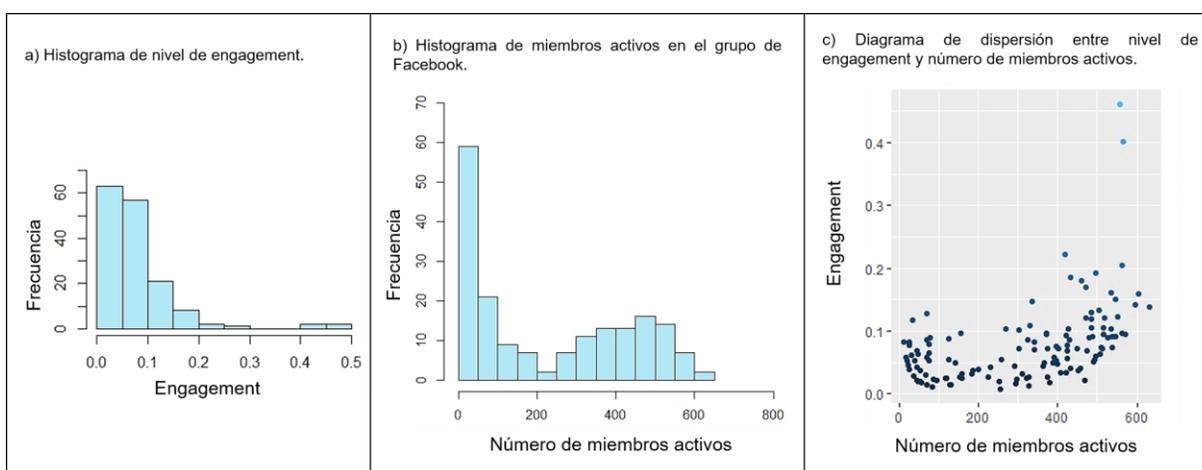


Figura 9. Resultados para el análisis de los datos. Elaboración propia

Del diagrama de dispersión de puntos en la Figura 9(c), se identificaron dos fechas con publicaciones de mayor correlación entre el *engagement* y el número de miembros activos. Para el día 25 de marzo se obtuvieron un total de seis publicaciones, dos pertenecientes al rol de Social Media Community Manager del GFIC, y cuatro por parte de los miembros. Por otro lado, el día 17 de mayo se realizaron cuatro publicaciones, de las cuales tres fueron por parte de miembros y una por el Social Media Community Manager del GFIC. En ambas fechas, las publicaciones con mayor actividad de reacciones y comentarios corresponden a las realizadas por los Social Media Community Manager. Esto reafirma las características bajo las cuales se estableció el GFIC, como un grupo privado de Facebook con carácter académico informativo, que se utiliza para obtener información relacionada a las actividades de los procesos académicos y anuncios relacionados a sus unidades de aprendizaje del programa educativo.

5. CONCLUSIONES

La aplicación de la GC en el contexto de social media y las redes sociales, como parte de las herramientas para el descubrimiento del conocimiento, permite a las organizaciones identificar, modelar y analizar los flujos de conocimiento de sus activos intangibles. La aplicación de la metodología KoFI permitió obtener la correspondencia y un análisis detallado de los flujos de conocimiento y las herramientas que brindan soporte a los flujos con los cuatro procesos de social media. Así como proponer un flujo para interpretar los contenidos compartidos y las publicaciones asociadas de acuerdo a los diferentes tipos de conocimiento y roles participantes del estudio de caso del GFIC. La fase 1 permitió conocer las fuentes de conocimiento específicas, tanto internas como externas y contener tanto conocimiento tácito como conocimiento explícito. Se identificaron los roles, documentos, procedimientos, sistemas de información y herramientas tecnológicas asociados a los procesos de social media aplicados en una red social bajo un contexto educativo. Se determinó que los roles identificados en la fase 1, cuentan con conocimiento tácito, relacionado con habilidades, experiencias y conocimientos requeridos y reportados para un adecuado análisis de los datos extraídos desde Facebook. Posteriormente, en la fase 2 se identificaron los tipos de conocimiento involucrados y los flujos de conocimiento existentes en el modelado global del ciclo de conocimiento. Este enfoque de flujos de conocimiento tiene como objetivo brindar un entendimiento de cómo fluye el conocimiento por medio de los cuatro procesos de creación de conocimiento correspondientes a la dimensión epistemológica (Fase 3). Los cuales en la fase 4 se asociaron a los procesos de social media para obtener una retroalimentación de estos en la aplicación de las herramientas y el método seleccionado.

Se concluye que cuanto más especializado sea el grupo de usuarios de la red social, considerando su dominio y nivel de conocimiento tácito, se infiere que habrá mayor exactitud sobre el conocimiento extraído (explícito) con los procesos de social media. Pero, esto sólo funcionará si el contenido de las interacciones de la red social es de calidad. Los resultados de la aplicación de las fases de la metodología KoFI, fueron presentados al social media Community manager del grupo privado GFIC, quien mostró interés en dar seguimiento y monitoreo en el siguiente semestre a cursar.

Como trabajo futuro, se desea trabajar en la interpretación de las estadísticas para mejorar la comunicación entre los miembros y generar nuevo conocimiento explícito. Así mismo, continuar con la identificación de softskills de los roles que están involucrados en cada proceso de social media en apoyo a la selección de técnicas y herramientas. También se recomienda generar un modelo de indicadores que permita analizar los impactos del despliegue de las estrategias de GC en cada proceso de social media.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo brindado al primer autor con No. de CVU 668484.

REFERENCIAS

Alavi, M., & Leidner, D. (2003). Knowledge Management and Knowledge Management Systems: Conceptual Foundations and Research Issues. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.

Alawamleh, H. A. M., & Murthy, N. (2020). The Influence of Social Media on Organisational Performance and Job Performance. *International Journal of Innovation, Creativity and Change*, 13(12), 138–156. <https://scindeks.ceon.rs/Article.aspx?artid=0409-29532001138K>

Ali, A., Bahadur, W., Wang, N., Luqman, A., & Khan, A. N. (2020). Improving team innovation performance: Role of social media and team knowledge management capabilities. In *Technology in Society* (61). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2020.101259>

Arias, J. E., & Aristizábal, C. A. (2011). El dato, la información, el conocimiento y su productividad en empresas del sector público de Medellín. *Semestre Económico*, 14(28), 95–109. <https://doi.org/10.22395/seec.v14n28a6>

Arora, A., Bansal, S., Kandpal, C., Aswani, R., & Dwivedi, Y. (2019). Measuring social media influencer index- insights from facebook, Twitter and Instagram. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 49(February), 86–101. <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2019.03.012>

Ballesteros Herencia, C. A. (2018). El índice de engagement en redes sociales, una medición emergente en la Comunicación académica y organizacional. *RAZÓN Y PALABRA Primera Revista Electrónica En Iberoamérica Especializada En Comunicación*, 22(3_102), 96–124.

Bazarova, N. N., Choi, Y. H., Sosik, V. S., Cosley, D., & Whitlock, J. (2015). Social sharing of emotions on Facebook: Channel differences, satisfaction, and replies. In *Proceedings of the 2015 ACM International Conference on Computer-Supported Cooperative Work and Social Computing (CSCW)*, 154–164. <https://doi.org/10.1145/2675133.2675297>

Briciu, V.-A., & Briciu, A. (2021). Social Media and Organizational Communication. In *Encyclopedia of Organizational Knowledge, Administration, and Technology* (p. 16). <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-3473-1.ch180>

Cantú Ballesteros, L., Rodríguez Elías, O. M., Sánchez Cuéllar, M. G., Rojas Vásquez, C., Ortega Ruiz, J., Sánchez Córdoba, G. A., & Becerra Arenas, J. F. (2014). Metodología de flujo de conocimiento aplicada al proceso de acreditación de programas educativos (segunda fase). *Revista Internacional Administración & Finanzas*, 7(1), 31–52.

Chakraborty, A., Dutta, T., Mondal, S., & Nath, A. (2018). Application of Graph Theory in Social Media. *International Journal of Computer Sciences and Engineering*, 6(10), 722–729. <https://doi.org/10.26438/ijcse/v6i10.722729>

Choo, C. (1999). *The knowing organization: How organizations use information to construct meaning, create knowledge, and made decisions*. Oxford University Press. Oxford, USA.

Claver-Cortes, E., Pertusa-Ortega, E. M., & Zaragoza-Saez, P. C. (2008). Organizational design and knowledge performance: An empirical study. *Intangible Capital*, 4(3), 166–190. <https://doi.org/10.3926/ic.2008.v4n3.p166-190>

Davenport, T. H., & Prusak, L. (1998). *Working knowledge: How organizations manage what they know*. Harvard Business Press.

Diaz Ayon, M. (2019). Análisis de la conversión del conocimiento en base al modelo SECI en el área de tecnología de universidades privadas de Lima. In *Journal of Chemical Information and Modeling*.

Erden, Z., Klang, D., Sydler, R., & von Krogh, G. (2014). Knowledge-flows and firm performance. *Journal of Business Research*, 67(1), 2777–2785. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2012.09.001>

Flores-Rios, B. L. (2016). Modelo de evolución de la gestión del conocimiento en MiPyMes, de acuerdo con el nivel de madurez en un programa de mejora de procesos de software. In *Universidad Autónoma de Baja California*. México.

Flores-Rios, B. L., Astorga-Vargas, M. A., Rodríguez-Elias, O. M., Ibarra-Esquer, J. E., & Andrade, M. del C. (2014). Interpretación de las normas mexicanas para la implantación de procesos de software y evaluación de la capacidad bajo un enfoque de gestión de conocimiento. *Revista Facultad de Ingeniería*, 71, 85–100.

Flores-Rios, B. L., Pino, F. J., Ibarra-Esquer, J. E., González-Navarro, F. F., & Rodríguez-Elías, O. M. (2015). Análisis de Flujos de Conocimiento en Proyectos de Mejora de Procesos Software bajo una

perspectiva multi-enfoque. RISTI - Revista Ibérica de Sistemas y Tecnologías de La Información, 14, 51–66. <https://doi.org/10.17013/risti.14.51-66>

Giraldo Marín, M. L., Arroyave Cataño, T. E., Galeano Ospino, S., Rojas Mora, J. M., Londoño Montoya, E. M., & Bedoya Villa, M. A. (2021). Metodología de flujo de conocimiento (primera fase) aplicada al proceso de investigación científica con fines de visibilidad nacional e internacional en la Universidad de Medellín. RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação, 114–127.

Goyal, S. J., & Goyal, R. (2020). Social Media Analytics – Challenges during the Data Analysis. Artificial & Computational Intelligence, 1(2). https://acors.org/ijacoi/VOL1_ISSUE2_10.pdf

Gupta, V., & Gupta, M. (2016). Social Media Mining: A New Framework and Literature Review. International Journal of Business Analytics, 3(1), 58–68. <https://doi.org/10.4018/IJBAN.2016010104>

Helms, R., Cranefield, J., & van Reijssen, J. (2017). Social media and knowledge management: A perfect couple. Knowledge Management and Organizational Learning, 3, 1–13. https://doi.org/10.1007/978-3-319-45133-6_1

Hu, Y. H., & Chen, K. (2016). Predicting hotel review helpfulness: The impact of review visibility, and interaction between hotel stars and review ratings. International Journal of Information Management, 36(6), 929–944. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2016.06.003>

Kane, G. C. (2017). The evolutionary implications of social media for organizational knowledge management. Information and Organization, 27(1), 37–46. <https://doi.org/10.1016/j.infoandorg.2017.01.001>

Liu, H., Morstatter, F., Tang, J., & Zafarani, R. (2016). The good, the bad, and the ugly: uncovering novel research opportunities in social media mining. International Journal of Data Science and Analytics, 1(3–4), 137–143. <https://doi.org/10.1007/s41060-016-0023-0>

Meng, X., Shi, L., Yao, L., Zhang, Y., & Cui, L. (2020). Herd Behavior in Social Media: The Role of Facebook Likes, Strength of Ties, and Expertise. Information & Management, 113, 124658. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2020.124658>

Mora Garcia, Y. A., & De la Cruz Chima, M. R. (2018). Diagnostico, desde el modelo SECI de Nonaka y Takeuchi, para proponer estrategias que permitan crear un modelo de gestión del conocimiento en universidades públicas colombianas. Universidad Tecnológica de Bolívar.

Mushtaq, H., Malik, B. H., Shah, S. A., Siddique, U. Bin, Shahzad, M., & Siddique, I. (2018). Implicit and explicit knowledge mining of Crowdsourced communities: Architectural and technology verdicts. International Journal of Advanced Computer Science and Applications, 9(1), 105–111. <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2018.090114>

Narazaki, R. S., Chaves, M. S., & Pedron, C. D. (2020). Social media in knowledge management: A holistic knowledge funnel based on a retrospective 10-year study in top-tier journals. Knowledge and Process Management, 27(2), 123–132. <https://doi.org/10.1002/kpm.1629>

Nisar, T. M., Prabhakar, G., & Strakova, L. (2018). Social media information benefits, knowledge management and smart organizations. Journal of Business Research, 94(May), 264–272. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2018.05.005>

Nonaka, I., & Takeuchi, H. (1995). The knowledge-creating company: How Japanese companies create the dynamics of innovation. Oxford university press.

Palacios Ospina, M. E. (2017). Técnicas para apoyar la operación combinación de creación del conocimiento, según el modelo SECI.

Perez-Soltero, A., Barcelo-valenzuela, M., Sanchez-schmitz, G., Martin-rubio, F., Palma-mendez, J. T., & Vanti, A. A. (2007). A model and methodology to knowledge auditing considering core processes. *ICFAI Journal of Knowledge Management*, 5(1), 7–23. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.72.8091&rep=rep1&type=pdf>

Peruta, A., & Shields, A. B. (2017). Social media in higher education: understanding how colleges and universities use Facebook. *Journal of Marketing for Higher Education*, 27(1), 131–143. <https://doi.org/10.1080/08841241.2016.1212451>

Rodríguez-Elias, O. M. (2007). Metodología para el diseño de sistemas de administración del conocimiento: su aplicación en mantenimiento de software.

Rodriguez-Elias, O. M., & Martínez, A. I. (2011). Diseño de sistemas y estrategias de gestión del conocimiento: Un enfoque metodológico orientado a procesos y flujos de conocimiento (Spanish Ed). Editorial Académica Española.

Tuomi, I. (1999). *Corporate knowledge: Theory and practice of intelligent organizations*. Helsinki: Metaxis.

Ureña, R., Chiclana, F., Melançon, G., & Herrera-Viedma, E. (2019). A social network based approach for consensus achievement in multiperson decision making. *Information Fusion*, 47(July 2018), 72–87. <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2018.07.006>

van Rooyen, A. A. (2020). Social media is so easy to share. *Accounting Education*, 29(4), 356–371. <https://doi.org/10.1080/09639284.2020.1779763>

Velazquez-Solis, P. E., Flores-Rios, B. L., Ibarra-Esquer, J. E., Astorga-Vargas, M. A., Aguilar Vera, R. A., & Ramírez-Barreto, Elizabeth López-Morteo, G. (2021). Identificación de áreas de aplicación de arquitecturas de software basadas en modelos, técnicas y herramientas de social media. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação (RISTI)*. 42(06) pp. 12-29. 2021. ISSN: 1646-9895. <https://doi.org/10.17013/risti.42.12-29>

Vranešević, T., Perić, N., & Marušić, T. (2019). Perception of Social Media as a Source of Relevant Information. *Zagreb International Review of Economics and Business*, 22(1), 133–144. <https://doi.org/10.2478/zireb-2019-0016>

NOTAS BIOGRÁFICAS



Desarrollo Profesional.

Paola E. Velazquez Solis es egresada del programa de Ingeniería en Computación de la Facultad de Ingeniería campus Mexicali de la Universidad Autónoma de Baja California. Cuenta con una Maestría en Ciencias en el área de conocimiento de Computación y actualmente es estudiante becaria CONACYT de Doctorado en Ciencias en el área de conocimiento de Computación. Su trabajo de investigación se centra en temas relacionados con la Ingeniería de Software, Minería de datos, Social media y Analítica de datos. Su experiencia profesional la ha realizado en empresas del sector privado y público, también se dedica a la docencia impartiendo clases en universidades privadas como la Universidad del Valle de México, Universidad Autónoma de Durango y Universidad de



procesos de Software y Minería de procesos.

Brenda L. Flores Rios es egresada de Ingeniería en Sistemas Computacionales del Instituto Tecnológico de La Paz, obtuvo su maestría en Ciencias de la Computación en el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE) y el grado de Doctor en Ciencias por la Universidad Autónoma de Baja California (UABC) en el área de conocimiento de Computación. Es investigadora del área de ingeniería física del Instituto de Ingeniería (II-UABC) e imparte clases en la Facultad de Ingeniería campus Mexicali de la UABC. Pertenece al Cuerpo Académico de Cómputo Científico registrado ante PRODEP-SEP, cuenta con el SNI nivel 1 y es miembro del área de mujeres en la computación de la Academia Mexicana de Computación. Su trabajo de investigación se relaciona con la Ingeniería de Software, Mejora de



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

Modelo de sistema multisensor con enfoque de muestreo multifrecuencia

Multisensor system model with multirate sampling approach

Alfonso Alfonsi¹
alfalse@yahoo.es

Raiza Yáñez¹
ryanezmar@gmail.com

Alfonso R. Alfonsi¹
alf.rafa@gmail.com

¹Grupo de Investigación Arquitecturas de Sistema de Control, Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Universidad de Oriente, Núcleo de Anzoátegui

Resumen: En la fase temprana de diseño de un multisensor están las especificaciones funcionales que establecen el comportamiento de sus señales, donde es importante analizar la influencia de los tiempos de muestreo en el despliegue temporal entre los datos de entrada y salida disponibles del multisensor, como del enlace de comunicación que pudieran utilizar. Por tanto, en este trabajo se desarrolla un modelo de sistema multisensor considerando múltiples señales con periodos de muestreo que pueden ser diferentes del proceso y datos de estado, incluyendo la limitación temporal del enlace de comunicación. El sistema consta de los componentes: multisensor y estación base. Además, se desarrolló un modelo de simulación en Scilab/Xcos para ejercitar diferentes escenarios. El modelo ofrece un perfil temporal de la secuencia de datos sensoriales bajo diferentes esquemas de muestreo, permitiendo presentar la evolución de las señales con pérdidas o ausencias de muestras, las cuales al ser tratadas sistemáticamente con operadores multifrecuencia y funciones de interpolación para su reconstrucción, conducen a resultados utilizables para la abstracción del mundo real. Finalmente, la efectividad del modelo se ilustra mediante simulaciones numéricas.

Palabras claves: Esquemas de muestreo, modelo sistemas multifrecuencia, multisensor, simulación.

Abstrac: In the early design phase of a multi-sensor, there are functional specifications that establish the behavior of its signals where it is important to analyze the influence of the sampling rates on the temporal display between the available input and output data from the multi-sensor, such as the communication they could use. Therefore, this work develops a multi-sensor system model considering multiple signals with sampling periods that could be different from the status data and the process itself; including the time-related limitations on the communication link. The system has two components, the multi-sensor and base station. In addition, it was developed a simulation model in Scilab / Xcos for some exercise scenarios. The model offers a time-based profile with the sequence of the data under different sampling schemes allowing to show the evolution of the signals with loss or absence of samples, which when it being systematically treated with multi-frequency operators and interpolation functions for their reconstruction, lead to usable results for real-world abstraction. Finally, numerical simulations illustrate the effectiveness of the model.

Keywords: Multi-sensor, multi-rate systems model, sampling schemes, simulation.

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los actores principales producto de las crecientes potencialidades de los sistemas computacionales empotrados asociados a la instrumentación, la comunicación y el control es el multisensor, que según Deb Majumder et al. (2019) incluyen múltiples sensores diferentes, cada uno con sus propias funciones, miden un determinado parámetro de manera independiente y usan algoritmos especiales del procesamiento de señales para combinar todas las mediciones independientes en un valor de medición integrado. Además, ofrece información de estados de operatividad y configuración de parámetros funcionales y facilidades de comunicación. Lo que ha permitido sus progresivas incursiones hacia Redes de Sensores y Actores Inalámbricos (WSAN: *Wireless Sensor and Actors Networks*) (Akyildiz y Kasimoglu, 2004; Kakarla et al., 2015), Internet de las Cosas (IoT: Internet of Things) (Muangprathuba et al., 2019; Pradilla et al., 2018) y Sistemas Ciberfísicos (CPS: Cyber-Physical Systems) (Liu et al., 2017; Roehm et al., 2019).

Al respecto, diseñar un multisensor no se escapa de los enfoques principales para el desarrollo de sistemas empotrados, como el codiseño hardware y software, plataforma de diseño y diseño basado en componentes, que tienen en común la descripción del sistema para cumplir especificaciones funcionales de diseño (Ha y Teich 2017; Laszlo y Zhexembayeva, 2011; Teich, 2012), que está en consonancia con la norma sobre instrumentos inteligentes ISO/IEC/IEEE 21451 (ISO/IEC/IEEE, 2010a, 2010b).

En este sentido, dentro de las especificaciones funcionales están las secuencias de datos sensoriales provenientes de los múltiples sensores, resultado de las mediciones independientes de las magnitudes del proceso, así como también, los referidos a sus estados y configuraciones, los cuales deben estar disponibles para una red de datos e Internet.

Dichas secuencias están influenciadas por retardos en el tratamiento de las distintas señales que pueden degradar la visión general y completa de las mediciones, al presentarse pérdidas o ausencias de datos sensoriales y perfiles temporales; debido, entre otras razones, a tiempos de muestreo que pudieran ser diferentes con esquemas regulares e irregulares, presencia de medios de comunicación y cálculos computacionales. Por tanto, es fundamental tener herramientas que permitan analizar las relaciones del despliegue temporal junto a las magnitudes disponibles de las entradas y salidas, no solo del multisensor, sino también, del enlace de comunicación; lo cual facilitará una descripción del comportamiento para la toma de decisión, ya sea a nivel de las especificaciones funcionales del diseño, su mantenimiento y actualización.

Si bien es cierto que una de las aristas en la adquisición de las señales de un proceso es la selección de los tiempos de muestreo, dominado formalmente en la literatura del tratamiento digital de señales y sistemas de control digital, donde establecen dependencia a factores como, el ancho de banda, tiempo de respuesta de los sistemas en lazo cerrado, perturbaciones, limitaciones físicas de los sensores y actuadores (Dorf y Bishop, 2017; Lathi y Green, 2019; Oppenheim et al., 2013; Tan y Jiang, 2018), y prevalece la elección convencional de patrones de muestreo regular y uniforme de las distintas variables; no obstante subyace, que la selección del tiempo de muestreo se está discutiendo en varios contextos (Deb Majumder et al., 2019), siendo uno de ellos los sistemas con muestreo no convencional (SMNC) o multifrecuencia (MF).

Desde luego, para el análisis, la modelización y diseño de los sistemas con entradas y salidas que se actualizan a diferentes velocidades, son necesarias otras directrices que permitan al diseñador acomodar múltiples velocidades de datos e implementar los cálculos necesarios requeridos dentro de las capacidades computacionales finitas de un sistema computacional. Como, los muestreadores ascendentes, los muestreadores descendentes, la técnica de elevación y la transformada Z modificada (Bamieh y Pearson, 1991; Cimino y Pagilla, 2010; Coffey y Williams, 1966; Ding et al., 2009; Glasson, 1983; Godbout et al., 1990; Kranc, 1957; Meinsma y Mirkin, 2010a; Salt y Albertos, 2005; Thompson, 1986).

En consecuencia, este trabajo se centra en el desarrollo de un modelo de sistema multisensor (SMS) desde la perspectiva de los sistemas MF, que considera múltiples señales con periodos de muestreo que pueden ser diferentes, del proceso y datos de estado, incluyendo la influencia temporal del enlace de comunicación, con el fin de ofrecer un perfil temporal de la secuencia de los datos sensoriales, que sirve para comprobar si realmente su comportamiento coincide con las especificaciones deseadas. El SMS lo forman los módulos: multisensor y estación base. Además, se desarrolla un modelo de simulación en Scilab/Xcos (Scilab, 2020) para el ejercicio de los diferentes escenarios.

Dentro del contexto hay trabajos a lo largo del tiempo que soportan a la MF, desde los enfocados al procesamiento digital de señales haciendo énfasis en la transformación de frecuencias, decimación e interpolación, como las estructuras de Crochiere y Rabiner (1981). Los trabajos de Meinsma y Mirkin (2010a, 2010b) amplían las ideas clásicas del procesamiento digital de señales MF, al revisar el proceso de conversión de frecuencias, como la definición canónica del decimador e identificación del interpolador o expansor correspondiente, definiendo sus propiedades y, muestran que, al tratamiento clásico MF se deben imponer ciertas restricciones matemáticas para establecer sus identidades. Diseñan bancos de filtros polinómicos con menor complejidad. Además, abordan un amplio espectro de problemas de muestreo y reconstrucción no causales, basados en la optimización, traducidos en versiones del teorema de muestreo para la reducción de muestras y reconstrucción a partir de mediciones ruido.

Kordestani et al. (2020) y Yan et al. (2015) presentan estrategias de fusión de datos para estimar el estado de los sistemas multisensores MF, con mediciones faltantes mediante filtros Kalman MF y algoritmos de fusión recursivo óptimo de datos asincrónicos. Aunque el objetivo de estos trabajos está dirigido a la fusión multisensor, los modelos presentados son un claro ejemplo de la sinergia entre datos faltantes y MF. También destacan, trabajos que combinan los datos de medición de todos los sensores que utilizan algoritmos especiales para la fusión de datos multisensor (Nwe y Tun, 2017; Ghosal y Rao, 2019).

Salt et al. (2008) introducen lineamientos de los SMNC para ofrecer alternativas referente a los Sistemas de Control Basados en Red (NCS: Networked Control Systems) con el propósito de atender el desfase entre los muestreadores de las partes remota y local, cuando se requiere su sincronización. Acotando, no todos los muestreos podrán ser enviados y ocurrirá una inevitable pérdida de información. Al respecto, infieren aquellos valores de variables que pueden tener una utilidad clara en la aplicación del control, visualizándolos desde la dinámica de la planta y procedimientos basados en señales. Por su parte, Zhu et al. (2016) proponen un modelo de NCS MF con retardos escasos y pérdidas de paquetes, pero esta vez desde un sistema estocástico conmutado de tiempo discreto, garantizando la estabilidad del NCS. Jia et al. (2017) diseñan un controlador basado en un observador para un NCS con muestreo MF para estimar el estado del sistema en tiempo real, producto de una nueva función de Lyapunov-Krasovskii construida para analizar eficientemente el sistema de circuito cerrado en presencia de retrasos inducidos por la red que varían en el tiempo.

Desde los sistemas de control, Albertos y Salt (2011) abordan el problema de controlar las plantas MIMO donde el patrón de mediciones, muestreo y acciones de control no son regulares. Revisan diferentes modelos e informan técnicas de diseño de control basadas en modelos. Zhang et al. (2015) trabajan con sistemas lineales muestreados bifrecuencia en espacio de estados y construyen un controlador conmutado periódico. Aranda-Escolástico et al. (2018) proponen un algoritmo de optimización que suministra, no solo las señales de entrada, sino también sus tiempos de aplicación, y maximiza la tasa de decaimiento del sistema considerando un escenario de doble velocidad con entrada lenta y salida rápida.

En fin, se siguen los lineamientos del Muestreo MF al observar el modelo como una realización discreta considerando un sistema multivariable y MF, donde los periodos de muestreo de las señales T_i sean conmensurables, pudiendo ser diferentes, a un periodo global T_0 y enlace T_{Enlace} .

El resto del artículo está organizado de la siguiente manera. El modelo del SMs y su estructura formal con enfoque MF se formula en la Sección 2. En la Sección 3, se demuestra un escenario de aplicación mediante la simulación, con un multisensor, estación base y la presencia de un enlace de comunicación, como ejemplo numérico para demostrar la efectividad del modelo. Finalmente, en la Sección 4 se presentan las respectivas conclusiones.

2. MODELO DEL SISTEMA MULTISENSOR

El propósito del modelo es representar los recursos disponibles de forma uniforme que permita ofrecer un perfil temporal de secuencias de datos sensoriales, que sirve para comprobar si realmente el comportamiento coincide con las especificaciones deseadas, al tomar en consideración múltiples señales con periodos de muestreo que pueden ser diferentes, del proceso y datos de estado, incluyendo la influencia del enlace de comunicación. En este sentido, se parte de una estructura de un Sistema Multisensor, presentada en la Figura 1, formada por los módulos Multisensor (MS) y Estación Base (EB). A su vez, cada módulo está integrada por componentes operacionales reutilizables.

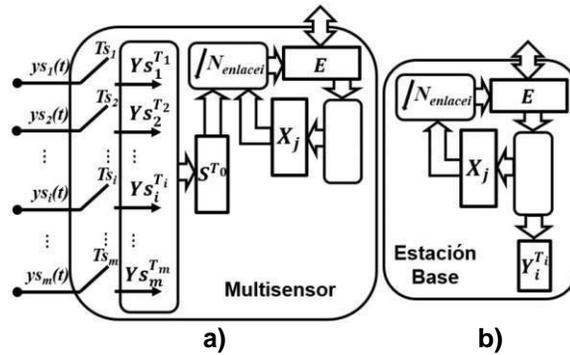


Figura 1. Estructura del Sistema Multisensor basado en Muestreo MF. a) Multisensor. b) Estación Base.

2.1. Módulo Multisensor

En primer lugar, se destacan los componentes del módulo MS, indicados en la Figura 1a, formado por los componentes: Manejo de la Medición de Señales Externas, Información y Estado MS y, Preparación para el Enlace de Comunicación. Su función es obtener las señales externas de manera independiente por múltiples sensores diferentes, prepararlos para transformaciones de periodos de muestreo en el SMs y disponerlos en un elemento de datos que se transmitirá a la EB, junto a las respuestas por consultas realizadas desde la EB.

2.1.1. Componente para el Manejo de la Medición de Señales Externas

A la izquierda de la Figura 1a, se encuentra el componente que rige la medición de las señales externas de manera independiente por múltiples sensores diferentes, caracterizados por tener enlaces de uso exclusivo para medir magnitudes representadas por las señales continuas $y_{s_i}(t)$ ($i = 1, 2, \dots, m$) de las cuales se pueden obtener secuencias de datos tomadas a periodos de muestreo que pueden ser diferentes T_{s_i} , $\{y_{s_i}(k_i T_{s_i})\}$, $k_i \in \mathbb{Z}^+$, denotadas por $Y_{S_i}^{T_i}$ (el superíndice indica los tiempos de muestreo). A estas secuencias de datos se le aplica una operación de transformación de periodos de muestreo para obtener el elemento de datos llamado S^{T_0} . Entonces, tomando en consideración el monitoreo de las $Y_{S_i}^{T_i}$ se define formalmente dicho componente.

Las secuencias $\{y_{s_i}(k_i T_{s_i})\}$ están relacionadas a valores constantes en los instantes de tiempo T_{s_i} , siendo su transformada Z expresada como:

$$Y_{S_i}^{T_i}(Z) \triangleq Z_{T_{s_i}} [y_{s_i}(t)] \triangleq Z[y_{s_i}(k_i T_{s_i})] = \sum_{k_i=0}^{\infty} y_{s_i}(k_i T_{s_i}) Z^{-k_i} \quad (1)$$

Si los T_{S_i} son ampliados a N_{S_i} ($i = 1, 2, 3, \dots, m$), $N_{S_i} \in \mathbb{Z}^+$, las secuencias de datos tomadas a diferentes periodos de muestreo $N_{S_i} T_{S_i}$, $\{y_{S_i}(k_i N_{S_i} T_{S_i})\}$ denotadas por $Y_{S_i}^{N_{S_i} T_{S_i}}$, tendrán las siguiente transformada Z:

$$Y_{S_i}^{N_{S_i} T_{S_i}}(Z) \triangleq Z^{N_{S_i} T_{S_i}} [y_{S_i}(t)] \triangleq Z [y_{S_i}(k_i N_{S_i} T_{S_i})] = \sum_{k_i=0}^{\infty} y_{S_i}(k_i N_{S_i} T_{S_i}) Z^{-k_i} \quad (2)$$

En vista que cada variable tiene su propio periodo de muestreo, el esquema de las secuencias de muestreo está dado por $k_i = 0, 1, 2, 3, \dots, N_{S_i} - 1$. Salt et al. (2014) indican que el significado físico no permite una sustitución trivial. Entonces, una forma de lograr un manejo adecuado a este tipo de sistemas requiere la administración de cada período de muestreo, en el entendido que dichas transformaciones de periodos, entre señales discretas u operaciones de muestreo que involucren bloques de diferente naturaleza, es bastante común en los sistemas MF, lo que lleva a introducir lineamientos en este campo, discutidas entre otras referencias, en Meinsma y Mirkin (2010a) y Oppenheim et al. (2013).

Para tal fin, se define el periodo de muestreo global o hiperperiodo T_{S_0} como el intervalo de repetición del esquema de muestreo, el cual se calcula como el mínimo común múltiplo de los periodos de muestreo en el sistema. La relación entre T_{S_0} y T_{S_i} es el número de muestras N_{S_i} de $y_{S_i}(t)$ en T_{S_0} dado por:

$$N_{S_i} = \frac{T_{S_0}}{T_{S_i}} \quad (3)$$

En MF es importante especificar el T_{S_0} porque que ayuda reunir a un conjunto de muestreos de las señales en este intervalo. Lo que permite tener el esquema de frecuencia de muestreo k_i . En la Figura 2 se presentan las muestras k_i , ($0 \leq k_i \leq N_{S_i}$) tomadas de cada sensor i a T_{S_i} .

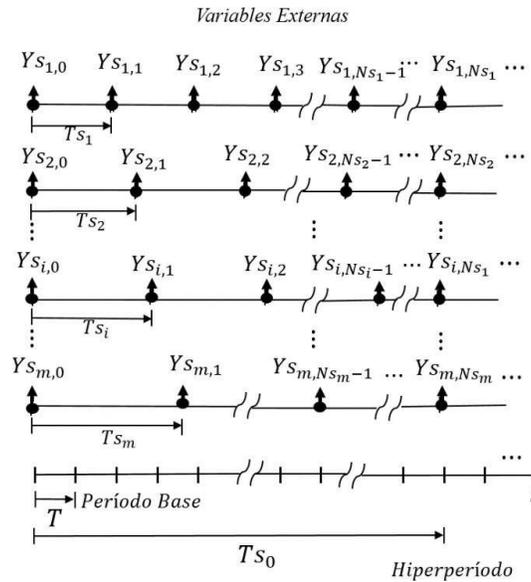


Figura 2. Esquema de muestreo MF regular de las variables externas preparadas a T_{S_0} .

Entonces, ordenando los elementos $Y_{S_i}^{T_{S_i}}$ se define un conjunto en el dominio temporal como se muestra en (4), con una dimensión de $(m \times \sum_{i=1}^m N_{S_i})$ por cada hiperperiodo T_{S_0} considerado.

$$Y_{S_i}^{T_s} = \begin{bmatrix} F & Y_{S_i,0}^{T_{S_i}} & 1 & F & Y_{S_i,N_{S_i}}^{T_{S_i}} & 1 & F & Y_{S_i,2N_{S_i}}^{T_{S_i}} & 1 & \dots & \dots \\ I & Y_{S_i}^{T_{S_i}} & I & I & Y_{S_i}^{T_{S_i}} & I & I & Y_{S_i}^{T_{S_i}} & I & \dots & \dots \\ \vdots & \dots & \dots \\ I & Y_{S_i,N_{S_i}-1}^{T_{S_i}} & I & I & Y_{S_i,2N_{S_i}-1}^{T_{S_i}} & I & I & Y_{S_i,3N_{S_i}-1}^{T_{S_i}} & I & \dots & \dots \end{bmatrix} \quad (4)$$

Para sincronizar las muestras $Y_{S_i}^{T_{S_i}}$ se deben transformar los periodos de muestro a T_{S_0} . Entonces, tomando la transformada Z referida al período $N_{S_i}T_{S_i}$, como en (3), es posible expresar formalmente, la operación de reducción de frecuencia en dichas señales discretas con el operador de Salto (Skp), denotado por Skp o $\downarrow N$, para una secuencia digital actuando de la siguiente forma:

$$Skp: [Y^T(Z)]^{NT} \triangleq \mathcal{Y}^{NT}(Z^N) \triangleq \sum_{k=0}^{\infty} y(kNT)Z^{-kN} = Y^{NT}(Z_N) \quad (5)$$

Es decir, crea una $N_{S_i}T_{S_i}$ -secuencia a partir de una T_{S_i} -secuencia, donde la secuencia de salida es igual a la primera señal de cada grupo de N_{S_i} muestras consecutivas de la señal de entrada, eliminando las $N_i - 1$ muestras de este grupo. Se comporta como un reductor de frecuencia. Desde el contexto, los argumentos k (de la secuencia) y Z (en el dominio de la transformación) serán omitidos, de aquí en adelante, para simplificar la manipulación de las operaciones. Para más detalles del operador Skp consulte las referencias MF indicadas en este trabajo, siendo algunas de ellas Meinsma y Mirkin (2010a), Oppenheim et al. (2013), Salt J. y Albertos P. (2005) y Salt et al. (2014).

Por tanto, al aplicar el operador Skp da como resultado un conjunto en el dominio temporal como se muestra en (6):

$$Y_{S^{T_{S_0}}} = \begin{bmatrix} Y_S^{T_{S_1}} & Y_S^{T_{S_1}} & Y_S^{T_{S_1}} & Y_S^{T_{S_1}} & \dots & \dots \\ F & 1,0 & 1,N_{S_1} & 1,2N_{S_1} & 1,3N_{S_1} & \dots & 1 \\ I & Y_S^{T_{S_2}} & Y_S^{T_{S_2}} & Y_S^{T_{S_2}} & Y_S^{T_{S_2}} & \dots & I \\ I & 2,0 & 2,N_{S_2} & 2,2N_{S_2} & 2,3N_{S_2} & \dots & I \\ I & Y_S^{T_{S_3}} & Y_S^{T_{S_3}} & Y_S^{T_{S_3}} & Y_S^{T_{S_3}} & \dots & I \\ I & 3,0 & 3,N_{S_3} & 3,2N_{S_3} & 3,3N_{S_3} & \dots & I \\ I & Y_S^{T_{S_i}} & Y_S^{T_{S_i}} & Y_S^{T_{S_i}} & Y_S^{T_{S_i}} & \dots & I \\ I & i,0 & i,N_{S_i} & i,2N_{S_i} & i,3N_{S_i} & \dots & I \\ I & & i,2N_{S_i} & \vdots & T_{S_m} & \dots & I \\ I & [Y_S^{T_{S_m}} & Y_S^{T_{S_m}} & Y_S^{T_{S_m}} & Y_S^{T_{S_m}} & \dots] \\ & m,0 & m,N_{S_m} & m,2N_{S_m} & m,3N_{S_m} & \dots & \end{bmatrix} \quad (6)$$

En este sentido, el operador Skp se emplea para representar matemáticamente tal reducción y es la forma más natural de hacerlo. Esto permite eliminar de forma intencionada muestras y, así en este caso se sabe con certeza qué muestras son usadas al hacer la reducción y qué muestras no lo hacen, minimizando la incertidumbre que ocasiona no conocer las muestras no tomadas en cuenta.

Lo anterior permite definir el elemento de datos S^{T_0} del componente de medición de las señales externas, conformado por $Y_{S^{T_{S_0}}}$ ($N_{S_i}T_{S_i}$ -secuencia de $Y_{S^{T_{S_i}}}$).

2.1.2. Componente de Información y Estado MS.

Este componente hace lo necesario para representar las señales discretas $X_j, j \in Z^+, (j = 1, 2, \dots, p)$ que contienen la información interna de los estados de operación del multisensor, posiblemente para fines de diagnóstico, configuración o consulta por parte de la EB. Es un componente común en la estructura del SMs. Se pueden manipular haciendo las transformaciones MF digitales debidas y sustituciones de parámetros para caracterizarlas. Es importante señalar, que pudiera obtener la configuración de algún parámetro funcional o control local eminentemente digital, para aplicaciones de CPS. No obstante, en este trabajo solo se argumentará generalmente la señal discreta y su tratamiento

MF. CPS. No obstante, en este trabajo solo se argumentará generalmente la señal discreta y su tratamiento MF.

2.1.3. Componente de Preparación para el Enlace de Comunicación.

El módulo necesita disponer de un enlace de comunicación que se activa a $T_{Senlace}$ y proporciona la capacidad de transformación a los períodos de muestreo, como se formula en (7).

$$T_{Senlace} = N_{Senlacei} T_{Si}, N_{Senlacei} \in Z^+, T_{Senlace} \geq T_{S0} \quad (7)$$

La caja $\downarrow N_{Senlacei}$, Figura 1a, representa la operación del aumento del periodo de muestreo o Skp que prepara a $Y_{S^{Ts0}}$ a $T_{Senlace}$. Es decir, crea una $N_{Senlacei} T_{Si}$ -secuencia a partir de una T_{Si} -secuencia, donde la secuencia de salida es igual a la primera señal de cada grupo de $N_{Senlacei}$ muestras consecutivas de la señal de entrada, eliminando las $N_{Senlacei} - 1$ muestras de este grupo. Similar al caso de $Y_{S^{Ts0}}$, se comporta como un reductor de frecuencia, minimizando la incertidumbre que ocasiona no conocer las muestras que se descartan.

Si se considera B como el número de bytes que representa a un elemento de $Y_{S^{Ts}}$ y $Y_{S^{T_{Senlace}}}$, entonces se puede calcular la longitud PY_S en bytes de $Y_{S^{Ts}}$ cada T_{S0} con (8); y con (9) a $PY_{Senlace}$ cada $T_{Senlace}$ de $Y_{S^{T_{Senlace}}}$:

$$PY_S = Bm \sum_{i=1}^m N_{Si} \quad (8)$$

$$PY_{Senlace} = Bm \quad (9)$$

Por tanto, al aplicar el operador Skp y tomando $T_{Senlace} = T_{S0}$ da como resultado:

$$Y_{S^{T_{Senlace}}} = \begin{bmatrix} Y_{S^{Ts1}} & Y_{S^{Ts1}} & Y_{S^{Ts1}} & Y_{S^{Ts1}} & \dots & 1 \\ 1,0 & 1,N_{Senlace1} & 1,2N_{Senlace1} & 1,3N_{Senlace1} & \dots & 1 \\ Y_{S^{Ts2}} & Y_{S^{Ts2}} & Y_{S^{Ts2}} & Y_{S^{Ts2}} & \dots & 1 \\ 2,0 & 2,N_{Senlace2} & 2,2N_{Senlace2} & 2,3N_{Senlace2} & \dots & 1 \\ Y_{S^{Ts3}} & Y_{S^{Ts3}} & Y_{S^{Ts3}} & Y_{S^{Ts3}} & \dots & 1 \\ 3,0 & 3,N_{Senlace3} & 3,2N_{Senlace3} & 3,3N_{Senlace3} & \dots & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ Y_{S^{Tsi}} & Y_{S^{Tsi}} & Y_{S^{Tsi}} & Y_{S^{Tsi}} & \dots & 1 \\ i,0 & i,N_{Senlacei} & i,2N_{Senlacei} & i,3N_{Senlacei} & \dots & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ Y_{S^{Tsm}} & Y_{S^{Tsm}} & Y_{S^{Tsm}} & Y_{S^{Tsm}} & \dots & 1 \\ m,0 & m,N_{Senlacem} & m,2N_{Senlacem} & m,3N_{Senlacem} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

Si $T_{Senlace} > T_{S0}$, entonces $Y_{S^{T_{Senlace}}}$ solo tendría las muestras debidas a $N_{Senlacei}$ como está establecido.

Ahora bien, con $Y_{S^{T_{Senlace}}}$ y X_j se define el elemento de datos $E_z, z \in Z^+, (z = 1, 2, \dots, n)$ que es uniforme para las comunicaciones del SMS, siendo este:

$$E = \{(Y_{S^{T_{Senlace}}}), (X)\} \quad (11)$$

2.1.4. Variables Externas del MS para uso del Enlace.

En la Figura 3 se muestra la estructura MF para los esquemas de muestreo que facilita el análisis, imponiendo esquemas de muestreo regular con características de sincronización (secuencias que se repite cada T_{S0}), considerando un enlace de comunicación transmitiendo a $T_{Senlace}$. Se toman las señales provenientes de la medición del proceso o entorno que generan las señales discretas $Y_{S_i^{T_{Si}}}$ a períodos de muestreos T_{Si} , de los cuales se generan los $Y_{S^{Ts0}}$. Posteriormente, son sometidas a una

conversión digital-digital implementando la operación de Skp para E_z que adapta las exigencias del enlace a periodo $T_{Senlace}$, formando a $Y_S^{T_{Senlace}}$.

El muestreo general T_{S_0} agrupa a los T_{S_i} y, el $T_{Senlace}$ cumple con las condiciones explícitas por los periodos de muestreo en el enlace de comunicación. En el entendido que la longitud E_z está definida y se puede calcular por $PY_{Senlace}$ de (9).

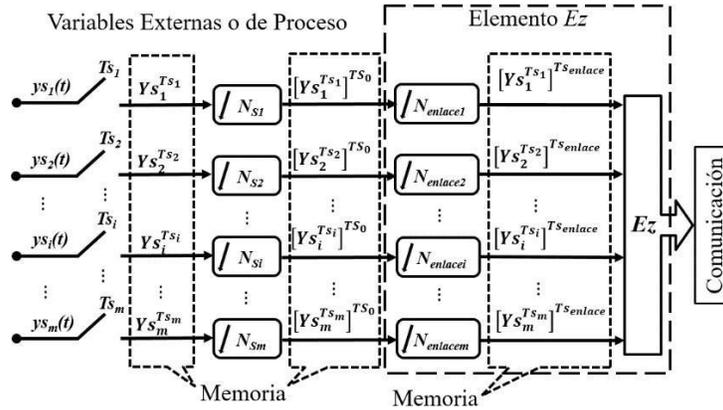


Figura 3. Estructura MF de las señales del MS para la transmisión de variables externas.

Al preparar $Y_S^{T_{Senlace}}$ y E_z se pueden presentar dos casos, que se consideran ideales, con $T_{Senlace} \geq T_{S_0}$. Uno, cuando los T_{S_i} son constantes e iguales y, otro con los T_{S_i} constantes y diferentes.

Cuando los T_{S_i} son iguales y $T_{Senlace} = T_{S_0}$, el número de muestras N_{S_i} de cada señal en T_{S_0} estarán disponibles para su comunicación. Sin embargo, cuando $T_{Senlace} > T_{S_0}$ solo las muestras involucradas para cada señal i en el nuevo $T_{Senlace}$ lo estarán. Lógicamente, existirá una inevitable pérdida de datos. El número de muestras descartadas para la transmisión se incrementará, a medida que $T_{Senlace}$ aumenta. Es importante señalar que se cumple que $T_{Senlace} = N_{S_0enlace} T_{S_0}$.

Por otro lado, si los T_{S_i} son diferentes, también lo son el número de muestras N_{S_i} de cada señal en T_{S_0} , es decir el número $Y_{S_i}^{T_{S_i}}$ serán variables, y algunas no consideradas en la transmisión con $T_{Senlace} \geq T_{S_0}$. Habrá una inevitable pérdida de datos y el número aumenta, a medida que $T_{Senlace}$ aumente, aun cuando fueron medidos, tratados y almacenados.

En la Figura 4 se ilustra el comportamiento de una señal $y_{S_i}(t)$ cuando de ejecuta Skp tanto para el T_{S_0} como para el enlace con $T_{Senlace} \geq T_{S_0}$, lo que ayuda a visualizar lo descrito anteriormente.

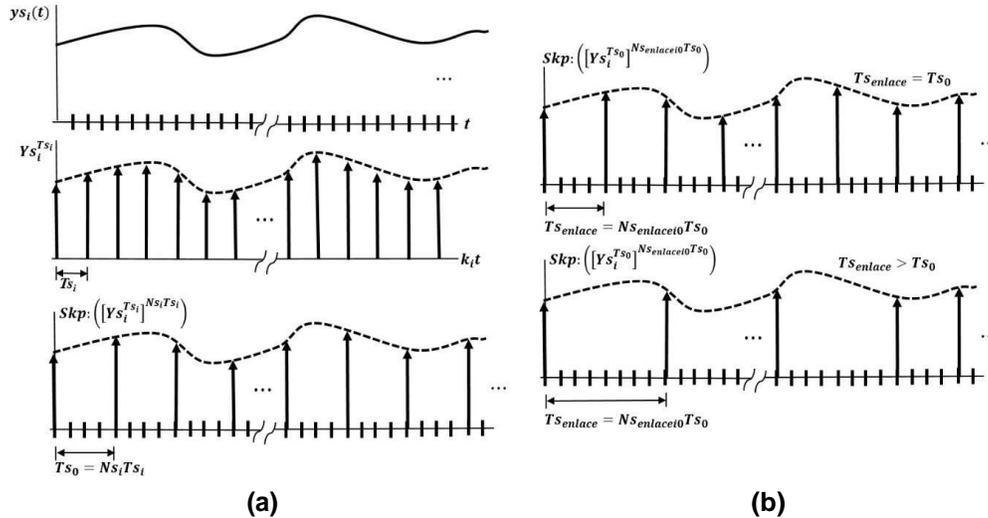


Figura 4. Comportamiento de $y_{s_i}(t)$ con el operador Skp . (a) Al obtener $Y_S^{T_{s_0}}$. (b) Al obtener $Y_S^{T_{senlace}}$.

En este punto merece destacarse la consideración de retardos al preparar E_z antes de que el enlace recoja el último y lo transmita. En esta materia, haciendo una generalización, se puede modelar considerando $T_{senlace} > T_{s_0}$, argumentando que E_z debe estar disponible para el enlace, por tanto al introducir el retardo $\Delta_{senlace}$ recogería tal consideración, mostrada en la Figura 5. No obstante, en la subsección 3.4 se retoma este aspecto en el ejemplo numérico. También, se conserva la sincronización entre los tiempos de muestreo involucrados.

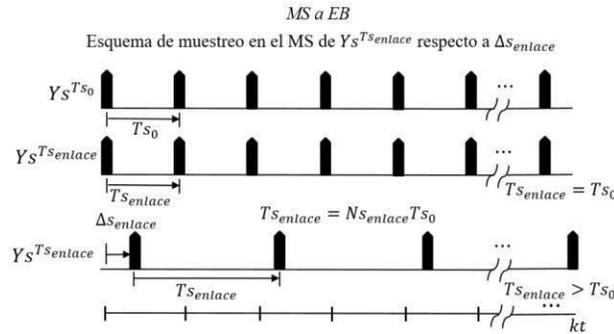


Figura 5. Evolución del muestreo en el MS de $E_z = Y_S^{T_{senlace}}$ respecto a $\Delta_{senlace}$.

2.2. Módulo Estación Base

En este punto se destacan los componentes del módulo EB, indicados en la Figura 1b, donde su insumo principal es el elemento de datos E_z indicado en (11). Su función es proveer información para el funcionamiento del SMS, siendo la interfaz entre el usuario y el sistema. Además, es receptor de datos, tanto sensoriales como de respuestas a las consultas, provenientes de los MS. Lo conforman los componentes: Preparación para el Enlace de Comunicación EB, Información y Estado EB y, Procesamiento de Datos Sensoriales del SMS.

2.2.1. Componentes de Preparación para el Enlace de Comunicación e Información y Estado EB.

En la parte superior central de la Figura 1b están dos componentes; uno, el de Preparación para el Enlace de Comunicación EB y otro de, Información y Estado EB, las cuales se explican a continuación.

Primero, la EB recibe al elemento de datos E_z , alojándolo en el Componente de Preparación para el Enlace de Comunicación con extensión EB en modo recepción a $T_{Senlace}$, discriminando sus elementos X_j y $Y_S^{T_{Senlace}}$, respectivamente.

Las X_j que llegan a la EB son asistidas por el Componente de Información y Estado, esta vez con extensión a la EB; también en este componente, es donde convergen y se atienden a otros datos internos de estado de la EB, producto de las funciones particulares de este. Es importante señalar, que estas X_j pudieran obtenerse por la configuración de algún parámetro funcional o control local, eminentemente digital enmarcadas en aplicaciones de CPS. No obstante, en este trabajo solo se argumenta de forma general las señales discretas y sus tratamientos MF a consultas realizadas a los MS.

Por otro lado, los datos sensoriales producto de la medición de las señales externas en cada MS ($Y_S^{T_{Senlace}}$) son enviadas al Componente de Datos Sensoriales para su procesamiento y utilización, el cual se define posteriormente.

Si alguna nueva petición por parte de la EB sucediera, se conformaría nuevamente el elemento X_j , que sería entregado al componente de Preparación para el Enlace de Comunicación en modo transmisión, con la diferencia que E_z estaría formada por X_j . La caja $\downarrow N_{enlace}$, de la Figura 1b, representa la operación de aumento del periodo de muestreo o Skp la cual prepara a X_j a $T_{Senlace}$, siendo una conversión digital-digital para conservar el estilo MF.

Como se mencionó anteriormente, estos componentes son comunes en la estructura del SMS, siendo utilizados por el sistema según sus funciones de MS o EB, respectivamente. Entonces, se pueden manipular haciendo las transformaciones MF digitales debidas y sustituciones de parámetros para caracterizarlas. Es decir que las operaciones MF se aplican en toda su extensión a las variables y conversiones digital a digital.

2.2.2. Componente de Procesamiento de Datos Sensoriales del SMS

Al ubicarse en la parte inferior derecha de la Figura 1b, está el componente de procesamiento de datos sensoriales provenientes de los Ms. Su objetivo va más allá de las secuencias ordenadas del mundo digital, con ellas se toman las decisiones del sistema. Para ello, se debe procesar al conjunto de muestras digitales con el fin de tomar conocimiento de las señales que se obtuvieron, y de manera natural representar el sistema físico, haciendo el tratamiento de datos, extracción de información, así como también, concentrar la información restante en valores que pueden ser usados como centro de entrada de los respectivos modelos.

De (11) se toma a $Y_S^{T_{Senlace}}$, siendo consecuencia de haber aplicado el operador Skp debido a que $T_{Senlace} \geq T_{S0}$.

En la EB se debe disminuir la frecuencia a las señales, en este caso con el operador de Exp , definido a continuación:

$$\begin{aligned}
 Exp: [Y_S^{N_{Senlace} T_{Si}} (Z_{N_{Senlace}})]^{T_{Si}} &\triangleq \mathcal{Y}_{Si} (Z^{N_{Senlace}}) \triangleq \\
 &\triangleq \sum_{k_i=0}^{\infty} \hat{\mathcal{Y}}(k_i T_{Si}) Z^{-k_i N_{Senlace}} \begin{cases} \hat{\mathcal{Y}}(k_i T_{Si}) = y_S(k_i T_{Si}); \forall k_i = \lambda N_{Senlace} \\ \hat{\mathcal{Y}}(k_q T_{Cu_q}) = 0; \forall k_q \neq \lambda N_{Cu_q} \end{cases} \lambda \in Z^+ \quad (12) \\
 [y_S^{N_{Senlace} T_{Si}}]^{T_{Si}} [k_i] &= \begin{cases} y_S^{N_{Senlace} T_{Si}} [k_i / N_{Senlace}], & \text{si } N_{Senlace} \text{ divide a } k_i \\ 0, & \text{de lo contrario.} \end{cases}
 \end{aligned}$$

Es decir, se crea una T_i -secuencia a partir de una $N_{ienlace} T_i$ -secuencia, donde la secuencia de salida es igual secuencia de entrada cada $N_{ienlace}$ muestreos (toma de la primera muestra), fijando en cero (0) los

$N_{ienlace}-1$ muestreos intermedios. Se reduce el periodo de muestreo por un factor $N_{ienlace}$, por tanto se incrementa la frecuencia por el mismo acto.

Entonces, como $Y_S^{N_{senlace}T_{Si}}$ debe incrementar las frecuencias de muestreo se utiliza el operador Exp definiendo las $Y_S E_i^{T_{Si}}$ en (13) con una dimensión $(m \times \sum_{i=1}^m N_{senlace})$, por cada $T_{Senlace}$.

$$Y_S E_i^{T_{Si}} = \left\{ \begin{bmatrix} Y_S^{T_{Si}} \\ q,0 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_S^{T_{Si}} \\ q,N_{senlace} \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_S^{T_{Si}} \\ q,2N_{senlace} \\ 0 \end{bmatrix} \dots \dots \right\} \quad (13)$$

Siguiendo con los operadores MF, también se usa el operador de Rpt que realiza la conversión de frecuencia mediante la réplica de muestras. Aquí se crea una T_{Si} -secuencia a partir de una $N_{senlace}T_{Si}$ -secuencia, replicando los $N_{senlace}-1$ muestreos intermedios, con lo cual resulta evidente que realiza un incremento de frecuencia.

$$Rpt: [Y_S^{N_{senlace}T_{Si}} (Z_{N_{senlace}})]^{T_{Si}} \quad (14)$$

Hay una relación directa entre los operadores Rpt y Exp . El operador Rpt es el resultado de una operación de Exp para incrementar la frecuencia seguida de una operación de retención para replicar $N_{senlace}-1$ veces la primera de cada grupo de $N_{senlace}$ muestras.

Entonces, como $Y_S^{N_{senlace}T_{Si}}$ deben incrementar las frecuencias de muestreo se utiliza el operador Rpt definiendo las $Y_S R_i^{T_{Si}}$ en (15) con una dimensión $(m \times \sum_{i=1}^m N_{senlace})$, por cada hiperperiodo o $T_{Senlace}$.

$$Y_S R_i^{T_{Si}} = \begin{bmatrix} F_{i,0}^{T_{Si}} & F_{i,N_{senlace}}^{T_{Si}} & F_{i,2N_{senlace}}^{T_{Si}} & 1 \\ Y_{i,0}^{T_{Si}} & Y_{i,N_{senlace}}^{T_{Si}} & Y_{i,2N_{senlace}}^{T_{Si}} & \dots \end{bmatrix} \dots \quad (15)$$

Para más detalles del operador Exp y Rpt consulte las referencias MF indicadas en este trabajo, siendo algunas de ellas Meinsma y Mirkin (2010a), Oppenheim et al. (2013), Salt J. y Albertos P. (2005) y Salt et al. (2014).

Así mismo, se pueden utilizar algoritmos para recuperar o estimar datos, dados una serie parcial de ellos. Uno de éstos es la interpolación mediante trazadores (splines) que estima valores intermedios entre datos definidos y está documentado en varios textos (Chapra y Canale, 2015; Goyal y Dhingra, 2019; Lathi y Green, 2019). Aquí, no se pretende un estudio exhaustivo de dicha interpolación, solo presentarla como ejemplo a seguir. En este trabajo los puntos considerados son los datos obtenidos de $Y^{T_{enlace}}$ que después de ejecutar el algoritmo se obtendrá el $YI_{i,k_i}^{T_i}$, que representa las señales externas del SMS procesadas.

2.2.3. Variables Externas del MS en la EB.

Cuando E_z llega a la EB, la $Y_S^{T_{senlace}}$ debe ser tratada según los objetivos que se persigan, siendo algunos, el monitoreo y observación de las variables para la toma de decisiones, cerrar lazos de sistemas de control remoto, ser usados para CPS, etc. Por tanto, es imprescindible hacer el procesamiento de las señales necesarias para observar los periodos de muestreo de origen. Aquí se plantean dos casos de interés científico y práctico respecto a lo que sucede con las muestras transmitidas desde MS y sus procesamientos, en el receptor o EB. Una dirigida por las restricciones que imponen las aplicaciones que han sido diseñadas a periodo de muestreo de origen. Otra, cuando se monitorean señales para obtener

características que pueden ser utilizadas en la obtención de modelos, y debido a los efectos del enlace de comunicación se presentan ausencias de algunas muestras.

Para el primer caso, la señal $Y_S^{T_{senlace}}$ debe someterse a una transformación de período de muestreo, observando que $T_{senlace} \geq T_{s_0}$, donde se requiere muestras a instantes T_{s_i} . Esto sucede cuando del lado del receptor pudiera estar un controlador discreto remoto, que es diseñado a T_{s_i} . O, se necesita sincronizar algoritmos que dependen del tiempo de muestreo origen. En este caso, se utilizan los operadores MF *Exp* y *Rpt* dependiendo del objetivo que se persiga. Se tiene en cuenta que $T_{senlace} = N_{senlace} T_{s_i}$.

En la Figura 6 se muestran los casos aplicando lo anteriormente descrito, $Y_S^{E^{T_{s_i}}}$ y $Y_S^{R^{T_{s_i}}}$, en sus literales a y b, cuando T_{s_i} son constantes e iguales y constantes y diferentes, respectivamente.

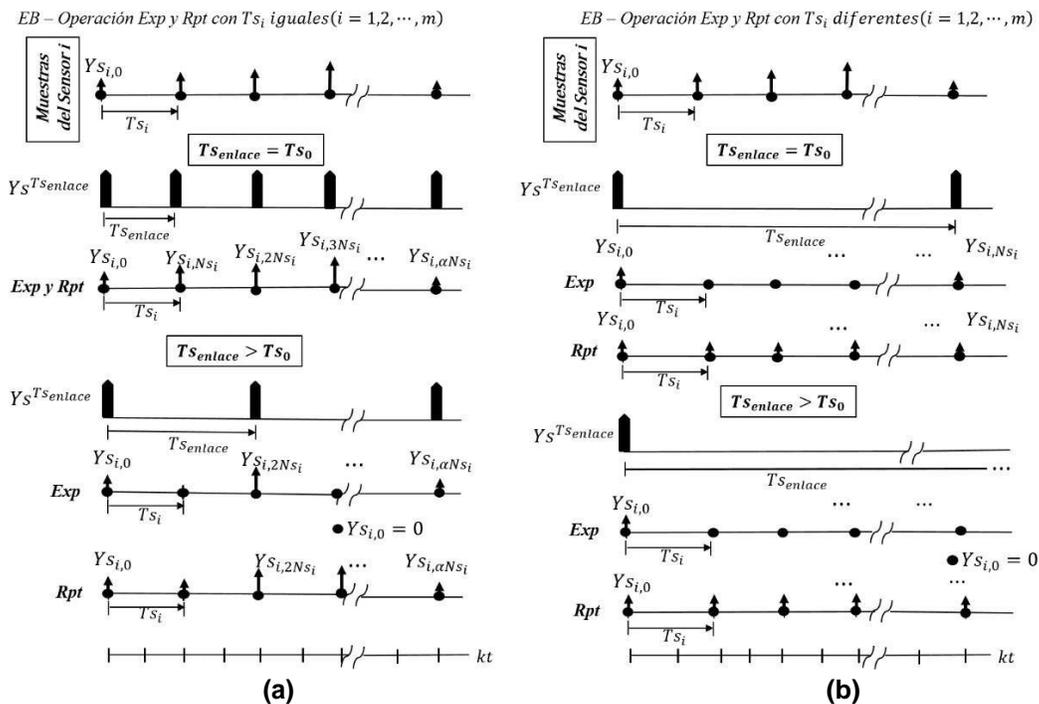


Figura 6. Evolución del muestreo en la EB aplicando *Exp* y *Rpt* con $T_{senlace} \geq T_{s_0}$. (a) T_{s_i} son iguales. (b) T_{s_i} diferentes.

En la Figura 7 se presenta el comportamiento de la señal $Y_S^{T_{senlace}}$ una vez que se ejecuta la operación MF *Exp* ($Y_S^{E^{T_{s_i}}}$) y *Rpt* ($Y_S^{R^{T_{s_i}}}$), así como también la ilustración al procesar los datos interpolando mediante trazadores cúbicos ($Y_S^{I^{T_{s_i}}}$).

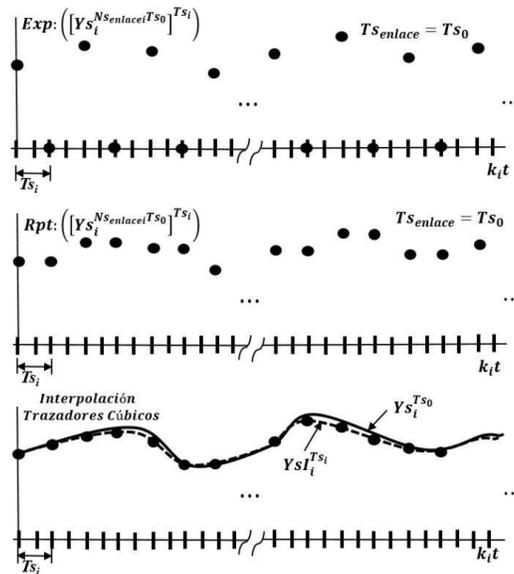


Figura 7. Comportamiento de $y_{S_i}(t)$ bajo *Exp*, *Rpt* e Interpolación mediante trazadores cúbicos.

3. RESULTADOS

En esta sección se presenta un escenario de aplicación mediante la simulación como ejemplo numérico para demostrar la efectividad del modelo SMs MF, con un MS y EB en presencia de un enlace de comunicación.

En el SMs se identifican el MS y una EB que tienen un enlace de comunicación. Ambiente sensores cercanos de exteriores en aplicaciones de Agricultura de Precisión. El MS mide señales externas de Temperatura del Aire (TA), Humedad Relativa del Aire (HR) y Temperatura del Suelo (TS). Las variables internas de consulta son Nivel de Carga de la Batería (Bat) (condición inicial 20%) y Memoria Utilizada (MU) (condición inicial: 10% MS y 50% EB) del MS y EB, respectivamente. La simulación de Bat y MU no se presenta en detalle, debido a que sus valores están disponibles en el tiempo, además el procedimiento del tratamiento de las señales son discretas, siendo sus tiempos de entrega son $T_{d_r} = [20 \quad 20]$ min.

Por tanto se hace énfasis en las señales externas del MS. Los modelos utilizados son de primer orden que se manifiestan en la literatura de los Sistemas de Control (Dorf y Bishop, 2017) y sus parámetros han sido calculados usando datos suministrados de diferentes referencias, entre las cuales se encuentran, Muangprathuba et al. (2019) y Sabri et al. (2012).

Se utiliza el software de simulación de análisis numérico computacional de código abierto Scilab (Scilab, 2020) soportado por Engineering System International Group (<https://www.scilab.org/>) para la solución de problemas en los ámbitos de los sistemas de control, el procesamiento de señales y otras aplicaciones matemáticas.

El objetivo que se persigue es simular el SMs con las características indicadas anteriormente, siguiendo los casos que a continuación se indican:

1. Esquemas de muestreo convencional considerando el enlace de comunicación a $T_{Senlace}$ arbitrario, los T_{S_i} pueden ser constantes y diferentes.
2. Esquemas de muestreo regular con características de sincronización (secuencias que se repite cada T_{S_0}), considerando el enlace de comunicación a $T_{Senlace} \geq T_{S_0}$, con T_{S_i} ($i = 1,2,3$) son constantes, iguales.

3. Esquemas de muestreo regular con características de sincronización (secuencias que se repite cada T_{S_0}), considerando el enlace de comunicación a $T_{Senlace} \geq T_{S_0}$, con T_{S_i} ($i = 1,2,3$) son constantes, diferentes.
4. Esquemas de Muestreo con T_{S_i} constantes y diferentes con retardos en espera de la activación del enlace a $T_{Senlace}$.

3.1. Caso Uno: Esquemas de Muestreo Convencional

Los datos ingresados para la simulación son $T_{S_i} = [20 \quad 20 \quad 20]$ min y $T_{Senlace} = 60$ min y 120 min, respectivos a los escenarios planteados.

En la Figura 8a están las salidas de las variables externas TA, HR y TS tomadas de los respectivos sensores del MS con los T_{S_i} indicados y se despliegan sin contratiempos, durante 24 horas. Por su parte la Figura 8b se hace una simulación variando $T_{Senlace} = 6$ unidades (60 min) para las primeras doce horas y 12 unidades (120 min) las siguientes horas. Con lo que se corrobora la notoria pérdida de datos en el momento de la transmisión al utilizar el enlace de comunicación, la cual es aleatoria porque depende del $T_{Senlace}$, lo que podría traer consecuencias del lado del receptor (EBP) al necesitar los datos o una buena aproximación de los comportamientos de los procesos, que están ocurriendo en el MS para la toma de decisiones. Pudiendo mencionar, inconvenientes al establecer controladores remotos, por el asunto de sus diseños, donde se ejecuten algoritmos para recuperar datos ausentes y sistemas que aplican fusión e integración de sensores, entre otros.

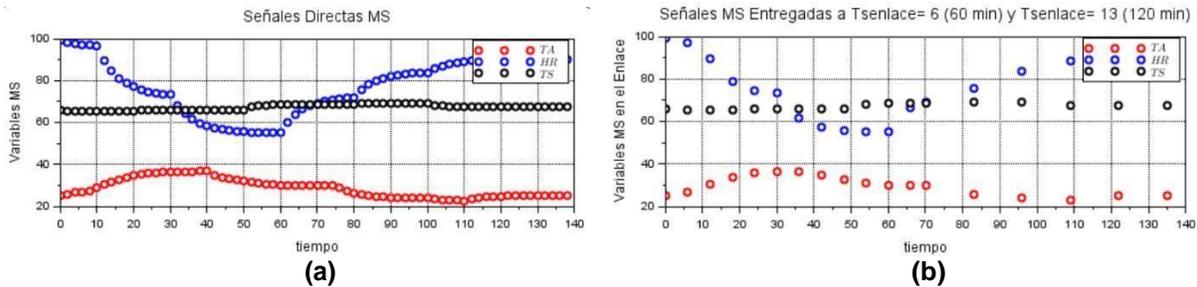


Figura 8. Salidas de las variables externas del MS TA, HR y TS del MS muestreo convencional. a) Directas del MS. b) Entregadas al Enlace con $T_{Senlace} = 60$ min y 120 min.

3.2. Caso Dos: Esquemas de Muestreo con T_{S_i} constantes, iguales y $T_{Senlace} \geq T_{S_0}$.

En las dos subsecciones siguientes se presentan los resultados de la simulación cuando T_{S_i} son constantes e iguales, con $T_{Senlace} = T_{S_0}$ y $T_{Senlace} > T_{S_0}$, respectivamente. Se sigue las visualizaciones con las salidas de las variables internas y externas.

3.2.1. Esquemas de Muestreo con T_{S_i} constantes, iguales y $T_{Senlace} = T_{S_0}$.

Los datos a ingresar para la simulación son $T_{S_i} = [20 \quad 20 \quad 20]$ min, y $T_{Senlace} = 2$ o 20 min. Después de la simulación se generan las señales para 24 horas.

La Figura 9a representa el comportamiento de las señales externas en el MS, desde los sensores y cuando está preparada para el enlace de comunicación, una vez aplicado la operación Skp . La Figura 9b están las señales externas, provenientes del MS, que son tratadas en la EB, aplicando las operaciones Exp , Rpt . Como sus T_{S_i} iguales y $T_{Senlace} = T_{S_0}$, todas las muestras de las señales medidas por los sensores externos son tomadas por el enlace de comunicación y entregadas a la EB.

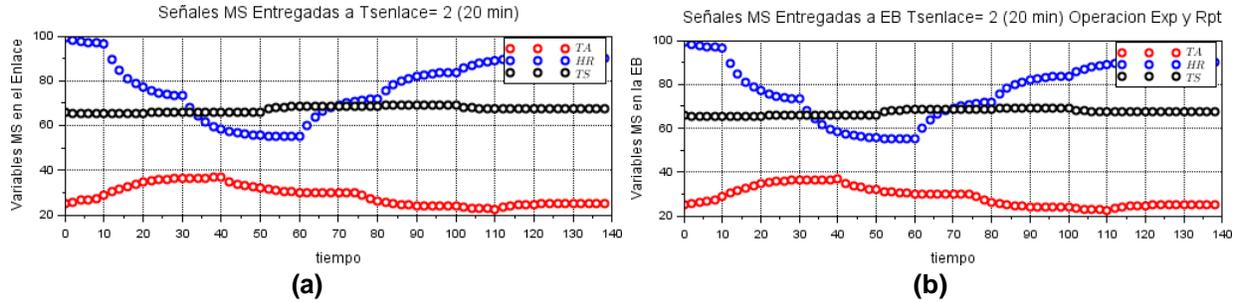


Figura 9. Salidas de las variables externas del MS con T_{S_i} constantes e iguales y $T_{Senlace} = T_{S_0}$. a) En MS con operador *Skp*. b) En la EB con operadores *Exp* y *Rpt*.

3.2.2. Esquemas de Muestreo con T_{S_i} constantes, iguales y $T_{Senlace} > T_{S_0}$.

Los datos a ingresar para la simulación son $T_{S_i} = [20 \quad 20 \quad 20]$ min y $T_{Senlace} = 6$ o 60 min. Después de la simulación se generan las señales en 24 horas.

La Figura 10, destaca las salidas de las variables externas entregadas al enlace después de aplicar la operación *Skp* del MS. En la Figura 11 están las señales externas que son tratadas en la EB, aplicando las operaciones *Exp*, *Rpt* e interpolación mediante trazadores. Observando, que al no estar todas las muestras disponibles porque $T_{Senlace} > T_{S_0}$, lo que lleva a que los factores N_{S_i} sean iguales a tres (3), arrojando como resultado lo presentado. Por tanto, con *Exp* inserta muestras en cero y con *Rpt* repite la última muestra ingresada y lleva a una disminución de los tiempos de muestreo.

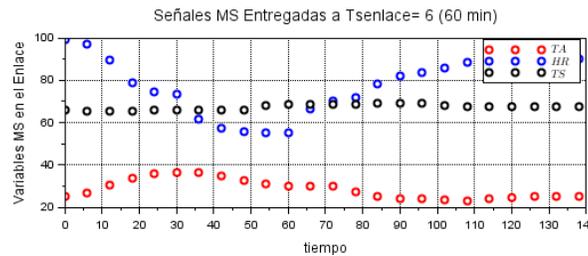


Figura 10. Salidas de las variables externas *Skp* del MS, T_{S_i} constantes e iguales y $T_{Senlace} > T_{S_0}$.

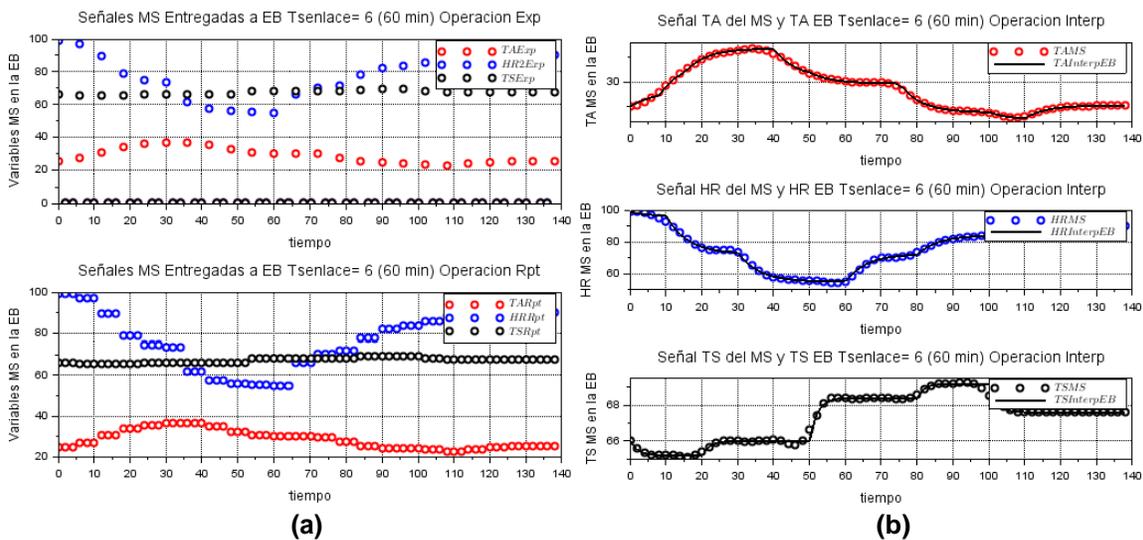


Figura 11. Salidas de las variables externas del MS en la EB con T_{S_i} constantes e iguales. a) Operador *Exp* (superior), Operador *Rpt* (inferior). b) Interpolación caso $T_{Senlace} > T_{S_0}$.

3.3. Caso Tres: Esquemas de Muestreo con T_{S_i} constantes, diferentes y $T_{Senlace} \geq T_{S_0}$.

En las dos subsecciones siguientes se presentan la discusión y resultados de la simulación cuando T_{S_i} son constantes, diferentes y $T_{Senlace} = T_{S_0}$ y $T_{Senlace} > T_{S_0}$. Haciendo una prueba cuando el $T_{Senlace}$ es variable.

3.3.1. Esquemas de Muestreo con T_{S_i} constantes, diferentes y $T_{Senlace} = T_{S_0}$.

Para consolidar este caso, se utilizan los datos $T_{Senlace} = 6$ o 60 min y $T_{S_i} = [20 \quad 30 \quad 20]$ min. Después de la simulación se generan las señales en 24 horas.

La Figura 12 representa el comportamiento de las señales externas en el MS, desde los sensores y cuando está preparada para el enlace de comunicación, una vez aplicado la operación *Skp*. Como sus T_{S_i} diferentes y el $T_{Senlace} = T_{S_0}$, no todas las muestras de las señales medidas por los sensores externos son tomadas por el enlace de comunicación. El número de muestras por señal está determinada por N_{S_i} . El número de muestras no consideradas por el enlace para TA, HR y TS son dos (2), una (1) y dos (2) y en este caso se saben cuáles son, porque el *Skp* prepara la primera muestra contenida en el $T_{Senlace}$. Lo que trae ventajas al querer reproducir estos datos ausentes.

En las Figura 13 están las señales externas, provenientes del MS, que son tratadas en la EB aplicando las operaciones *Exp*, *Rpt* e interpolación mediante trazadores. Observando, que las muestras disponibles ocurren cada $T_{Senlace}$, al necesitar alimentar algún procedimiento que necesite llevarlas a los T_{S_i} , es cuando los operadores entran en función. El *Exp* aumenta el periodo de muestreo a T_{S_i} haciendo las muestras ausentes igual a cero, por el contrario, el *Rpt* repetirá la última muestra que llega del enlace. Lo que hace atractivo incorporar estos operadores.

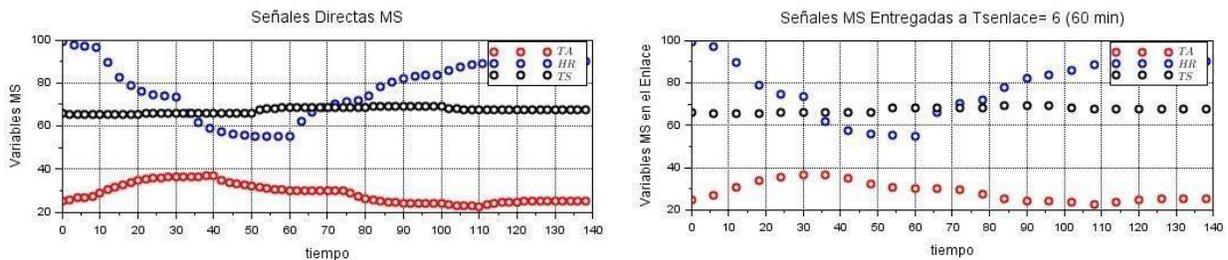


Figura 12. Salidas de las variables externas del MS con T_{S_i} constantes, diferentes y $T_{Senlace} = T_{S_0}$. TA, HR y TS (superior). Operador *Skp* TA, HR y TS (inferior).

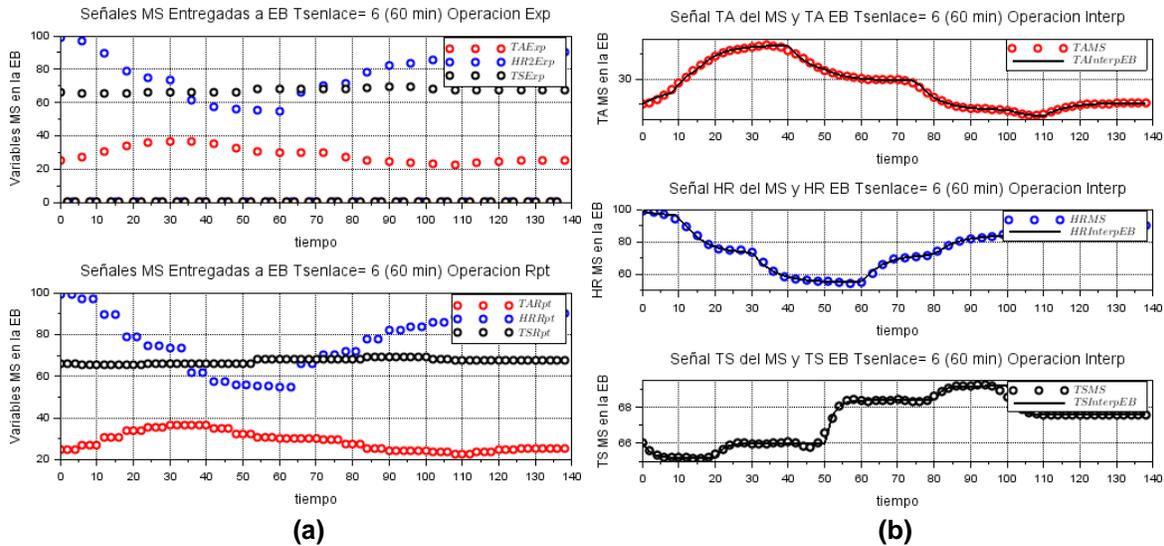


Figura 13. Salidas de las variables externas del MS en la EB. a) Operador *Exp* (superior) y Operador *Rpt* (inferior). b) Interpolación caso $T_{Senlace} = T_{S0}$.

3.3.2. Esquemas de Muestreo con T_{S_i} constantes, diferentes y $T_{Senlace} > T_{S0}$.

En este caso, se utilizan los datos $T_{Senlace} = 12$ o 120 min, pudiendo ser otro. Con $T_{S_i} = [20 \ 30 \ 20]$ min, $T_{cs_r} = [20 \ 20]$ min. Después de la simulación se generan las señales en 24 horas.

La Figura 14 representa el comportamiento de las señales externas en el MS, desde los sensores y cuando está preparada para el enlace de comunicación, una vez aplicado la operación *Skp*. Como sus T_{S_i} son diferentes y el $T_{Senlace} > T_{S0}$, no todas las muestras de las señales medidas por los sensores externos son tomadas por el enlace de comunicación.

En las Figura 15 están las señales externas, provenientes del MS, que son tratadas en la EB, aplicando las operaciones *Exp*, *Rpt* e interpolación mediante trazadores. Observando, que al no estar todas las muestras disponibles porque el enlace impone $T_{Senlace} > T_{S0}$, lo que lleva a que los factores N_{S_i} sean diferentes, arrojando como resultado lo presentado. Por tanto, *Exp* inserta muestras en cero y el *Rpt* repite la última muestra ingresada y llevar a un aumento de los respectivos tiempos de muestreo, lo que es conveniente si es necesario, ingresar dichos datos en controladores a un muestreo dado.

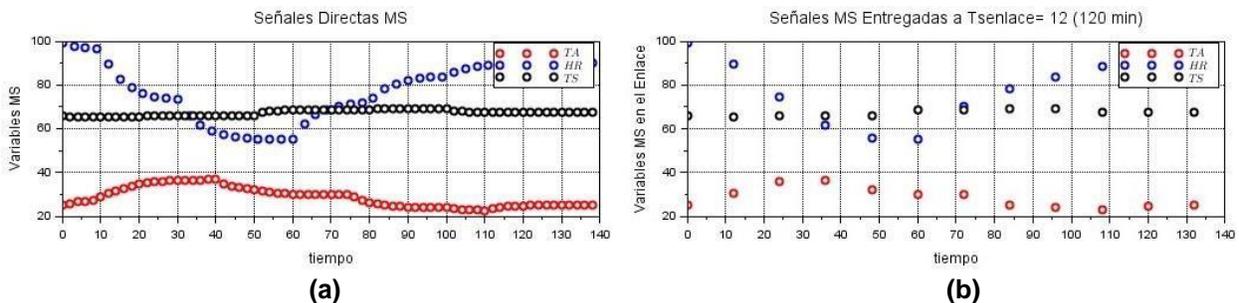


Figura 14. Salidas de las variables externas del MS con T_{S_i} constantes, diferentes y $T_{Senlace} > T_{S0}$. a) TA, HR y TS. b) Operador *Skp* TA, HR y TS.

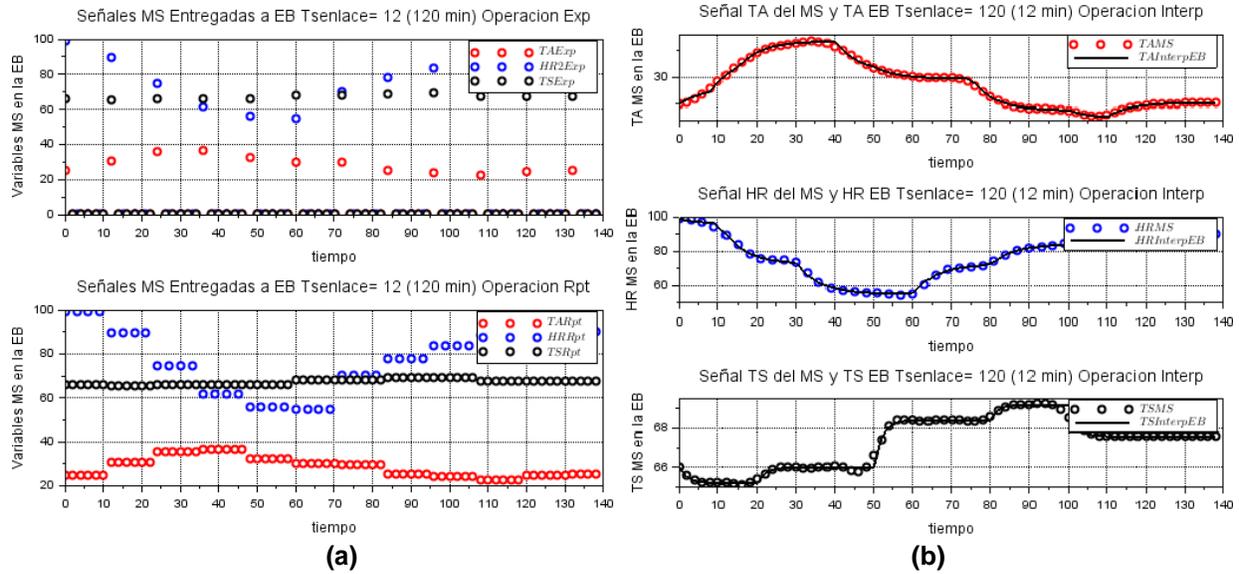


Figura 15. Salidas de las variables externas del MS en la EB con T_{S_i} constantes, diferentes y $T_{Senlace} > T_{S_0}$. A) Operador *Exp* (superior), Operador *Rpt* (inferior). b) Interpolación

3.4. Caso Cuatro: Esquemas de Muestreo con T_{S_i} constantes y diferentes con retardos en espera de la activación del enlace.

Los casos anteriores permiten el análisis de un SMS al variar parámetros dentro de los sistemas MF, haciendo énfasis en las muestras medidas por los respectivos sensores (externos e internos) llevándolos al límite temporal regido por el $T_{Senlace}$, es decir el plazo de finalización para la preparación de los datos que serán entregados al enlace de comunicación.

No obstante, existen otros en los cuales dichas muestras deben esperar ser atendidas por el enlace ocasionando retardos (ΔS_{enlace}). Debido a las esperas que se presentan al preparar E_z , antes de que la política de arbitraje del medio compartido señale que recoja el último y lo transmita. Con tal fin, se estableció previamente la condición $T_{Senlace} > T_{S_0}$ para modelar esta situación, donde E_z debe estar disponible para el enlace. Por tanto, al introducir el retardo ΔS_{enlace} se seguiría recogiendo dichos datos, hasta una eventual sincronización con $T_{Senlace}$, asunto que se presentó en la Figura 5. Vale la pena destacar, que estos retardos también pueden ser ocasionados por otros motivos, siendo su tratamiento similar. Uno de ese motivos son los retardos ocasionados por las interrupciones del procesador al ejecutar la adquisición de las muestras en los procesos.

En la Figura 16 se presenta la ejemplificación del caso a considerar, donde las muestras que están listas y esperan el establecimiento del enlace aparecen enmarcadas en un cuadrado y con un triángulo las que están listas justo en el tiempo límite dado por $T_{Senlace}$. Observando que en la línea indicada con nueve (9), cuando se activa el $T_{Senlace}$, dos (2) muestras están esperando y una (1) llega al límite, logrando conformar a E_z y ocupan el enlace. Para el siguiente $T_{Senlace}$, se observa que todas las muestras llegan con el tiempo límite, se preparan en E_z y ocupan el enlace. Esto último sucede por la sincronización entre los tiempos de muestreo y $T_{Senlace}$. También hay muestras que no son atendidas por el enlace produciendo lo que se llama, datos ausentes.

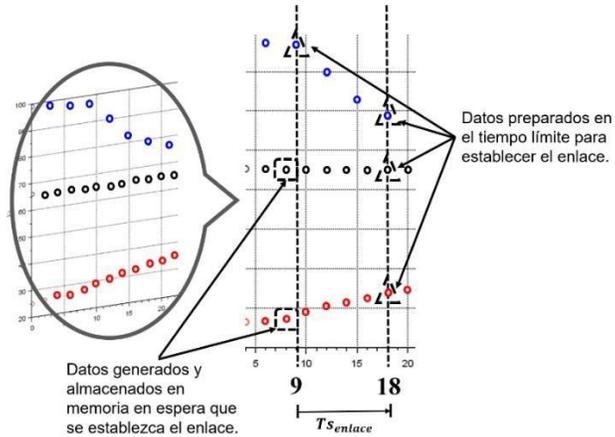


Figura 16. Salidas de las variables del MS con T_{S_i} constantes, diferentes y $T_{Senlace} > T_{S_0}$ ampliada para enfatizar las muestras generadas, almacenadas y las que están listas cuando se establece el enlace.

Para la simulación se utilizan los datos $T_{Senlace} = 9$ o 90 min para forzar los $\Delta_{Senlace}$, pudiendo ser otro, con $T_{S_i} = [20 \quad 30 \quad 20]$ min. Después de la simulación se generan las señales en 24 horas.

La Figura 17 representa el comportamiento de las señales externas en el MS, desde los sensores y cuando está preparada para el enlace de comunicación, una vez aplicado la operación Skp . Como sus T_{S_i} diferentes y el $T_{Senlace} > T_{S_0}$. En esta oportunidad se hace con más detalle, debido a que se desea resaltar lo que sucede con las muestras de TA y TS cuando presentan el $\Delta_{Senlace}$ y HR se alinea cuando se activa $T_{Senlace}$. También se hace una proyección a la gráfica en la parte superior donde se resalta muestras de TA y TS que están alcanzando a $T_{Senlace}$ pero no son consideradas en la transmisión. Esto es debido a los parámetros MF utilizados en la preparación de E_z , como condición para la comunicación. Por supuesto no todas las muestras de las señales medidas por los sensores externos son tomadas por el enlace de comunicación.

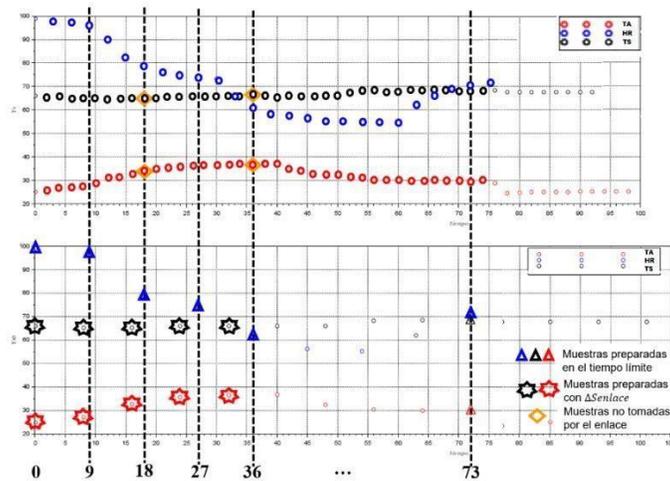


Figura 17. Salidas de las variables externas del MS con T_{S_i} constantes, diferentes y $T_{Senlace} > T_{S_0}$ en detalle. TA, HR y TS (superior). Operador Skp TA, HR y TS (inferior).

En las Figura 18 están las señales externas, provenientes del MS, tratadas en la EB con Exp , Rpt e interpolación mediante trazadores. Observando que al no estar todas las muestras disponibles porque el enlace impone $T_{Senlace} > T_{S_0}$, lleva a que los factores N_{S_i} sean diferentes. La importancia de tener información del número de muestras originales de cada señal y el momento cuando ocurren, incluyendo

las ausentes, dan una ventaja a los operadores *Exp*, *Rpt* e interpolador mediante trazadores cúbicos, poder generar las respectivas señales en la EB.

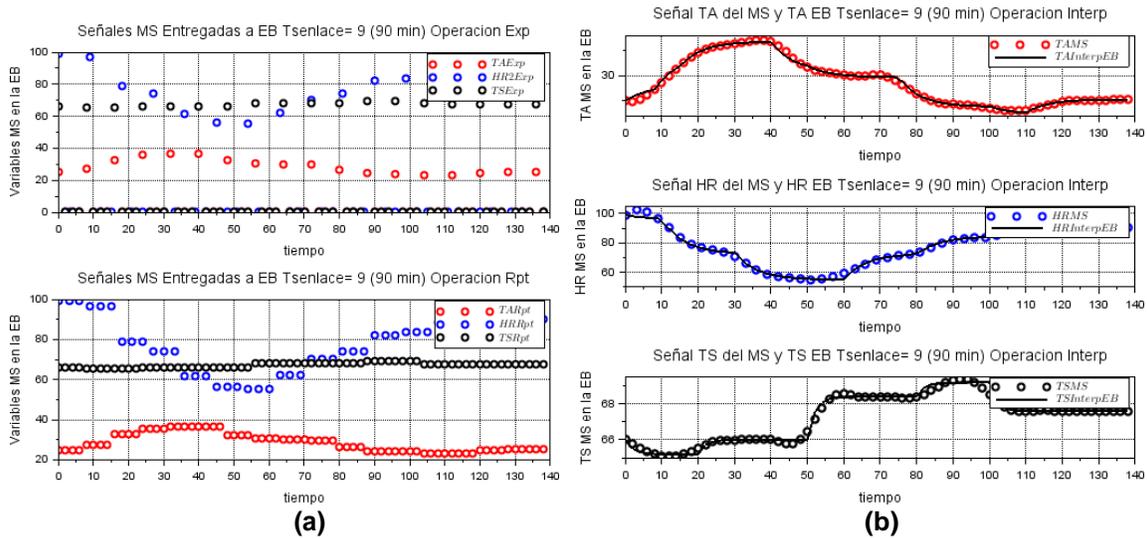


Figura 18. Salidas de las variables externas del MS en la EB con T_{Si} constantes y diferentes, $T_{Senlace} > T_{S0}$. a) Operador *Exp* y *Rpt*. b) Interpolación mediante trazadores.

4. CONCLUSIONES

Se desarrolla un modelo de sistema multisensor considerando múltiples señales con periodos de muestreo que pueden ser diferentes del proceso y datos de estado, incluyendo la limitación temporal del enlace de comunicación. El sistema consta de los componentes: multisensor, enlace de comunicación y estación base. Además, se desarrolló un modelo de simulación en Scilab/Xcos para ejercitar diferentes escenarios.

El modelo definido bajo los lineamientos del muestreo no convencional permite analizar la influencia que tienen los diferentes tiempos de muestreo de las múltiples señales con periodos de muestreo que pueden ser diferentes del proceso y datos de configuración tratadas y generadas por el multisensor, como sucede en la realidad, ya que se establecen esquemas de muestreo que propician contabilizar el número de muestras que recoge el multisensor en un periodo global. También se contribuye al estudio del enlace de comunicación que impone una restricción temporal $T_{Senlace}$ respecto a la limitación en las frecuencias de muestreo de las señales transmitidas y recibidas.

El modelo ofrece un perfil temporal de las secuencias de datos sensoriales bajo diferentes esquemas de muestreo, permitiendo presentar la evolución de las señales con pérdidas o ausencias de muestras, las cuales al ser tratadas sistemáticamente con operadores multifrecuencia y funciones de interpolación para su reconstrucción, mitigan ciertas ausencias de datos y conducen a resultados utilizables para la abstracción del mundo real.

El modelo permite definir las especificaciones funcionales de diseño en la descripción del sistema computacional empotrado guiado por la arquitectura de un sistema multisensor. Así como también, colaborar con la misión de proveer mecanismos, que en forma temprana, sean capaces de presentar escenarios para analizar y tomar decisiones.

Finalmente, la efectividad del modelo se ilustra mediante simulaciones numéricas.

AGRADECIMIENTOS

REFERENCIAS

- Akyildiz, I. F. y Kasimoglu, I. H. (2004). Wireless Sensor and Actor Networks: Research Challenges. *Ad Hoc Networks Journal*, 2(4), 351-367. <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2004.04.003>
- Albertos, P. y Salt, J. (2011). Non-Uniform Sampled-Data Control of MIMO Systems. *Annual Reviews in Control*, 35(1), 65–76. <https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2011.03.004>
- Aranda-Escolástico, E., Salt, J., Guinaldo, M., Chacón, J. y Dormido, S. (2018). Optimal Control for Aperiodic Dual-Rate Systems With Time-Varying Delays. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 18(5), 1-19. Article 1491. <https://dx.doi.org/10.3390/s18051491>
- Bamieh, B. y Pearson, J.B. (1991). A lifting technique for linear periodic systems with applications to sampled-data control. *Systems & Control Letters*, 17(2), 79–88. [https://doi.org/10.1016/0167-6911\(91\)90033-B](https://doi.org/10.1016/0167-6911(91)90033-B)
- Chapra, S. y Canale, R. (2015). *Métodos Numéricos para Ingenieros* (7ª ed.). McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. de C.V.
- Cimino, M. y Pagilla, P. R. (2010). Design of linear time-invariant controllers for multirate systems. *Automatica*, 46, 1315-1319.
- Coffey, T. C. y Williams, I. J. (1966). Stability Analysis of Multiloop, Multirate Sampled Systems. *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, 4(12), 2178–2190. <https://doi.org/10.2514/3.3874>
- Crochiere, R. E. y Rabiner, L. R. (1981). Interpolation and decimation of digital signals—A tutorial review. *Proceedings of the IEEE*, 69(3), 300-331. <https://doi.org/10.1109/PROC.1981.11969>
- Deb Majumder, B., Roy, J. K. y Padhee, S. (2019). Recent Advances in Multifunctional Sensing Technology on a Perspective of Multi-Sensor System: A Review. *IEEE Sensors Journal*, 19(4), 1204-1214. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2018.2882239>
- Ding, F., Qiu, L. y Chen, T. (2009). Reconstruction of continuous-time systems from their non-uniformly sampled discrete-time systems. *Automatica*, 45(2), 324 – 332. <https://doi.org/10.1016/j.automatica.2008.08.007>
- Dorf, R. C. y Bishop, R. H. (2016). *Modern Control Systems* (13th ed.). Pearson Education Limited.
- Ghosal, M. y Rao, V. (2019). Fusion of Multirate Measurements for Nonlinear Dynamic State Estimation of the Power Systems. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 10(1), 216-226. <https://doi.org/10.1109/TSG.2017.2737359>
- Glasson, D. P. (1983). Development and Applications of Multirate Digital Control. *IEEE Control Systems Magazine*, 3(4), 2-8. <https://doi.org/10.1109/MCS.1983.1104772>
- Godbout, L. F., Jordan, D. y Apostolakis, I. S. (1990) Closed-loop model for general multirate digital control systems. *IEE Proceedings D - Control Theory and Applications*, 137(5), 329-336. <https://doi.org/10.1049/ip-d.1990.0043>
- Goyal, R. y Dhingra, M. (2019). *Programming in Scilab*. Alpha Science.
- Ha, S. y Teich, J. (Ed). (2017). *Handbook of Hardware/Software Codesign*. Springer Science+Business Media. <https://doi.org/10.1007/978-94-017-7267-9>

- ISO/IEC/IEEE. (2010a). *ISO/IEC/IEEE 21451-1: 2010. Information technology -- Smart transducer interface for sensors and actuators -- Part 1: Network Capable Application Processor (NCAP) information model*. <http://doi.org/10.1109/IEEESTD.2010.5668469>
- ISO/IEC/IEEE. (2010b). *ISO/IEC/IEEE 21450: 2010. Information technology -- Smart transducer interface for sensors and actuators. Common functions, communication protocols, and Transducer Electronic Data Sheet (TEDS) formats*. <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2010.5668466>
- Jia, X., Ma, W., Yang, F. y Zhang, D. (2017). *Matching mechanism for networked control systems with multirate sampling*. *Institution of Engineering & Technology Control Theory & Applications*, 11(16), 2848-2857. <https://doi.org/10.1049/iet-cta.2017.0039>
- Kakarla J., Majhi, B. y Battula, R. B. (2015). "Comparative Analysis of Routing Protocols in Wireless Sensor-Actor Networks: A Review". *International Journal of Wireless Information Networks*, 22, 220–239. <https://doi.org/10.1007/s10776-015-0271-2>
- Kordestani, M., Dehghani, M., Moshiri, B. y Saif, M. (2020). A New Fusion Estimation Method for Multi-Rate Multi-Sensor Systems With Missing Measurements. *IEEE Access*, 8, 47522-47532. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2979222>
- Kranc, G. (1957). Input-output Analysis of Multirate Feedback Systems. *Institute of Radio Engineers Transactions Automatic Control*, 3(1), 21–28. <https://doi.org/10.1109/TAC.1957.1104783>
- Laszlo, C. y Zhexembayeva, N. (2011). *Embedded Sustainability. The Next Big Competitive Advantage*. Stanford University Press. <https://doi.org/10.4324/9781351278324>
- Lathi, B. P. y Green, R. A. (2019). *Essentials of Digital Signal Processing*. Cambridge University Press.
- Liu, Y., Peng, Y., Wang, B. L., Yao, S. R. y Liu, Z. H. (2017). Review on Cyber-physical Systems. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, 4(1), 27-40. <https://doi.org/10.1109/JAS.2017.7510349>
- Meinsma, G. y Mirkin, L. (2010a). Sampling from a system-theoretic viewpoint: part I concepts and tools. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 58(7), 3578–359. <https://doi.org/10.1109/TSP.2010.2047641>
- Meinsma, G. y Mirkin, L. (2010b). Sampling from a system-theoretic viewpoint: Part II - Noncausal solutions. *IEEE transactions on signal processing*, 58(7), 3591-3606. <https://doi.org/10.1109/TSP.2010.2047642>
- Muangprathuba, J., Boonnam, N., Kajornkasirata, S., Lekbangpong, N., Wanichsombata, A. y Nillaor, P. (2019). IoT and Agriculture Data Analysis for Smart Farm. *Computers and Electronics in Agriculture*, 156, 467-474. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.12.011>
- Nwe, M. S. y Tun, H. M. (2017). Implementation of Multisensor Data Fusion Algorithm. *International Journal of Sensors and Sensor Networks*, 5(4), 48–53. <https://doi.org/10.11648/j.ijssn.20170504.11>
- Oppenheim, A. V., Willsky, A. S. y Hamid Nawab, S. (2013). *Signals and Systems: Pearson New International Edition* (2nd ed.). Pearson Education Limited.
- Pradilla J., Esteve, M. y Palau, C. (2018). SOSFul: Sensor Observation Service (SOS) for Internet of Things (IoT). *IEEE Latin American Transactions*, 16(4), 1276-1283. <https://doi.org/10.1109/TLA.2018.8362168>

- Roehm, H., Oehlerking, J., Woehrle, M. y Althoff, M. (2019). Model Conformance for Cyber-physical Systems: A Survey. *ACM Transactions on Cyber-Physical Systems*, 3(3), Article 30, 26p. <https://doi.org/10.1145/3306157>
- Salt J. y Albertos P. (2005). Model-based Multirate Controllers Desing. *IEEE Transactions on Control Systems Tecnology*, 13(6), 988-997. <https://doi.org/10.1109/TCST.2005.857410>
- Salt, J., Casanova, V., Cuenca, A. y Pizá, R. (2008). Sistemas de Control Basados en Red. Modelado y Diseño de Estructuras de Control. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, 5(3), 5-20. <https://polipapers.upv.es/index.php/RIAI/article/view/8290>
- Salt, J., Cuenca, A., Palau, F. y Dormido, S. (2014). Multirate Control Strategy to the Slow Sensors Problem: An Interactive Simulation Tool for Controller Assisted Design. *Sensors*, 3, 4086-4110. <https://doi.org/10.3390/s140304086>
- Scilab. (2020). Scilab (Versión 6.1.0) [Software de Análisis Numérico Computacional, Código Abierto en Línea]. Engineering System International Group. <https://www.scilab.org/>
- Tan, L. y Jiang, J. (2018). *Digital Signal Processing: Fundamentals and Applications* (3rd ed.). Elsevier Science Publishing.
- Teich, J. (2012). Hardware/Software Codesign: The Past, the Present, and Predicting the Future. *Proceeding of the IEEE*, 100, 1411-1430. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2011.2182009>
- Thompson, P. M. (1985). Gain and Phase Margins of Multirate Sampled-Data Feedback Systems. *International Journal of Control*. 44(3), 833-846. <https://doi.org/10.1080/00207178608933635>
- Yan, L., Li, X. R., Xia Y. y Fu M. (2015). Modeling and estimation of asynchronous multirate multisensor system with unreliable measurements. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 51(3), 2012-2026. <https://doi.org/10.1109/TAES.2015.140462>.
- Zhang, D., Bai, W. y Jia, X. (2015). Periodic Switched Control of Dual-Rate Sampled-Data Systems. *Mathematical Problems in Engineering*, 2015, Article ID 515232. <http://dx.doi.org/10.1155/2015/515232>
- Zhu, Q., Lu, K. Zhu, Y. y Xie, G. (2016). Modelling and State Feedback Control of Multi-Rate Networked Control Systems with Both Short Time Delay and Packet Dropout. *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, 12(3), 779-793. <https://doi.org/10.24507/ijicic.12.03.779>

Notas Biográficas



Alfonso Alfonsi es Doctor en Ciencias, MSc. en Instrumentación ambas de la Universidad Central de Venezuela e Ing. Electricista de la Universidad de Oriente (UDO), Venezuela. Profesor Titular de la UDO e Investigador activo y acreditado en el SAI y PEII. Coordinador del Grupo de Investigación Arquitecturas de Sistemas de Control. Miembro de la Sociedad Venezolana de Computación, IEEE en sus sociedades de: Control Systems, Robotics and Automation, Instrumentation and Measurement. Ha publicado artículos en revistas científicas. El Dr. Alfonsi dirige su investigación a los sistemas empotrados con requisitos heterogéneos y complejos para del desarrollo sustentable.



Raiza Yáñez es Doctora en Gerencia de la Universidad de Yacambú, MSc. en Cs. Administrativas mención Gerencia General e Ing. Industrial de la Universidad de Oriente (UDO), Venezuela. Profesora Titular de la UDO e Investigadora activa y acreditada en el SAI y PEII, miembro del Grupo de Investigación Arquitecturas de Sistemas de Control. Coordina el Programa de Actualización Profesional Sistemas de Gestión de la Calidad. Ha publicado artículos en revistas científicas. La Dra. Yáñez dirige su investigación al pensamiento complejo y desarrollo sustentable.



Alfonso R. Alfonsi es Ingeniero Electricista de la Universidad de Oriente, Barcelona, Venezuela, Mención Honorífica Magna Cum Laude. Investigador asociado. Miembro del Grupo de Investigación Arquitecturas de Sistemas de Control. Más de ocho años de experiencia en la industria petrolera internacional en el área de operaciones de perforación direccional de pozos. Especialista en herramientas de medición y registro mientras se perfora (MWD y LWD, por su siglas en inglés), desde su ensamblaje, programación y operación en campo; solución de problemas, asistencia técnica y análisis de fallas.



Esta obra está bajo una [licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 2.5 México](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/mx/).