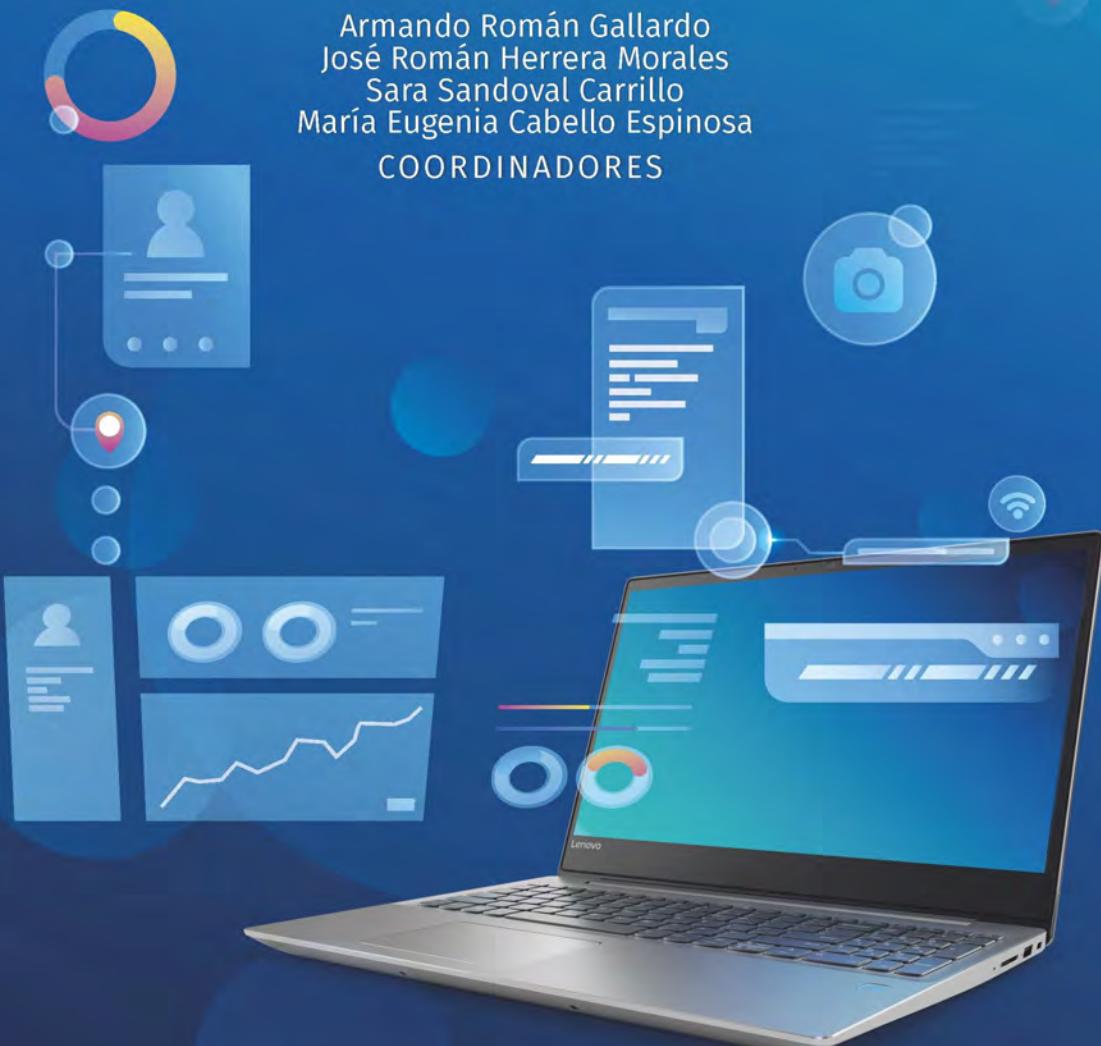


EL INTERNET DE LAS COSAS

Y SU IMPACTO EN LA EDUCACIÓN



Armando Román Gallardo
José Román Herrera Morales
Sara Sandoval Carrillo
María Eugenia Cabello Espinosa
COORDINADORES

UNIVERSIDAD DE COLIMA

EL INTERNET DE LAS COSAS

Y SU IMPACTO EN LA EDUCACIÓN

enfoque académico

UNIVERSIDAD DE COLIMA

Mtro. José Eduardo Hernández Nava, Rector

CP. Juan Carlos Vargas Lepe, Secretario General

Mtra. Vianey Amezcuá Barajas, Coordinadora General de Comunicación Social

Mtra. Gloria Guillermina Araiza Torres, Directora General de Publicaciones

EL INTERNET DE LAS COSAS

Y SU IMPACTO EN LA EDUCACIÓN

Armando Román Gallardo
José Román Herrera Morales
Sara Sandoval Carrillo
María Eugenia Cabello Espinosa
COORDINADORES



UNIVERSIDAD DE COLIMA

© UNIVERSIDAD DE COLIMA, 2020
Avenida Universidad 333
C.P. 28040, Colima, Colima, México
Dirección General de Publicaciones
Teléfonos: (312) 316 10 81 y 316 10 00, extensión 35004
Correo electrónico: publicaciones@ucol.mx
<http://www.ucol.mx>

ISBN: 978-607-8549-88-7

Derechos reservados conforme a la ley
Impreso en México / *Printed in Mexico*

Proceso editorial certificado con normas ISO desde 2005
Dictaminación y edición registradas en el Sistema Editorial Electrónico PRED
Registro: LI-019-19
Recibido: Noviembre de 2019
Publicado: Diciembre de 2020

Índice

| | |
|--|----|
| Introducción..... | 7 |
| Capítulo I. El Internet de las cosas | 9 |
| Carlos Alberto Flores Cortés | |
| Juan Antonio Guerrero Ibáñez | |
| Raymundo Buenrostro Mariscal | |
| Osval Antonio Montesinos López | |
| Capítulo II. Impacto del Internet de las cosas en la educación como apoyo a tareas docentes | 18 |
| Ricardo Acosta-Díaz | |
| María Andrade Aréchiga | |
| Erika Margarita Ramos-Michel | |
| Pedro Damián-Reyes | |
| Capítulo III. Internet de las cosas para incrementar la eficiencia de las operaciones en las escuelas y las universidades | 39 |
| Margarita Glenda Mayoral Baldivia | |
| Armando Román Gallardo | |
| Omar Álvarez Cárdenas | |
| José Román Herrera Morales | |
| Capítulo IV. El futuro del aprendizaje y la integración de la tecnología en el aula | 61 |
| Juan Contreras-Castillo | |
| Norma Angélica Barón-Ramírez | |
| Pedro C. Santana-Mancilla | |
| Sara Sandoval Carrillo | |
| Juan Manuel Ramírez-Alcaraz | |
| Capítulo V. De la ciudad inteligente al campus inteligente: Un primer paso hacia el Internet de las cosas..... | 77 |
| Pedro Damián-Reyes | |
| JRG Pulido | |
| Silvia B. Fajardo-Flores | |
| Erika M. Ramos-Michel | |
| María Andrade Aréchiga | |

| | |
|---|-----|
| Capítulo VI. Fábricas inteligentes como aplicación del Internet de las cosas | 103 |
| Armando Román Gallardo | |
| María Eugenia Cabello Espinosa | |
| José Román Herrera Morales | |
| Sara Sandoval Carrillo | |
| Capítulo VII. El Internet de las cosas y la ciencia de datos..... | 117 |
| José Román Herrera-Morales | |
| Gabriel Peralta Domínguez | |
| Armando Román Gallardo | |
| Alberto Román Herrera-Espinoza | |
| Capítulo VIII. Más allá de IoT: La ciencia de datos y su poder predictivo aplicado a la educación..... | 144 |
| Osval Antonio Montesinos-López | |
| Francisco Javier Luna-Vázquez | |
| Raymundo Buenrostro Mariscal | |
| Carlos Alberto Flores Cortés | |
| Josaphat Salinas-Ruiz | |
| Autores..... | 177 |

Introducción

El concepto de Internet de las cosas (IoT, por sus siglas en inglés) es muy sencillo y se puede entender intuitivamente, ya que se refiere a la interconexión digital de objetos cotidianos en Internet; es decir, se trata de que los objetos informen y digan cosas útiles y que esta información se pueda gestionar a través de medios computacionales en beneficio de las personas. En este sentido, el mundo digital ya no es el único que tiene una relación directa con Internet.

Utilizar IoT en todo tipo de productos y servicios es una forma de ser más eficientes, mejora las comunicaciones y controla cada fase y momento de la producción. Además, permite conectar dispositivos y generar datos muy interesantes para determinar la evolución de los productos y servicios para poder, de este modo, mejorarlos o adaptarlos, en el futuro.

Alrededor de cinco mil millones de cosas están conectadas a Internet. Se utiliza esta tecnología de forma habitual y muy eficiente en aeronáutica, agricultura, ganadería, pesca, entornos laborales, servicios públicos, fabricación, producción y distribución de todo tipo de mercancías, así como para facilitar la comunicación entre los trabajadores y sus mandos o con los clientes. IoT ya está a la orden del día, pero ¿cómo ha llegado hasta aquí y qué retos y expectativas deparará en el futuro, particularmente en educación? De esto y mucho más trata este libro.

En el capítulo I se hace una significativa introducción a las diferentes aplicaciones de esta tecnología, tales como: identificación, sensado, comunicación, computación, semántica y educación. Las tendencias y retos son abordadas brevemente. En el capítulo II, se analiza el impacto de IoT y las tendencias en la educación, particularmente en apoyo a las actividades de los docentes. En el capítulo III se describe la manera en que se utiliza IoT para incrementar la eficiencia de las operaciones en las escuelas y universidades.

La pedagogía ha tenido cambios importantes en los nuevos ambientes de aprendizaje, por lo que en el capítulo IV se analiza el

INTRODUCCIÓN

futuro de este aprendizaje y la integración de la tecnología de IoT en el aula. El capítulo V presenta un panorama general sobre la manera cómo la universidad puede incluir la modernidad al convertirse en un campus inteligente, con la propuesta de elementos de IoT; mientras que en el capítulo VI se aborda exhaustivamente la incursión de IoT en las fábricas inteligentes, centradas en la digitalización de sus tareas y la automatización de sus procesos.

El capítulo VII aborda el tema de la convergencia de grandes tendencias tecnológicas de IoT y la ciencia de datos, así como la relación con conceptos de inteligencia artificial y del aprendizaje automático que, en conjunto y en sus diferentes niveles, pueden generar la toma de decisiones. Se cierra con el capítulo VIII, cuyo tema va más allá de IoT, como su nombre lo dice, y se dan a conocer herramientas para realizar ciencia con los datos y se muestra el poder predictivo aplicado a la educación.

Todo indica que IoT será una revolución y nos hará cambiar nuestra manera de interactuar con los objetos y con el entorno. Tenderemos hacia un mundo lleno de información con la finalidad de hacer la vida más sencilla y cómoda para las personas, provocando un cambio en su comportamiento y, por tanto, en el funcionamiento de las empresas. En este sentido, es preciso tener en cuenta los riesgos que puede introducir IoT, sobre todo en términos de protección de datos, privacidad de las personas y seguridad en las redes. De ahí que la seguridad tecnológica y la protección de datos serán dos áreas con importante crecimiento.

Capítulo I. El Internet de las cosas

Carlos Alberto Flores Cortés
Juan Antonio Guerrero Ibáñez
Raymundo Buenrostro Mariscal
Osval Antonio Montesinos López

Introducción

Durante una presentación en Proctor and Gamble en 1999, Kevin Ashton introduce por primera vez el concepto de Internet de las cosas (IoT, por sus siglas en inglés) al describir una solución que consistía en la integración de etiquetas de una identificación por radiofrecuencia (RFID, por sus siglas en inglés) en la cadena de suministros de esa empresa. El fundamento de esta idea era que, en aquel entonces, la mayoría de la información que alimentaba a los sistemas o computadoras provenía de un humano, con las desventajas de velocidad, disponibilidad de tiempo, susceptibilidad a errores, entre otros (Aston, 2009). Entonces, al utilizar etiquetas RFID en su cadena de suministros, elimina la intervención humana y de esta forma los propios objetos eran capaces de proveer la información.

Chui, Loffer y Roberts (2010), en su artículo publicado en la revista McKinsey, presentan una definición actualizada en la que advierten sobre un cambio en las rutas que tradicionalmente dan origen o genera información, en donde el mundo físico, es decir los diferentes elementos, objetos, variables, etcétera, con los que las personas interactuamos de manera cotidiana, se convierten en una especie de proveedores o sistemas de información. Esta definición considera la incrustación de sensores y actuadores en objetos físicos como autopistas, edificios, marcapasos o vehículos, con capacidad de conexión a Internet y utilizando redes alámbricas o inalámbricas. Una característica de este tipo sistemas son los

grandes volúmenes de datos que se generan, la necesidad de un espacio para su almacenamiento, procesamiento y análisis. Esta capacidad de contar con objetos capaces de sensar y transmitir los datos capturados, representan herramientas muy valiosas para entender la complejidad y responder a ella rápidamente. Otro aspecto relevante de este tipo de sistemas es que ya se empiezan a instalar en algunos espacios, y muchos de estos funcionan de manera autónoma; es decir, sin necesidad de intervención humana.

Hoy en día, IoT es una realidad y se encuentra en una etapa de fuerte desarrollo y adaptación. Algunos de los elementos que han contribuido al crecimiento de este tipo de sistemas (según Rose, Scott y Lyman, 2015), son:

- *La conectividad*, la existencia de tecnología a bajo costo y altas velocidades para conectarse a la red a través de servicios que hacen posible que casi cualquier cosa pueda conectarse.
- *La adopción de la red IP*, este protocolo se ha convertido en un estándar global ofreciendo una plataforma bien definida y ampliamente implementada en software y otras herramientas que de manera fácil y económica pueden ser incorporados a una amplia variedad de dispositivos.
- *La industria del cómputo*, la inversión que se hace en investigación, desarrollo y fabricación sigue incrementando la capacidad de cómputo al mismo tiempo que reduce sus costos y consumo de energía
- *La miniaturización*, los avances en los procesos de fabricación permiten incorporar en objetos muy pequeños con capacidades de cómputo y tecnologías de comunicación de vanguardia muy económicos, impulsando de manera importante el desarrollo de muchas aplicaciones de IoT.
- *Los avances en el análisis de datos*, el desarrollo de nuevos algoritmos y el rápido crecimiento de las capacidades de cómputo, almacenamiento y servicios en la nube hacen posible extraer información y conocimiento de los enormes y dinámicos bancos de datos en donde la información de los diferentes nodos es depositada.

- *El surgimiento del cómputo en la nube*, que permite conectar a los nodos de sensado de bajo costo con recursos remotos con muy altas capacidades de cómputo, almacenamiento analíticas y control.

IoT en la educación

Hoy en día, prácticamente en todos los sectores se pueden encontrar ejemplos de aplicaciones de IoT, y en el aspecto educativo no es la excepción. Algunas universidades ya adoptaron e implantaron aplicaciones que impactan en diferentes aspectos de sus entornos (Becker *et al.*, 2017). En lo que se refiere a educación superior, de acuerdo a Bagheri y Movahed (2016) algunas de las aplicaciones son:

- *Administración de la energía del campus y monitoreo del ecosistema*. Mediante el uso de sistemas de sensores y actuadores especializados se obtiene información del consumo energético para el análisis y mejora en la eficiencia de los sistemas, impulsando el concepto de campus ecológico y buscando generar espacios más limpios, cuidando por ejemplo la reducción en las emisiones de CO₂.
- *Campus seguro y control de acceso al salón de clases*. Mediante el uso de sensores es posible administrar, de manera más eficiente y segura, los accesos a espacios como salones de clases y laboratorios; de esta forma se facilita el acceso a estudiantes, pero, al mismo tiempo, se tiene un control y se genera un registro de quienes asisten y los derechos de acceso que tienen en los diferentes espacios del campus.
- *Monitoreo de la salud de los estudiantes*. En el área del cuidado de la salud, IoT ha realizado avances importantes, mejorando el acceso al cuidado de la salud de mejor calidad y reduciendo el costo del cuidado. Mediante el uso de tecnología vestible o *wearable* (como son las pulseras inteligentes) es posible monitorear el estado de salud de sus estudiantes, así como su historial médico, estudios de salud, actividad física y signos vitales.

- *Mejoramiento de la enseñanza y el aprendizaje.* Dispositivos como libros electrónicos, tabletas, sensores y la realidad virtual y aumentada, pueden ser utilizados para monitoreo en aspectos como la comprensión de patrones de aprendizaje de sus estudiantes.

La aplicación de IoT en la educación aún se encuentra en etapa temprana, aunque ya existen grupos de investigación y universidades que comenzaron a realizar ejercicios del empleo de estas tecnologías, utilizando desarrollos de otras áreas en donde IoT va más avanzado, como es el caso de la salud y las ciudades inteligentes.

Componentes y tecnologías

El análisis de la arquitectura y el funcionamiento de IoT puede realizarse desde diferentes perspectivas. Una forma sencilla de entenderla es mediante el análisis de sus componentes y las tecnologías que lo hacen posible (Al-Fuqaha, Guizani, Mohammadi, Aledhari y Ayyash, 2015).

Identificación

La identificación de servicios en un sistema IoT se refiere no solamente a un nombre o identificador único sino también a un mecanismo de direccionamiento, tales que permitan identificar de manera clara cada uno de los servicios disponibles. Los métodos de direccionamiento de objetos y servicios incluyen IPv4, IPv6 y 6LoWPAN. Mientras que para identificar de manera única a objetos y servicios se pueden utilizar métodos como Electronic Product Code o uCode (Gajewski y Krawiec, 2016).

Sensado

Es la capacidad de obtener información de los diferentes objetos y servicios conectados para ser almacenados en una base de datos o servicio de la nube. La información que se recibe también es analizada y sirve para realizar acciones específicas dependiendo de las aplicaciones o servicios instalados en el sistema de IoT. Las fuentes de sensado son variables e incluyen dispositivos como sensores inteligentes, actuadores, dispositivos vestibles (también conocidos como *wearables*), etiquetas RFID, entre otros.

Comunicación

Las tecnologías de comunicación hacen posible la interacción entre objetos heterogéneos para que, de manera conjunta, puedan ofrecer servicios inteligentes. Debido al requerimiento de bajo consumo de energía de los nodos, las tecnologías de comunicación han evolucionado para cumplir con estos requerimientos y otras nuevas han sido desarrolladas específicamente para IoT. Algunos ejemplos de protocolos de comunicación utilizados en IoT incluyen WiFi, Bluetooth, IEEE 802.15.4, Z-wave, LTE-Advanced, Lora y Sigfox.

Computación

Las unidades de procesamiento son otro componente importante de IoT y ofrecen capacidad computacional como microcontroladores, microprocesadores, sistema en chip (SoC, por sus siglas en inglés), matriz programable de puertas lógicas (FPGA, por sus siglas en inglés), entre otras, para la ejecución de aplicaciones. Entonces, la capacidad computacional puede dividirse en dos componentes principales: los electrónicos o *hardware* y las aplicaciones para la administración de recursos o *software*. Por el lado del *hardware* existe una amplia variedad de plataformas que han sido desarrolladas específicamente para aplicaciones IoT, como Arduino, Raspberry PI, ESP8266, Particle Photon y BeagleBone (Singh y Kapoor, 2017); mientras que para operar en estas plataformas, en donde las capacidades de procesamiento y recursos son limitados, existen sistemas operativos como Contiki, TinyOS, FreeRTOS, y uClinux (Hahm, Baccelli, Petersen y Tsiftes, 2016).

Servicios

El fin último de las aplicaciones de IoT es alcanzar el nivel de servicios ubicuos. Esto es, que los servicios disponibles sean configurados y ubicados de manera automática por las aplicaciones, tomando en cuenta su contexto, de tal forma que los usuarios puedan interactuar con los objetos virtualizados de manera transparente. Aunque ya hay avances notables en esta área, aún hay retos por resolver en temas como identificación, agregación y colaboración de servicios.

Semántica

La semántica se refiere a la habilidad de extraer conocimiento de manera inteligente para proveer los servicios que se solicitan. Incluye el descubrimiento y uso de recursos, el modelado de la información y el reconocimiento y análisis de los datos para dar sentido a la decisión correcta para proporcionar el servicio exacto. Las tecnologías de web semántica son el marco para la descripción de recursos RDF (Lassila, Swick, Wide y Consortium, 1998) y el lenguaje web para ontologías OWL (Antoniou y van Harmelen, 2004).

Tendencias y retos

IoT tendrá un impacto en los diferentes aspectos de la vida de las personas, tales como seguridad, salud, movilidad, eficiencia de la energía, sustentabilidad ambiental, entre otros. Sin embargo, es necesario que se consideren problemas, retos y oportunidades de varios aspectos, como son tecnología, servicios y aplicaciones, modelos de negocios e impacto ambiental.

Desde el punto de vista de la tecnología, el incremento en el número de dispositivos conectados causará un alto tráfico que podría generar alta congestión en la red. La oportunidad que se tiene es la creación de mecanismos que gestionen dicho tráfico y que sea implementado en el origen de la información y en el trayecto generado por el envío de la misma.

Por otro lado, la integración de diferentes tecnologías creará un ambiente heterogéneo que demandará un alto volumen de almacenamiento y procesamiento de datos, así como que abrirá la puerta a serios problemas de seguridad y privacidad. IoT, por su parte, abre las puertas a la creación nuevas aplicaciones y servicios que mejorarán la vida cotidiana de las personas y facilitará el desarrollo de servicios y aplicaciones enfocadas a ciudades y hogares inteligentes, monitoreo de la salud, agricultura inteligente, entre otros servicios.

Por otro lado, manejar la complejidad de los datos en función del tiempo se ha convertido en el aspecto crítico de IoT, por lo que las funciones como almacenamiento, análisis, predicción, representación y gestión son cada vez más alentadoras, cada vez

que IoT está produciendo más datos. Estos datos podrán dar a los proveedores de servicios muchas oportunidades para mejorar procesos y servicios, entre otras cosas. Además, es evidente las oportunidades de ahorro de costos y la generación de ganancias; sin embargo, cabe aclarar que no es IoT el que logrará todo, lo que realmente traerá el verdadero beneficio es el análisis de datos y la innovación de modelos predictivos, junto con las series cronológicas que lo acompañan.

Aunado al manejo de datos, es necesaria la inteligencia de negocios orientada a servicios innovadores: que no se centren en el puro reporte y recopilación de datos. Se deben de crear servicios, pero también las herramientas deberán entender el negocio y entonces poder aplicar tecnologías como *Big Data* o *Machine Learning*, para explotar al máximo los datos y proporcionar un valor añadido, que hasta el momento no existe en los servicios.

Respecto a los problemas ambientales, la sustentabilidad ambiental es uno de los problemas con más atención debido al incremento en la demanda de energía y el desperdicio electrónico. Las oportunidades que se presentan en este reto son la generación de nuevas soluciones para sustentabilidad ambiental, tales como sistemas de monitoreo IoT.

Finalmente, desde nuestro punto de vista, la seguridad y privacidad se visualiza como uno de los retos clave en el despliegue de soluciones IoT, y para que pueda proveer de confidencialidad en sus sistemas, la seguridad y privacidad tienen que ser consideradas desde varios aspectos, incluyendo puntos de vista legal, social y cultural. La oportunidad que se tiene es la generación e implementación de funcionalidades de seguridad en todos los niveles de la arquitectura IoT y, además, debe incluirse autenticación, control de acceso, integridad, privacidad y encriptamiento de datos, operando en tiempo real y escalables y costeables para minimizar la complejidad y maximizar la usabilidad.

Conclusiones

Mediante el uso de sensores, actuadores y unidades de procesamiento con recursos limitados, pero con conexión a Internet, IoT avanza en la virtualización de ambientes en áreas como la salud,

el transporte, las ciudades, los hogares y, por supuesto, la educación; asimismo, en el desarrollo de aplicaciones es cada día más sofisticada. Las aplicaciones relacionadas con el área educativa no son precisamente las más avanzadas, pero cada día son más las instituciones y grupos de investigación que trabajan en el desarrollo de soluciones para la administración de energía, el monitoreo de la infraestructura, la seguridad de las instalaciones y de los estudiantes, y la mejora en los procesos de enseñanza-aprendizaje. Y aunque aún hay retos importantes por resolver, como la integración de servicios, la seguridad y privacidad de la información, es seguro que cada día serán más las aplicaciones de IoT con las que los usuarios estaremos interactuando muchas veces sin siquiera darnos cuenta.

Referencias

- Adams Becker, S.; Cummins, M.; Davis, A.; Freeman, A.; Hall Giesinger, C., and Ananthanarayanan, V. (2017). *NMC Horizon Report: 2017 Higher Education Edition*. Austin, Texas: The New Media Consortium. Recuperado de The New Media Consortium website: <https://library.educause.edu/resources/2017/2/2017-horizon-report>
- Al-Fuqaha, A.; Guizani, M.; Mohammadi, M.; Aledhari, M., and Ayyash, M. (2015). Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 17(4), 2347-2376. Recuperado de <https://doi.org/10.1109/COMST.2015.2444095>
- Antoniou, G., and van Harmelen, F. (2004). Web Ontology Language: OWL. In: S. Staab and R. Studer (Eds.). *Handbook on Ontologies* (pp. 67-92). Recuperado de https://doi.org/10.1007/978-3-540-24750-0_4
- Aston, K. (2009). That *Internet of Things* Thing. RFID Journal. Recuperado el 1 de octubre de 2019, de <https://www.rfidjournal.com/articles/view?4986>
- Bagheri, M., and Movahed, S.H. (2016). *The Effect of the Internet of Things (IoT) on Education Business Model*. 2016 12th International Conference on Signal-Image Technology Internet-Based Systems (SITIS), 435-441. <https://doi.org/10.1109/SITIS.2016.74>
- Chui, M.; Löffler, M. and Roberts, R. (2010). The Internet of Things | McKinsey. Open interactive popup. Recuperado el 1 de octubre de 2019, de <https://www.mckinsey.com/industries/technology-media-and-telecommunications/our-insights/the-internet-of-things>

- Gajewski, M., and Krawiec, P. (2016). *Identification and Access to Objects and Services in the IoT Environment*. Recuperado de https://doi.org/10.1007/978-3-319-30913-2_12
- Hahm, O.; Baccelli, E.; Petersen, H., and Tsiftes, N. (2016). Operating Systems for Low-End Devices in the Internet of Things: A Survey. *IEEE Internet of Things Journal*, 3(5), 720-734. Recuperado de <https://doi.org/10.1109/JIOT.2015.2505901>
- Karen, Rose; Eldridge, Scott, and Chapin, Lyman (2015). *The Internet of Things: An Overview*. Recuperado de <https://www.internetsociety.org/wp-content/uploads/2017/08/ISOC-IoT-Overview-20151221-en.pdf>
- Lassila, O., and Swick, R.R. (1999). *Resource Description Framework (RDF) Model and Syntax Specification*. WWW Consortium. Recuperado de <https://www.w3.org/TR/1999/REC-rdf-syntax-19990222/>
- Singh, K.J., and Kapoor, D.S. (2017). Create Your Own Internet of Things: A survey of IoT platforms. *IEEE Consumer Electronics Magazine*, 6(2), 57-68. Recuperado de <https://doi.org/10.1109/MCE.2016.2640718>

Capítulo II. Impacto del Internet de las cosas en la educación como apoyo a tareas docentes

Ricardo Acosta-Díaz

María Andrade Aréchiga

Erika Margarita Ramos-Michel

Pedro Damián-Reyes

Introducción

El presente capítulo muestra las tendencias y futuros impactos que podría tener el surgimiento de Internet de las cosas (IoT) dentro del ámbito de la educación, particularmente en apoyo de las actividades del profesorado.

Dentro de las obligaciones principales de los docentes universitarios es el desarrollo de competencias con sus alumnos, que los preparen para los retos profesionales (tanto presentes como futuros) que deberán afrontar una vez egresados. Es por ello que uno de los campos de mayor evolución, tanto a corto como a medio plazos, es el llamado IoT como apoyo a la docencia; por ejemplo, se han desarrollado nuevas propuestas para el acceso de los alumnos a las fuentes bibliográficas recomendadas por los profesores (Borrego-Jaraba *et al.*, 2013), así como también surgen nuevos campus universitarios inteligentes en entornos de IoT (Majeed y Ali, 2018) y se proponen nuevos modelos educativos orientados a la mejora de los procesos enseñanza-aprendizaje (Nehru y Chakraborty, 2019), entre otros. Un resumen sobre distintas aplicaciones de IoT en educación se puede encontrar en Ramlowat y Pattanayak (2019).

Teniendo en cuenta estas premisas, y dado que el docente tiene como responsabilidad principal la de formar a los estudiantes

en aquellas competencias profesionales que reclama la sociedad, se hace imprescindible el desarrollo de competencias, aunque sean básicas, en la tecnología de IoT.

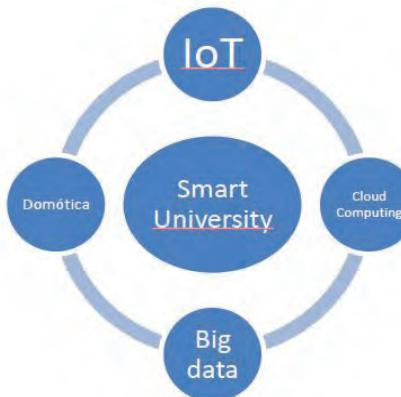
TIC y educación

En el frente educativo existe la preocupación de integrar al aprendizaje los recursos informáticos de todo tipo, siendo por ejemplo una de las tendencias actuales el uso del *cloud computing*. En los países de América Latina y el Caribe, las brechas entre las clases económicas son aún más palpables, realidad reflejada especialmente en el sector educativo, en donde los centros de educación superior no están lo suficientemente equipados para brindar una educación de calidad.

Es así como IoT se convierte en un concepto interesante para el uso de los diferentes tipos de *software* y *hardware* indicados para la labor educativa. El rápido desarrollo de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC), la propagación de los teléfonos inteligentes, la *Big Data*, IoT, los servicios en la nube (*Cloud Computing Services*) y domótica, entre otros, han dado lugar a la creación de una gran ola de cambio, no sólo en los negocios, los medios de comunicación, las comunicaciones, las ciudades, sino también en la educación (figura 1).

Figura 1

Paradigmas TI aplicados a Smart University



Fuente: Bautista, Parra-Valencia y Guerrero (2017).

Ambientes inteligentes

Hacer los entornos cotidianos inteligentes o *Smart* a través de las tecnologías emergentes o disruptivas, ha sido tema de investigación durante los últimos años. En la actualidad, el concepto de *inteligencia* aplicado a edificios y objetos hace referencia tanto al diseño como al establecimiento de dispositivos electrónicos y aplicaciones, capaces de comprender el comportamiento del usuario y de los cambios del entorno para responder a sus necesidades (Ng *et al.*, 2010).

La educación es un proceso de formación metodológico-práctico mediante el cual los individuos adquieren conocimientos, habilidades y valores, y los ponen en acción en distintos contextos (Nehru y Chakraborty, 2019). En ambientes inteligentes, según Pablo Campos (2012), “la educación es un hecho afectivo, colectivo, sostenido y espacial”, dado que se lleva a cabo en un espacio propicio para profesores y estudiantes, que conviven continuamente y con ello se refuerza la interacción y les compromete. En este sentido, se le considera como un acto relacionado social-espacial con interacción entre la formación curricular estructurada y las aulas de clase. Debido a esto, se plantea que todo campus inteligente, debe fomentar y propiciar relaciones que permitan construir redes de colaboración, conversaciones, innovaciones y desarrollos en beneficio de la comunidad estudiantil y del profesorado, buscando de manera constante la adecuación de entornos sustentables en sus alrededores inmediatos (Ospino-Pinedo, Maza-Figueroa y Orozco-Acevedo, 2017).

Los campus universitarios son un ambiente ideal para utilizarse como laboratorio natural, en el sentido de ambientes inteligentes, ya que permiten a los estudiantes navegar, gestionar activos e instalaciones y llevar a cabo investigaciones sólidas sobre una gran variedad de aplicaciones. Las TIC están presentes en los teléfonos inteligentes y sus aplicaciones proporcionan diversos usos. En general, la población universitaria está integrada por personas alfabetizadas tecnológicamente que de forma cotidiana utilizan datos, aplicaciones y herramientas.

El propósito principal del campus inteligente es provocar cambios sustanciales al sistema de educación a través de la diversi-

ficación de contenidos y de las TIC. Es necesaria la integración de tecnología de vanguardia tanto en la gestión del campus como en y para el apoyo de la docencia e investigación; es decir, un *Smart campus* requiere *Smart profesores*, *Smart tecnología* y *Smart pedagogía* vinculados apropiadamente (Ospino-Pinedo, Maza-Figueroa y Orozco-Acevedo, 2017).

Internet de las cosas

En los años noventa, el Instituto Tecnológico de Massachusetts propuso el término *Internet de las cosas*; más tarde, la Comisión Europea lo definió como “objetos que tienen identidad y personalidad virtual, que funcionan en espacios inteligentes haciendo uso de interfaces inteligentes para conectar y comunicarse dentro de un contexto social, de usuario y de su entorno” (EPoSS, 2008).

El paradigma de IoT, es el siguiente paso en la evolución de los objetos inteligentes, donde cualquier cosa cotidiana se conecta a Internet mediante una interfaz física-digital basada en las TIC presentes y futuras (ITU, 2012). Con IoT cualquier objeto cotidiano puede equiparse con este tipo de dispositivos, para abordar desafíos sociales (Atzori, Iera y Morabito, 2017) y transformar muchos aspectos de la vida personal y social, la educación, la salud, la logística y la industria, por mencionar algunos (Gubbi *et al.*, 2013; Rose, Eldridge y Chapin, 2015). IoT se puede encontrar en tres grandes dominios de aplicación: salud, industrial y ciudades inteligentes (Borgia, 2014).

Según Manrique, Rueda y Portocarrero (2016), IoT se origina de dos áreas: Internet y las comunicaciones máquina-a-máquina, e integra tecnologías como: cómputo en la nube, redes de sensores inalámbricas, identificación por radiofrecuencia, *middleware* y *software* IoT (Lee y Lee, 2015; Li, Da y Zhao, 2015). En IoT la identificación única y la conexión de los objetos a Internet es una característica indispensable (Rueda y Portocarrero, 2016). Asimismo, lo es el tratamiento que se hace de los datos, mismos que se recolectan de cosas u objetos identificados del mundo real y posteriormente se procesan y analizan para convertirlos en información, la cual, a su vez, se transforma en conocimiento (Rueda y Portocarrero, 2017).

Daniel Burrus, experto en tecnología e innovación, expresa: “He mantenido que el futuro siempre está a la vista, y que no se necesita imaginar lo que ya está allí”, y como muestra de ello hace referencia al potencial que tiene IoT, pues al conectar sensores y máquinas, da la posibilidad de no sólo adquirir datos desde cualquier parte del mundo, sino también de procesarlos y analizarlos en tiempo real (Burrus, 2014). Sólo resta ahora imaginar el sinfín de aplicaciones que pueden tenerse al conectar objetos físicos con información digital.

IoT permite la conectividad a cualquier persona y cosa que esté conectada en red en cualquier parte del mundo y en cualquier momento, utilizando alguna red o servicio para realizar identificación, rastreo y administración de cosas de manera inteligente (Aldowah *et al.*, 2017). Es una red global que integra objetos electrónicos, *software*, sensores y características de conectividad con el objetivo de proveer servicios alrededor del mundo, para ello es indispensable el intercambio de datos entre fabricantes, usuarios y dispositivos de cómputo. Toda *cosa* en IoT debe identificarse a través de un nombre o símbolo único en un sistema de cómputo embebido para interoperar sobre la infraestructura de Internet.

Las cosas u objetos de la red IoT incluyen diversos dispositivos que colectan información a través de sensores múltiples y tecnología de adquisición de datos, que luego debe transportarse a dispositivos o sistemas de cómputo para un posterior procesamiento, análisis e interpretación de información (Cornel, 2015). Además de los componentes de *hardware*, un segundo componente es el *Middleware*, a través del cual se ofrece almacenamiento sobre demanda y herramientas de cómputo para análisis de datos; por último, el componente de *presentación* se refiere a las herramientas que permiten la visualización e interpretación de información que se diseñan para diferentes aplicaciones y a las que puede accederse a través de diferentes plataformas (Aldowah *et al.*, 2017). Por supuesto que el cómputo en la nube es indispensable para que las aplicaciones interpreten y transmitan datos que vienen de los sensores. De esta forma, la nube es la que permite que las apps trabajen por nosotros en cualquier momento y lugar (Burrus, 2014).

Si bien el crecimiento exponencial de dispositivos conectados a la red ha dado lugar al desarrollo de nuevas aplicaciones IoT y a servicios en línea, los avances se ven limitados por la rigidez de la infraestructura de red actual, en la que el administrador implementa políticas de alto nivel adaptando y configurando protocolos manualmente y a través de la interface de comandos en línea (Valdivieso-Caraguay, Barrona-López y García-Villalba, 2014). Esto es un área de oportunidad para más trabajos de investigación.

De acuerdo con Selinger, Sepúlveda y Buchan (2013), IoT logra integrar cuatro pilares: las personas, los procesos, los datos y las cosas (figura 2). En lo referente al ámbito educativo, la integración de estos pilares es lo que precisamente está transformando la forma tradicional en que el docente lleva a cabo sus procesos y actividades de enseñanza-aprendizaje, investigación, gestión y tutorías, transformándolas poco a poco en un ambiente inteligente (Zhu, Yu y Riezebos, 2016).

Figura 2
Los cuatro pilares de IoT



Fuente: Selinger, Sepulveda y Buchan (2013).

Internet de las cosas y la educación

El uso de la tecnología de IoT actualmente es una realidad en la educación superior, prueba de ello es que ya se ofrece formación en temas relacionados, sus usos como herramienta pedagógica, la aplicación de tecnologías como apoyo a la administración académica, así como de las instalaciones y recursos educativos de las Instituciones de Educación Superior (IES) (Rueda-Rueda, Manrique y Cabrera, 2017).

Como resultado de lo anterior surge el paradigma *aprendizaje inteligente*, cuyo propósito es fomentar que la fuerza laboral domine el conocimiento y las habilidades del siglo XXI para satisfacer las necesidades y desafíos de la sociedad. En este sentido, la tecnología inteligente juega un papel importante en la construcción de ambientes educativos inteligentes, en los que el aprendizaje sucede en cualquier lugar y momento (Zhu, Yu y Riezebos, 2016). Algunas de las tecnologías inteligentes son: cómputo en la nube, IoT, *Big Data*, tecnología vestible, analíticas de aprendizaje, entre otras.

El cómputo en la nube, las analíticas de aprendizaje y el *Big Data* se enfocan en cómo los datos de aprendizaje se pueden capturar, analizar y direccionar para mejorar el aprendizaje y la enseñanza, así como para dar soporte al desarrollo de un aprendizaje personalizado y adaptativo (Elías, 2011). De esta forma, los profesores pueden ofrecer retroalimentación informativa a los estudiantes a través de paneles de aprendizaje virtualizados con analíticas de aprendizaje, en donde se muestra una vista general de las actividades de los estudiantes y cómo se relacionan éstos con sus pares u otros actores durante su aprendizaje (Duval, 2011). Es importante ofrecer a los estudiantes la guía de aprendizaje, así como las herramientas de soporte y las sugerencias de aprendizaje en el lugar, momento y forma justos (Hwang, 2014).

La implementación de un sistema IoT educativo presenta todo un reto, combinado con los costos de diversos dispositivos, conectividad de red y creación de una plataforma para soportarlo; sin embargo, destaca también la necesidad de formar a sus profesores y personal en el uso de dicho sistema (Aeris, 2019).

Internet de las cosas como apoyo docente

Profesorado de tiempo completo (PTC) es el personal docente que desarrolla de manera profesional una carrera de carácter académico y que sus actividades incluyen funciones de docencia, tutoría de estudiantes y la generación y aplicación innovadora del conocimiento; debe además contar con el nombramiento que acredite su dedicación de tiempo completo a la institución de educación superior (IES) a la que pertenece (DOF, 2019).

De acuerdo con Max Meyers, en salones de Estados Unidos, una quinta parte del tiempo se gasta en tareas logísticas y en actividades de cómo distribuirlas, toma de asistencia y transiciones entre asignaturas. IoT puede reducir el tiempo perdido en tareas administrativas, permitiéndole al profesor enfocarse en las necesidades de aprendizaje de sus estudiantes. Al incorporarse conectividad a Internet en dispositivos cotidianos, se conectaría el mundo físico con el virtual, permitiendo que las computadoras proporcionen información en tiempo real de manera automática y, de esta forma, transformar la experiencia en el aula (Meyers, 2015).

A través de *E-learning* y teletrabajo, los alumnos y profesores ya no tienen que estar presentes en el mismo lugar y al mismo tiempo, como lo es en formato tradicional. La realización de las clases, cursos, evaluaciones, conferencias, clases y tutoriales en vivo pueden realizarse de forma remota mediante herramientas digitales, y llevarse a cabo en lugares distantes que, mediante un contenido abierto compartido, pueden elegir y seleccionar el programa de cursos de manera personalizada. Adicionalmente, se pueden sumar los servicios de *Smart Classroom* y *Smart Labs* que, al estar dotados de tecnologías, facilitan el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Con la adopción de IoT por parte de los docentes, se ha visto una tendencia innovadora (Uskov *et al.*, 2016) en aspectos como:

Estrategias de enseñanza y aprendizaje (Smart Learning)

- *IoT como herramienta pedagógica.* Los docentes pueden actualmente utilizar recursos o tecnologías ya sea como apoyo a los procesos de enseñanza-aprendizaje de contenidos o en la generación de éstos, como ejemplo se pueden mencionar

los talleres o laboratorios tanto locales como remotos, mismos que pueden administrarse utilizando tecnologías IoT; también pueden utilizarse sistemas de IoT para recolectar información en tiempo real en ambientes educativos (Ueda y Ikeda, 2016).

- *A través de las tecnologías personales e inteligentes.* Los alumnos están inmersos en entornos de aprendizaje que se caracterizan por ofrecer aprendizaje autodirigido, motivado, adaptativo, enriquecido con recursos e integrar tecnología (MEST, 2011). Además de las características técnicas, es útil analizar las que describen el aprendizaje inteligente, entre las que pueden mencionarse (Zhu *et al.*, 2016):
 1. *Conciencia de localización.* La localización en tiempo real es un dato importante para que los sistemas prime- ramente adapten el contenido y situación al alumno.
 2. *Conciencia de contexto.* Explorar diferentes escenarios de actividad e información.
 3. *Conciencia social.* Percibir las relaciones sociales.
 4. *Interoperable.* Establecer estándares para diferentes re- cursos, servicios y plataformas.
 5. *Conexión transparente.* Ofrecer un servicio continuo cuando se conecta cualquier dispositivo.
 6. *Adaptable.* Ofrecer recursos de aprendizaje de acuerdo con el acceso, preferencia y demanda.
 7. *Ubícuo.* Proveer acceso transparente a los recursos y servicios de aprendizaje.
 8. *Registro completo.* Registrar información sobre la ruta de aprendizaje para su análisis y proporcionar con ello una evaluación y sugerencias.
 9. *Interacción natural.* Transferir los sentidos de interac- ción multimodal, incluyendo reconocimiento de posi- ción y expresión facial.
 10. *Alto compromiso.* Inmersión en experiencias de apren- dizaje interactivas multidireccionales en entornos enri- quecidos con tecnologías.

Con las características antes mencionadas se entiende cómo los entornos de aprendizaje inteligentes requieren equiparse de componentes digitales para ofrecer procesos más eficientes y flui-

dos que combinan ambientes tanto real como virtual, con los que se ofrece información tanto análoga como digital y que permiten al estudiante desenvolverse en enfoques de aprendizaje individual y social, así como en entornos formales e informales (Zhu, Yu y Riezebos, 2016; Burns, 2019).

A través de estos entornos inteligentes que utilicen IoT podría, por ejemplo, saberse si un estudiante realizó una tarea y recopilar información sobre cuánto tiempo requirió para completar la actividad. Con cuya información, los maestros podrían determinar qué estudiantes requieren ayuda para realizar ciertas tareas, así como de quienes presentaron dificultades para adaptar estrategias de aprendizaje más eficientes (Burns, 2019).

Servicios altamente tecnológicos (Smart Campus)

- *Monitoreo o acceso a información en tiempo real para la enseñanza.* Uno de los desafíos más críticos para la aplicación del aprendizaje permanente es integrar las actividades cotidianas del mundo real en el mismo proceso de aprendizaje. Esto se puede hacer al combinar datos de IoT del mundo real con situaciones planteadas en un entorno educativo para involucrar a los estudiantes en distintas actividades enriquecedoras de aprendizaje, entre las que se pueden mencionar: actividades de búsqueda de información de cualquier tipo de eventos, uso de sensores, monitoreo de parámetros ambientales físicos, integración de laboratorios, experimentación en línea, entre otros (Aldowah *et al.*, 2017).
- *Plataformas para el aprendizaje colaborativo.* Entre las principales características destacan: la repetición de una serie de rasgos y patrones entre todas ellas; por ejemplo, que todos los dispositivos conectados a la red estén funcionando de una manera eficiente sin importar el lugar del mundo desde el cual se realiza la conexión; disponen de su propia base de datos que resulta no sólo escalable dependiendo de las necesidades, sino que además está conectada a la nube; se asegura que los datos obtenidos cumplan reglas específicas que permitan conocer lo que está ocurriendo en el sistema (Lee *et al.*, 2019). A esto hay que sumar otras funciones tales

como una interfaz de usuario agradable y satisfactoria que permita que la información que antes no estaba disponible de una manera visual ahora sí lo esté. La transmisión de datos y su presentación a través de gráficos es importante que se comprendan para saber cómo invertir recursos tecnológicos dentro de las plataformas. Los participantes pueden potenciar el uso de estos sistemas con la incorporación de mejoras técnicas, como es el caso de aplicaciones que aumentan las funcionalidades, y se debe considerar una alineación estándar, independencia de dispositivos y abstracción de la red subyacente. La plataforma debe incorporar características clave de IoT que ofrezcan facilidad de uso para los usuarios y ayudar a reducir los costos de infraestructura a través de una alta escalabilidad de solvencia probada. Son requeridos un proveedor y un punto de responsabilidad únicos para gestionar y conectar conjuntos heterogéneos de dispositivos IoT y poner en funcionamiento aplicaciones verticales en dispositivos máquina a máquina desde varios lugares. Es necesario centrar la atención en la recopilación, validación y enriquecimiento de datos a través de su análisis, y requiere mezclarlos con otras fuentes para después exponerlos a las aplicaciones que permiten a los estudiantes la colaboración en proyectos conjuntos (Lee, Choi y Kim, 2017).

Aulas inteligentes que facilitan la interacción estudiante-docente (Smart Classroom)

Permiten contar con:

- Salones, auditorios o laboratorios inteligentes que facilitan la interacción estudiante-docente.
- Gestión inteligente de aires y luces.
- Pase de lista y acceso a expedientes académicos de forma automática.
- Seguridad a través de datos biométricos para acceso a zonas restringidas o identificación de personas para aplicar evaluaciones.
- Apoyo a la comunicación síncrona y asíncrona entre docente y estudiantes.

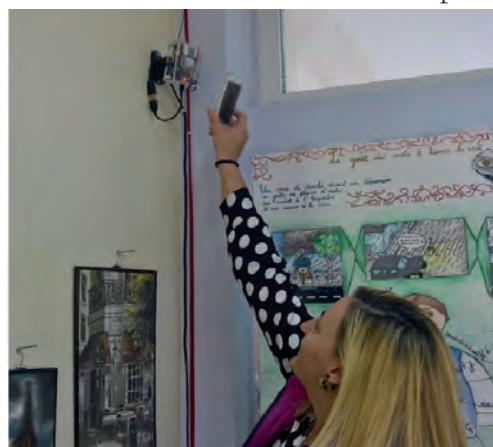
- Apoyo a la evaluación automática y personalizada de competencias de cada estudiante mediante el monitoreo en tiempo real de las habilidades adquiridas o mostradas por los estudiantes al momento de realizar algunas actividades (Zong, Jia y Zhang, 2014).

Diseño y desarrollo de contenidos multimedia para el aprendizaje (Smart Education)

El uso de las tecnologías de realidad aumentada (AR, por sus siglas en inglés) se está investigando actualmente en numerosos y diversos dominios de aplicación académica y escolar. En la investigación de Mylonas, Triantafyllis y Amaxilatis (2019) se discuten las formas en las que integran AR en actividades educativas en clase para el proyecto de conciencia verde en acción (GAIA, por sus siglas en inglés), con el objetivo de mejorar las herramientas existentes que apuntan a cambios de comportamiento hacia la eficiencia energética en las escuelas, combinando datos de IoT en tiempo real y ejecutados en tabletas y teléfonos inteligentes como acompañantes de un conjunto de actividades educativas de laboratorio, destinadas a promover la conciencia energética; un ejemplo de esto puede apreciarse en la figura 3.

Figura 3

Profesora usando herramientas de AR en su práctica docente



Fuente: Mylonas, Triantafyllis y Amaxilatis (2019).

En otro proyecto, se combinan aplicaciones de realidad aumentada con un juego serio que ayuda a los estudiantes a mejorar su conciencia energética, y a través de la gamificación les motiva a involucrarse en diversas tareas de ahorro de energía en línea y enlazado a actividades de la vida real. Los estudiantes experimentan el impacto en el consumo de energía en el transcurso del desafío, al mismo tiempo que compiten y se comparan con otras clases y escuelas de otros países (Mylonas *et al.*, 2019).

Investigaciones relacionadas

El proceso de adopción de las tecnologías IoT por parte de los docentes está aún en una etapa temprana (Maenpaa *et al.*, 2017); sin embargo, algunas universidades a nivel mundial han iniciado ya su implementación, incentivando con ello el desarrollo y la innovación.

MIT (USA)

El equipo de IoT ha realizado diversos proyectos en pro de esta área, entre los que destacan (MIT, 2017):

- El desafío de energía, reducir rápidamente la dependencia del petróleo para el transporte, para lo cual desarrollaron un tren motriz eléctrico híbrido.
- Una plataforma telemática avanzada que recopila de forma inalámbrica datos operativos de vehículos para optimizar el rendimiento de la tecnología híbrida en aplicaciones del mundo real.
- Investigación de arquitecturas disruptivas de IoT/AR que se centran en cuatro industrias: aprendizaje digital, vehículos eléctricos, cadena de suministro minorista y criptomonedas. Intereses en diseñar estrategias comerciales y plataformas técnicas que optimicen el valor de las tecnologías IoT.
- Visión por computadora y enfoques de aprendizaje profundo en el contexto de automóviles autónomos y técnicas de fusión de decisiones en varios campos, incluida la robótica, la autenticación activa, el reconocimiento de actividades y la asignación óptima de recursos en diversos productos utilizando múltiples redes de IoT.

- Proyectos para Oracle, Auto-ID Labs, Nokia y SAP.Dom para la gestión de miles de millones de productos conectados.
- Soluciones de robótica, automatización y fabricación para problemas electromagnéticos para IoT.
- Desarrollo de metodologías y sistemas que permitan a las personas interactuar, cooperar y colaborar con entornos distribuidos complejos en sus hogares, en la carretera y en sus lugares de trabajo sin capacitación previa.
- Diseño e integración de tecnologías que forman el marco para IoT con el diseño generalizado de sensores inalámbricos utilizando materiales inteligentes y análisis predictivos para la detección de fallas.

El equipo de investigadores desarrolla distintas funciones, además de la generación y aplicación del conocimiento, por lo que su actividad docente les permite impartir cursos sobre IoT e involucrar a los estudiantes en el desarrollo de los proyectos que dirigen.

España

IoT representa día a día un mayor número de conexiones, ya que, en la actualidad, millones de dispositivos pueden conectarse y esta interrelación tiene el objetivo de facilitar el estilo de vida y trabajo; sin embargo, no todo el mundo conoce bien el funcionamiento y programación de elementos con IoT. Por lo anterior, Institutos como MIOTI, Nobleprog, UNED y la Universidad de Alcalá, ofrecen programas a nivel licenciatura y posgrado para la formación en IoT, cubriendo aspectos críticos de la ingeniería, adopción, programación, administración y experimentación (González, 2018).

México

Distintas instituciones en México ofrecen la formación en IoT, entre ellas están la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo con un programa de maestría, ALINNCO en Jalisco ofrece la formación de posgrado, el Instituto Tecnológico de Monterrey en sociedad con la Universidad Internacional de Florida tienen un programa de licenciatura, y la UNAM cuenta con licenciatura en *Big Data*.

Una práctica frecuente es que diversas empresas ofrecen cursos de educación complementaria en eventos de las carreras de

las áreas de tecnología e ingeniería, tales como IBM, HP, Convergia, y empresas de desarrollo tecnológico regionales, nacionales e internacionales, ofreciendo certificaciones, formación o capacitación en estas áreas.

Entre los proyectos educativos enfocados sobre educación inteligente e IoT están:

- Singapur ha implementado el Plan Maestro de Nación Inteligente (In2015) en el cual la educación soportada por tecnología es parte importante del mismo (Hua, 2012). En dicho plan se establecen ocho escuelas del futuro, que se centran en crear entornos de aprendizaje diversos.
- Corea del sur tiene un proyecto de educación inteligente cuya principal tarea es la de reformar el sistema educativo y mejorar sus infraestructuras educativas con implementaciones basadas en dispositivos inteligentes (Choi y Lee, 2012).
- En el Programa de Escuela Inteligente de Nueva York, se enfatiza el rol de la tecnología integrada en el salón de clases para mejorar el rendimiento de los estudiantes y prepararlos para participar en la economía del siglo XXI. En su informe de escuelas inteligentes, señalan que además de la integración de la tecnología en el aula, las escuelas requieren también de capital humano (administradores, maestros y personal diverso) capacitado en aprovechar las herramientas digitales para transformar la enseñanza y el aprendizaje. No basta el adquirir tecnología y esperar a que los maestros sepan cómo aprovecharla mejor (Smart Schools NY Commission, 2014).
- La Universidad Internacional de Florida, en Estados Unidos, ofreció el primer título académico de licenciatura en IoT en 2018. La currícula de este grado cubre un crédito de 120 horas de estudio que abarcan áreas de *software*, *hardware*, comunicaciones y redes. Los egresados son expertos en las áreas tecnológicas de energía, transporte y medicina con grado en IoT (Universidad Internacional de Florida, 2019).

Conclusiones

Una de las responsabilidades de los docentes universitarios es la de adaptar el contenido de sus asignaturas a la evolución del conocimiento, y ofrecer una formación acorde con los innovadores desarrollos tecnológicos y la demanda social. Es indudable que la IoT es un nuevo paradigma de comunicación, cuyo uso está creciendo exponencialmente en los últimos años y, del que se espera que en la próxima década se convierta en algo omnipresente en la sociedad del mundo desarrollado. Por ello, como docentes, se debe intentar formar lo antes posible a los alumnos en las tecnologías a la que, con toda seguridad, se van a enfrentar a corto plazo.

Está comprobado que IoT está cambiando la manera de cómo se utiliza la tecnología en beneficio de la humanidad y el medioambiente. Es por ello que cada día incrementa el número de objetos interconectados para brindar información en tiempo real sobre el entorno y sus características. La educación no está distante de estas nuevas tecnologías, y los docentes están percibiendo las características y ventajas que ofrece IoT, por ello empiezan a usarlas e incorporarlas en procesos relacionados con la docencia, investigación, gestión, tutorías y trabajo colaborativo, tanto presencial como distribuido.

Como se discute en este capítulo, el desarrollo de IoT en las aplicaciones innovadoras en la educación radican en los siguientes aspectos: 1) evaluación progresiva de los alumnos, 2) integración de las plataformas docentes actuales y, 3) desarrollo de *middleware* educativo. De esta manera, la tendencia es hacia la personalización del aprendizaje, la gamificación, la geolocalización y acceso a través de tabletas, pero sigue siendo un reto la implementación de dichas tecnologías en ámbitos como la alfabetización digital y capacitación tanto de alumnos como de profesores. El diseño pedagógico que permita realizar prácticas efectivas y de métodos de enseñanza que soporten adecuar las tecnologías sociales abiertas y ubicuas a los requerimientos de la sociedad de la información es una tarea pendiente como parte de la formación del profesorado.

Desde hace tiempo, en muchos países del mundo, se está realizando un esfuerzo conjunto entre instituciones educativas, gobiernos y empresas para incorporar IoT en el ámbito del apren-

dizaje. Han apostado en la inversión de recurso económico e investigación para la implementación de esta tecnología, pues están seguros de que son la forma idónea para contar con personal capacitado para enfrentar los problemas y necesidades de la sociedad en los próximos años; sin embargo, es necesario que también se invierta en la capacitación y habilitación de profesores para el manejo e incorporación de estas tecnologías en sus procesos de enseñanza-aprendizaje, así como en la aplicación de técnicas pedagógicas que impulsen el aprendizaje autónomo y pensamiento crítico en los estudiantes.

Referencias

- Aeris (2019). *How School-Wide IoT Transforms the Classroom Experience for Students and Teachers*. Consultado el 19 de septiembre de 2019, de <https://blog.aeris.com/how-school-wide-iot-transforms-the-classroom-experience-for-students-and-teachers>.
- Aldowah, H.; Rehman, S.; Ghazal, S., and Umar, I. (2017). Internet of Things in Higher Education: A Study on Future Learning. *Journal of Physics. Conference Series*, 892. doi: 10.1088/1742-6596/892/1/012017.
- Atzori, L.; Iera, A., and Morabito, G. (2017). Understanding the Internet of Things: Definition, Potentials, and Societal Role of a Fast Evolving Paradigm. *Ad Hoc Networks*, 56, 122-140.
- Bautista, D.; Parra-Valencia, J., and Guerrero, C. (2017). IoT: Una aproximación desde ciudad inteligente a universidad inteligente. *Revista Ingenio Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña*, 13(1), 9-20.
- Borgia, E. (2014). The Internet of Things Vision: Key Features, Applications and Open Issues. *Computer Communications*, 54, 1-31.
- Borrego-Jaraba, F.; Cerruela García, G.; Luque Ruiz, I., and Gómez-Nieto, M. (2013). An NFC Based Context-Aware Solution for Access to Bibliographic Sources in University Environments. *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*, 5(1), 105-118.
- Burns, M. (2019). *IoT In Education: Smart Learning Environments*. Recuperado de <https://www.digitalistmag.com/iot/2019/03/27/iot-in-education-smart-learning-environments-06197356>
- Burrus, D. (2014). *The Internet of Things is Far Bigger than Anyone Realizes*. Wired. Consultado el 18/09/2019 de <https://www.wired.com/insights/2014/11/the-internet-of-things-bigger/>.
- Campos, P. (2012). *Composición arquitectónica: Fundamentos teóricos y aplicaciones en los espacios para la educación*. Madrid, España: CEU Ediciones.
- Choi, J. and Lee, Y. (2012). The Status of Smart Education in Korea. Presentado en EdMedia 2012-World Conference on Educational Media and

- Technology (pp. 175-178). Denver, Colorado, USA: Association for the Advancement of Computing in Education (AACE).
- Cornel, C. (2015). The Role of Internet of Things for a Continuous Improvement in Education. *Hyperion Economic Journal*, 3(2), 24-31.
- Diario Oficial de la Federación (DOF) (2019). Anexo al Acuerdo Núm. 07/02/19 por el que se emiten las Reglas de Operación del Programa para el Desarrollo Profesional Docente para el ejercicio fiscal 2019. Publicado el 28 de febrero de 2019. Consultado el 18/09/2019 de https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5552805&fecha=13/03/2019&print=true
- Duval, E. (2011). Attention Please!: Learning Analytics for Visualización and Recommendation. Presentado en 1st. International Conference on Learning Analytics and Knowledge, Banff, AB, Canada.
- Elias, T. (2011). *Learning Analytics: Definitions, Processes and Potencial*. Consultado el 10/10/2019 de <https://pdfs.semanticscholar.org/732e/452659685fe3950b0e515a28ce89d9c5592a.pdf>.
- EPoSS European Commission (2008). *Internet of Things in 2020 Roadmap for the Future*. Consultado el 12/09/2019 de https://docbox.etsi.org/erm/Open/CERP%2020080609-10/Internet-of-Things_in_2020_ECPoSS_Workshop_Report_2008_v1-1.pdf.
- González, J. (2018). *La primera escuela de Internet de las cosas llega a España*. Tecnología INNOVA. Consultado el 09/10/2019 de <https://www.elcorreo.com/tecnologia/emprendedores/primera-escuela-internet-20180121165428-ntrc.html>
- Gubbi, J.; Buyya, R.; Marusic, S., and Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A Vision, Architectural Elements, and Future Directions. *Future Generation Computer Systems*, 29, 1645-1660. doi: 10.1016/j.future.2013.01.010.
- Hua, M. (2012). Promises and Threats: iN2015 Masterplan to Pervasive Computing in Singapore. *Science, Technology and Society*, 17(1), 37-36. doi: 10.1177/097172181101700103.
- Hwang, G. (2014). Definition, Framework and Research Issues of Smart Learning Environments —a context— Aware Ubiquitous Learning Perspective. *Smart Learning Environments*, 1(4), doi: 10.1186/s40561-0140004-5.
- ITU Committed to Connecting the World (2012). *Series Y: Global Information Infrastructure, Internet Protocol Aspects and Next-Generation Networks, Next Generation Networks-Frameworks and Functional Architecture Models: Overview of the Internet of Things*. International Telecommunication Union: Geneva, Switzerland. Recommendation ITU-T Y.2060, Jun. 2012.

- Lee, I., and Lee, K. (2015). The Internet of Things (IoT): Applications, Investments, and Challenges for Enterprises. *Business Horizons*, 58(4), 431-440.
- Lee, S.; Choi, M., and Kim, S. (2017). How and What to Study About IoT: Research Trends and Future Directions from the Perspective of Social Science. *Telecommunications Policy*, 41, 1056-1067.
- Lee, U.; Han, K.; Cho, H.; Chung, K.; Hong, H.; Lee, S.; Noh, Y.; Park, S., and Carroll, J. (2019). Intelligent Positive Computing with Mobile, Wearable, and IoT Devices: Literature Review and Research Directions. *Ad Hoc Networks*, 83, 8-24.
- Li, S.; Da Xu, L., and Zhao, S. (2015). The Internet of Things: A Survey. *Information Systems Frontiers*, 17(2), 243-259.
- Maenpaa, H.; Varjonen, S.; Hellas, A.; Tarkoma, S., and Mannisto, T. (2017). Assessing IoT Projects in University Education-A Framework for Problem-Based Learning. In 2017 IEEE/ACM 39th International Conference on Software Engineering: Software Engineering Education and Training Track (ICSE-SEET) (pp. 37-46). IEEE.
- Manrique, J.; Rueda-Rueda, J., and Portocarrero, J. (2016). Contrasting Internet of Things and Wireless Sensor Network from a Conceptual Overview. In 2016 IEEE International Conference on Internet of Things (iThings) and IEEE Green Computing and Communications (GreenCom) and IEEE Cyber, Physical and Social Computing (CPSCom) and IEEE Smart Data (SmartData) (pp. 252-257). IEEE.
- Majeed, A., and Ali, M. (2018). How Internet-of-Things (IoT) Making the University Campuses Smart? Q A Higher Education (QAHE) Perspective. Paper presented at the 2018 IEEE 8th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC).
- Ministry of Education, Science and Technology (MEST) of the Republic of Korea (2011). Smart Education Promotion Strategy. President's Council on National ICT Strategies.
- Meyers, M. (2015). *Connecting the Classroom with the Internet of Things*. Consultado el 18/09/2019 de <https://www.edsurge.com/news/2015-03-28-connecting-the-classroom-with-the-internet-of-things>.
- Massachusetts Institute of Technology (MIT) (2017). *MIT IoT Bootcamps, Internet of Things: Roadmap to a Connected World*. Consultado el 19/09/2019 de <https://bootcamp.mit.edu/iot/>
- Mylonas, G.; Amaxilatis, D.; Pocero, L.; Markelis, I.; Hofstaetter, J., and Koulouris, P. (2019). An Educational IoT Lab Kit and Tools for Energy Awareness in European Schools. *International Journal of Child-Computer Interaction*, 20, 43-53.
- Mylonas, G.; Triantafyllis, Ch., and Amaxilatis, D. (2019). An Augmented Reality Prototype for Supporting IoT-Based Educational Activities for

- Energy-Efficient School Buildings. *Electronic Notes in Theoretical Computer Sciencie*, 343: 89-101.
- Nehru, R., and Chakraborty, S. (2019). The Education of Things (EoT) for Smart Learning Through IoT Intervention: A Case Study Based Analysis. Paper presented at the ICICCT 2019-System.
- Ng, J.; Azarmi, N.; Leida, M.; Saffre, F.; Afzal, A., and Yoo, P. (2010). The Intelligent Campus (iCampus): End-to-End Learning Lifecycle of a Knowledge Ecosystem. In 2010 Sixth International Conference on Intelligent Environments, IEE, 332-337.
- Ospino-Pinedo, M.; Maza-Figueroa, N. and Orozco-Acevedo, M. (2017). Modelo de gestión estratégica para el desarrollo de un campus inteligente basado en conceptos de Smart City en la Universidad de Cartagena-Campus Piedra de Bolívar. *Dissertación doctoral, Universidad de Cartagena, Programa de Ingeniería de Sistemas*.
- Ramlowat, D. and Pattanayak, B. (2019). Exploring the Internet of Things (IoT) in Education: A Review. Paper presented at the Information Systems Design and Intelligent Applications, Singapore.
- Rose, K.; Eldridge, S., and Chapin, L. (2015). The Internet of Things (IoT): An Overview. In: C. Marsan (Ed.), *Understanding the Issues and Challenges of a More Connected World*. Internet Society, Geneva, Switzerland.
- Rueda, J. y Portocarrero, J. (2016). De las redes de sensores inalámbricas al Internet de las cosas: ¿Tecnologías complementarias o antagonistas? Presentado en el Congreso Internacional en Innovación y Apropiación de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones-CIINATIC 2016.
- Rueda, J. y Portocarrero, J. (2017). Similitudes y diferencias entre redes de sensores inalámbricas e Internet de las cosas: Hacia una postura clasificadora. *Revista Colombiana de Computación*, 18(2), 58-74.
- Rueda-Rueda, J.; Manrique, J. y Cabrera, J. (2017). *Internet de las cosas en las instituciones de educación superior*. Congreso Internacional en Innovación y Apropiación de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, CIINATIC, Cúcuta, Colombia. Vol. 1.
- Selinger, M.; Sepúlveda, A., and Buchan, J. (2013). *Education and the Internet of Everything: How Ubiquitous Connectedness Can Help Transform Pedagogy*. San Jose, CA: White Paper, Cisco.
- Smart Schools NY Commission (2014). New York Smart Schools Commission Report. Consultado el 12/09/2019 de http://www.governor.ny.gov/sites/governor.ny.gov/files/archive/governor_files/SmartSchools-Report.pdf.
- Ueda, T., and Ikeda, Y. (2016). Stimulation Methods for Students' Studies Using Wearables Technology. In 2016 IEEE Region 10 Conference TENCON, 1043-1047.

- Universidad Internacional de Florida (2019). Internet of Things Degree. Consultado el 19/09/2019 de <https://ece.fiu.edu/academics/undergraduate/bs-internet-of-things/index.html>.
- Uskov, V.; Bakken, J.; Pandey, A.; Singh, U.; Yalamanchili, M., and Penumatas, A. (2016). Smart University Taxonomy: Features, Components, Systems. In Smart Education and e-Learning 2016. Springer, Cham, 3-14.
- Valdivieso-Caraguay, Á.; Barrona-López, L., and García-Villalba, L. (2014). SDN: Evolution and Opportunities in the Development IoT Applications. *Journal of Distributed Sensor Networks*, 10(5). doi: doi.org/10.1155/2014/735142
- Zhu, Z.; Yu, M., and Riezebos, P. (2016). A Research Framework of Smart Education. *Smart Learning Environments*, 3(4), doi: [10.1186/s40561-016-0026-2](https://doi.org/10.1186/s40561-016-0026-2).
- Zong, C.; Jia, B., and Zhang, Y. (2014). Research on Application of the Internet of Things in University's Teaching Management. *Advanced Materials Research*, 860: 3017-3020). Trans Tech Publications.

Capítulo III. Internet de las cosas para incrementar la eficiencia de las operaciones en las escuelas y las universidades

Margarita Glenda Mayoral Baldivia
Armando Román Gallardo
Omar Álvarez Cárdenas
José Román Herrera Morales

Introducción

Con la finalidad de incrementar la eficiencia de las operaciones en las escuelas y las universidades, debe tenerse claro cuáles procesos del ámbito escolar se quieren mejorar, ya que la eficiencia puede ser una interpretación relativa a cada contexto al que se haga referencia, aun cuando el término *eficiencia* en la educación sea definido como la relación entre los objetivos educativos esperados y los aprendizajes logrados, mediante la utilización óptima de los recursos destinados para ello (Pérez, 2016).

En el sistema educativo nacional se asocia la eficiencia con los niveles de logro de indicadores que se alcanzan en un periodo determinado y, por tanto, la eficiencia en las operaciones que estén encaminadas a lograr dichos objetivos educativos. La medición tendrá que realizarse de acuerdo con las condiciones dadas en cada caso; sin embargo, al hablar del uso de las tecnologías de información y comunicación (TIC) en este ámbito y particularmente con referencia a Internet de las cosas (IoT, por sus siglas en inglés), se presenta un panorama muy extenso en cuanto a las posibilidades de automatizar procesos e incrementar la eficiencia de las operaciones en las escuelas y universidades en general (Rueda-Rueda, 2017).

Para conocer el papel que desempeñará IoT en el mejoramiento de las operaciones de gestión en escuelas y universidades, es importante saber en qué consiste trabajar eficientemente los procesos involucrados en la gestión escolar. Como lo propone Fabela-Cárdenas (2014), lo recomendable es comenzar por un análisis de fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas (FODA), para así establecer los parámetros de mejora, sus sistemas de evaluación interna, así como los procesos y las estrategias pedagógicas y administrativas que se pretenden optimizar con el apoyo de la tecnología. Con este análisis, el binomio educación-tecnología se reflejará en la calidad educativa que, de acuerdo con la UNESCO (2006), debe ser equitativa, relevante, pertinente, eficaz y eficiente.

En México se emplea el concepto de Programa de Escuelas de Calidad (PEC), el cual promueve un modelo de gestión escolar que impulsa el fortalecimiento de los directores, maestros y padres de familia. Con base en este concepto, IoT puede contribuir a incrementar la eficiencia de las operaciones en las escuelas, de tal manera que la llamada escuela inteligente surja como resultado de la implementación de las personas, procesos, datos y objetos involucrados en IoT, logrando con esto mejorar la gestión escolar al mismo tiempo que se generan datos que permiten mejorar la calidad en la educación, la seguridad de los estudiantes y su infraestructura escolar, con ambientes propicios para la escuela inteligente (Bautista, Parra-Valencia y Guerrero, 2017).

Escuelas inteligentes

En el término de escuela inteligente, así como como ciudad inteligente, hospital inteligente, etcétera, se hace referencia tanto al conocimiento como a la capacidad por aprender y transformarse, teniendo como fuente la información y los datos obtenidos en los dispositivos involucrados en los mismos procesos de automatización, generación y monitorización de los recursos, formando con ello un espiral de crecimiento y mejora continua constante (Agüerrondo, 2010).

En una escuela inteligente, la conectividad y los sistemas involucrados en cada uno de los procesos tienen verdadera relevancia, ya que son indispensables para el funcionamiento adecuado,

tanto la infraestructura de red —es decir, Internet, proporcionando la conectividad alámbrica e inalámbrica de dispositivos de distintas tecnologías—, así como la generación y el análisis de los datos, que permiten una mejor calidad en la educación, adicional a la seguridad en los procesos e individuos involucrados (García *et al.*, 2018).

La presencia de estos recursos tecnológicos en la educación permite implementar controles y realizar monitorización de todas las actividades llevadas a cabo en el entorno, desde la actividad administrativa, de mantenimiento de infraestructuras, así como el quehacer docente, incluyendo la actividad realizada en el aula con el estudiante, permitiendo hacer seguimientos rigurosos del desempeño de la institución. La implementación de estos recursos en el entorno educativo debe agilizar tareas y gestionar de manera más conveniente y eficiente para todos (Barrón, Zatarain y Hernández, 2014).

La implementación o el surgimiento de las escuelas inteligentes es factible en la medida que se tenga el recurso tecnológico y técnico para lograrlo. La proliferación de los también denominados dispositivos inteligentes, tales como celulares y tabletas, entre otros, así como los dispositivos vestibles (*wearables*), sensores y, en general IoT, propicia este surgimiento de cualquier ambiente como *inteligente*, no sólo las escuelas. La posibilidad de conjugar estas tecnologías permite a los centros educativos no únicamente el mejor uso de los recursos, sino que, como una espiral, si se realiza el análisis de los datos generados por los dispositivos se puede tener una mejora continua en cada proceso que se realice o se controle con dichas tecnologías (Damas, 2018).

IoT representa un conjunto de tecnologías muy variadas, que agregan valor al manejo de la información, la infraestructura física y el medioambiente; dichas tecnologías se pueden emplear para aumentar la eficiencia en todo el contexto escolar y en cualquier otro, utilizando tecnologías que permitan la conectividad y la extracción de datos, de manera que con dichos datos recabados se puedan generar patrones y vinculaciones entre los procesos, entre las máquinas y entre las personas. Así, sería posible generar nuevos procesos que nos llevaran a la mejora constante; por ejemplo,

la monitorización de la infraestructura escolar, el mejor uso de recursos e instalaciones físicas de la institución, la administración de los recursos humanos, el control, registro y seguimiento de las actividades realizadas en el ámbito principal (que es el proceso de enseñanza-aprendizaje) y la seguridad de los recursos tangibles e intangibles de la institución; es decir, los procesos, la información, la infraestructura y las personas (Calderón, De la Torre y Vargas, 2014).

La consolidación de un entorno educativo inteligente no es tarea fácil, pero tampoco imposible, pues IoT hace posibles operaciones que nos colocan en el camino a la mejora continua de los procesos administrativos en las escuelas y universidades, implementando controles y acciones creativas.

Pueden realizarse acciones para hacer más eficientes los procesos en los centros educativos, desde el punto de vista de IoT, entendiéndolo como las comunicaciones máquina a máquina (M2M), e involucrando sensores y controles basados en la red. Estas acciones, de acuerdo con Jurado, Velásquez y Vinuenza (2014), pueden ser:

- Seguimiento personalizado y automático de la asistencia de los estudiantes.
- Monitoreo individualizado de las actividades deportivas de los estudiantes.
- Rastreo de vehículos y control del servicio de autobuses escolares.
- Gestión y control de consumo de energía, control de la iluminación en las áreas según las necesidades de uso.
- Uso de sistemas de riego automatizados que permitan el consumo mínimo de agua.
- Monitoreo de variables ambientales en cada espacio de aprendizaje como temperatura, humedad, flujo y calidad del aire, que propicien comodidad para la realización de las actividades de manera más productiva y adecuada a cada caso.
- Control y monitoreo de uso de los recursos escolares, bibliográficos, equipos de laboratorio, aulas, equipos de cómputo, etcétera.

- Uso de laboratorios virtuales, remotos compartidos.
- Uso de plataformas educativas, dispositivos y componentes que permitan la creación de exámenes pero que además califican o corrigen ejercicios automáticamente y, al mismo tiempo, generan estadísticas de los resultados obtenidos.
- Recolección de datos en tiempo real y conectados a la nube, mismos que se pueden usar para mejorar planes de clases, uso de laboratorios, así como generar información que puede ser útil en los procesos de acreditación de planes y programas.
- Localización de materiales, información y personas.
- Plataformas de comunicación institucional, involucrando la comunidad educativa completa, autoridades, administrativos, servicios generales, profesores, estudiantes, y hasta padres/tutores del estudiante.

Uso de credenciales RFID en las escuelas de Texas

Para Leandro R. (2016), el uso de las credenciales de identificación por radiofrecuencia (RFID, por sus siglas en inglés) en escuelas de Estados Unidos es cada día más cotidiano entre los más pequeños, adolescentes y jóvenes; la ciudad de Texas es muestra de cómo serán las cosas en un futuro cercano, donde el que no quiera ser *vigilado* con tecnologías RFID, que significa llevar una credencial con un chip de radiofrecuencia, se expondrá a situaciones como ser perseguido y excluido por negarse a utilizarlas. Al respecto, los alumnos expresan que se está violando su privacidad, pero la escuela debe implementar nuevos mecanismos para mejorar el control y monitoreo de sus estudiantes mediante la puesta en marcha de programas que pretenden controlar todos los movimientos de en sus centros escolares, por lo que es de utilidad que porten sus credenciales con dicho sistema (véase figura 1) (Vallejo y Rivera, 2016).

Figura 1

Microchip RFID utilizado en Texas



Fuente: Inhabitat (2018).

La institución intenta reducir con las RFID, pero los estudiantes se están negando a portar las credenciales, lo que ha provocado sanciones por parte de la escuela, limitar la participación en ciertas funciones escolares y restringiendo los accesos a áreas comunes, como bibliotecas o cafeterías. Adicionalmente, como lo menciona Standards (2019), a quienes no porten la credencial le ha negado su participación en elecciones estudiantiles. De lograrse la aceptación estudiantil, se aplicará en aproximadamente 112 escuelas pertenecientes al distrito escolar en Texas.

Dispositivos de IoT educativo para mejorar la participación y resultados de aprendizaje

Con el objetivo de cerrar la gran distancia que hay en la brecha digital y abordar de alguna manera los rezagos en la calidad educativa, en 2012, el gobierno tailandés distribuyó 800 mil tabletas digitales para estudiantes de primer grado en todo el país; en estudios realizados por sus investigadores de forma empírica mostraron que la experiencia de aprendizaje y el rendimiento de los estudiantes mejoraron utilizándolas, por lo que decidieron asumir el desafío de diseñar y desarrollar una herramienta de aprendizaje educativo innovadora con uso de las tabletas existentes de bajo costo en áreas rurales desfavorecidas, donde falta la conectividad e Internet.

Para preparar a los niños para el aprendizaje del siglo XXI en resolución de problemas, pensamiento crítico, creación de contenido y colaboración, el sistema adoptó el concepto de aprendizaje basado en la indagación (IBL, por sus siglas en inglés) (Learning, 2019) y el modelo del ciclo de aprendizaje 5E (Standards, 2019), ya pueden motivar a los estudiantes jóvenes a aprender y construir nuevas ideas basadas en su propia comprensión, al proporcionarles preguntas, problemas o escenarios del mundo real.

De ahí que se dieron a la tarea de diseñar y construir un dispositivo de aprendizaje educativo centrado en la ciencia, además de realizar un estudio que demuestre cómo mejoraría la participación de los estudiantes y sus resultados de aprendizaje. En este sentido, los investigadores Dr. Jim Ang y el estudiante de doctorado Pruet Putjorn, desarrollaron la plataforma conocida como *Internet of Educational Things* o Internet de las Cosas Educativas (IoET) personalizada, llamada *Observation Learning System* (OBSY), que es un sistema formado por varios componentes, como un lector de luz y un monitor de temperatura de bajo costo, los cuales envían datos de forma inalámbrica a tabletas (Pruet, Ang y Farzin, 2016). El sistema proporciona una conectividad segura a través de un enrutador WiFi y permite a las tabletas, vía WiFi, accesar a OBSY, mediante el uso de una aplicación Web dentro del alcance del área de cobertura inalámbrica (véase figura 2).

En su diseño se integraron consideraciones como ser lo más *amigable* posible, que fuera similar a un juguete y que fomentara la curiosidad en los niños, ya que investigaciones previas en este sentido demostraron que los dispositivos tecnológicos de aspectos más convencionales alejaban a los niños y les creaban ansiedades en el aprendizaje. El diseño tiene una imagen de un pulpo porque tiene muchos tentáculos que pueden representar la variedad de sensores que adquieren datos del entorno circundante. El nombre OBSY es creado por la combinación de *observar* y *pulpo*, que representa las características clave del sistema OBSY (figura 3), el cual es sistema innovador de observación del aprendizaje, que facilita el desarrollo del aprendizaje colaborativo de los jóvenes estudiantes a través de la integración de la tecnología de IoT, su aplicación Web y la conectividad WiFi.

Figura 2
Esquema de interconexión OBSY



Fuente: OBSY (2018a).

Figura 3
Diseño y apariencia física de OBSY

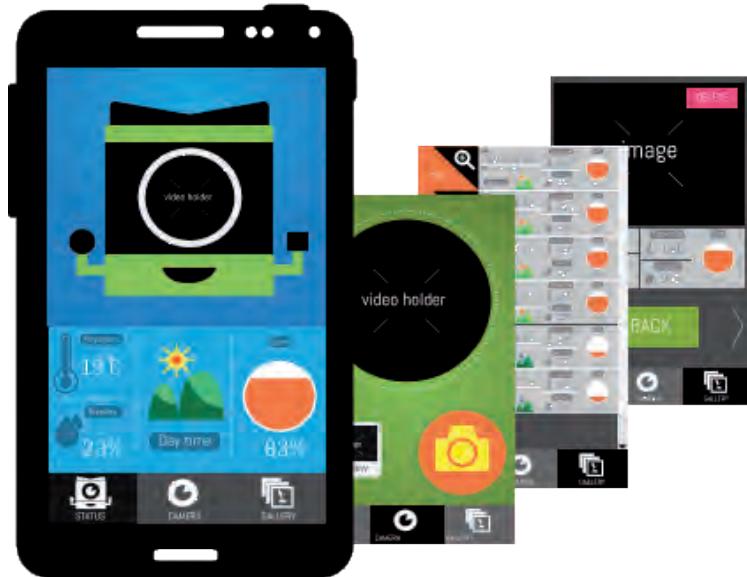


Fuente: OBSY (2018b).

La actividad de aprendizaje con OBSY adopta el concepto de experimentos científicos que pueden permitir a los estudiantes aprender y construir nuevas ideas basadas en su propia comprensión. Esto puede permitir a los estudiantes observar, aprender y

entender (a través del aprendizaje social) la información del mundo real, a través de la adquisición de datos en tiempo real como la temperatura, nivel de luz, humedad, entre otros (figura 4).

Figura 4
Interfaz de la Aplicación Móvil OBSY



Fuente: OBSY (2018c).

Los experimentos que realizaron los estudiantes con este dispositivo versaban sobre el estudio del crecimiento del moho en diferentes condiciones, los diferentes factores que influyen en el desarrollo de dichos hongos y evaluar cuánta luz pasa por los diferentes objetos. Para la actividad, utilizaron la cámara para tomar fotos o videos y compararlos, posteriormente observaron los cambios de temperatura en los objetos sobre los que se estudiaban los hongos o bien midieron la cantidad de luz que pasa a través del objeto, lo que ayudó a mejorar la comprensión de las diferentes condiciones que dan lugar a resultados diferentes. De esta forma, los investigadores pudieron observar que los niños que utilizaban la herramienta OBSY tenían un compromiso en el aprendizaje no-

tablemente superior y con mejores resultados que los de la clase de control que realizó los mismos experimentos sin el uso de la plataforma solución OBSY. Esto demostró el potencial de la herramienta en una amplia variedad de edades y que la implementación de sistemas similares podría ser de gran importancia en el desarrollo educativo de los estudiantes.

Bibliotecas inteligentes en el contexto de IoT

IoT se está utilizando en diversas áreas que forman parte del ambiente educativo, incluso de las bibliotecas de nuestras escuelas y universidades, donde cada dispositivo se puede conectar, comunicar y realizar gran cantidad de transacciones mediante la colocación, en cualquier lugar, de pequeñas placas de hardware especializadas de bajo costo, que utilizan conexiones con bajo consumo de energía como son el *Bluetooth* y WiFi. Estos dispositivos nos proporcionan información sobre los usuarios, como ubicación, proximidad a nuestro punto de origen o cercanía a múltiples sensores que tengamos instalados en un determinado espacio, y con ello monitorear su comportamiento en tiempo real para asistirlos y dar una atención personalizada.

Los estudiantes desean también acceder, desde cualquier lugar, a todos los servicios bibliotecarios que son posibles de virtualizar, lo que plantea grandes problemas físicos y conceptuales al modernizar y avanzar hacia la era de las bibliotecas digitales, ya que si queremos avanzar hacia el futuro y contar con bibliotecas inteligentes, estas tendrán que estar en constante evolución mediante la incorporación de señalización digital y otras tecnologías como las de los *beacons* (conocidos también en la lengua española como faros o balizas), que son diminutos dispositivos electrónicos de bajo consumo energético que usan transmisiones de datos con el estándar de *Bluetooth*, a los cuales se les puede ajustar el alcance, dentro del rango máximo que es de alrededor de los 50 metros de distancia.

Los *beacons* se pueden utilizar en aplicaciones específicas y transmitir datos hacia los dispositivos móviles, como lo son los teléfonos inteligentes (smartphones) y tabletas digitales, para proporcionar y comercializar los servicios y productos mediante

aplicaciones móvil (figura 5). Su finalidad es identificar en qué sección de una biblioteca te encuentras, mostrando que la integración de IoT y las aplicaciones móviles son una de las mejores prácticas en materia de tecnología inteligente que deben ser incorporadas. De esta forma, se modernizarán sus comunicaciones y seguirán siendo relevantes para las generaciones más jóvenes, al ser congruentes con lo que ellos están utilizando, por lo que todos estos aspectos deben ser tomados en cuenta al momento de la digitalización de las bibliotecas (Universo Abierto, 2019).

Figura 5
Aplicación de los beacons



Fuente: IncreMerka-2 (2019).

El sitio web IncreMerka (2019) menciona que los *beacons* están siendo rápidamente adoptados por los *retails*, que son tipos de comercios que se caracterizan por vender al por menor y cadenas minoritarias en los mercados centrales de Estados Unidos y Alemania, para aumentar la cantidad de visitantes; mientras tanto, en América Latina estas tecnologías son casi desconocidas. Una de las principales ventajas es que los usuarios descargan la aplicación y conectan sus teléfonos mediante *Bluetooth* para recibir la información, sin necesidad de tener que contar con conectividad a Internet, ello facilita a cualquier usuario externo obtener infor-

mación sin preocuparse por los gastos de datos y de conectividad. Los *beacons* brindan una solución en regiones del mundo donde la conectividad se encuentra en vías de desarrollo. Una de las grandes desventajas es que no ha logrado tener visibilidad para su uso y aplicación de manera masiva. En la figura 6 se muestra una solución basada en esta tecnología que integra un sensor de humedad para tener un control preciso de las condiciones ambientales en ciertas áreas de una biblioteca.

Figura 6

Beacon Bluetooth con sensor de humedad integrado



Fuente: Koöhne y Sieck (2014).

Algunas de las ventajas del uso de la señalización digital que podrían proveer los *beacons* en las bibliotecas, tienen que ver con la posibilidad de dirigirse y comunicarse con sus usuarios, sobre todo con aquellos que no están cercanos, enviándoles un mensaje (también conocido como servicio de mensaje corto, SMS, por sus siglas en inglés), y para quienes están cerca de la biblioteca les envía un SMS de bienvenida con información sobre los servicios y productos que comercializa, novedades o eventos a llevarse a cabo, entre otras. También proporciona señalización digital a medida que entran y van recorriendo la biblioteca, la cual guía a los usuarios para recorrer el interior, mientras que a los bibliotecarios les permite conocer si el visitante es un usuario de la universidad o externo. Adicionalmente, los usuarios pueden localizar un libro

en las estanterías si proporcionan a la administración sus preferencias de lectura, las áreas, temas o títulos a consultar. Todo ello provee una experiencia de usuario más personalizada.

Las visitas virtuales, guiadas con información multimedia, son también una posibilidad que brinda esta tecnología; por ejemplo, al llegar a una ubicación específica dentro de la biblioteca, el usuario recibe en su dispositivo móvil videos o audios que muestra los servicios que se ofrecen en esa localización.

Hay aspectos importantes en los servicios bibliotecarios, como son las multas por penalizaciones en el préstamo por no haber regresado el libro en tiempo, los *beacons* le permitirán, tanto al bibliotecario como al usuario, saber cuánto se adeuda y hacer el pago desde el dispositivo.

De la misma forma, los *beacons* permitirán a los usuarios de las bibliotecas verificar la disponibilidad de servicios como el préstamo de computadoras, escáneres y títulos, incluso el mismo sistema asigna la computadora que les corresponde, y el usuario indica cuándo la ha dejado de utilizar o el sistema detecta si ya no está cercano a los equipos; además permite realizar búsquedas bibliográficas de los materiales de estudio disponibles en la biblioteca.

Esta señalización digital tiene la capacidad de que el usuario se sitúe enfrente de un estante de libros y el dispositivo muestre la información de los libros que se encuentren disponibles en él. Es decir, el servicio podría ser tan específico como llegar a enviar notificaciones de la disponibilidad de ciertos títulos para su préstamo o el haber sido reintegrados a su estante correspondiente.

De esta manera, las bibliotecas inteligentes pueden contribuir a la mejora en los servicios bibliotecarios y rapidez en las búsquedas, así como de conocer las necesidades y actividades que realizan con mayor frecuencia los usuarios para, de esta forma, desarrollar servicios acordes a las necesidades, convirtiendo a la biblioteca en un laboratorio con una experiencia de uso más motivadora.

El impacto de IoT en la docencia

Hasta el momento, se han descrito algunas aplicaciones de IoT dentro del ámbito educativo; sin embargo, es de resaltar su impacto para apoyar y asistir las tareas del docente a través de exámenes estandarizados, y calificando y retroalimentando de manera automática a los estudiantes. Si llevamos esto a los deberes que realizan los estudiantes, es posible que el profesor tenga en tiempo real los resultados para hacer un seguimiento individual o del grupo, y de ser necesario aplicar medidas que apoyen a la conclusión de las tareas, prácticas o proyectos estudiantiles.

De acuerdo con Felici *et al.* (2018), la incorporación de IoT en la actividad docente es analizada desde dos aristas importantes para lograr su objetivo: el *software* y el *hardware*. La integración de las plataformas educativas con el apoyo de IoT presenta obstáculo al momento de implementarlas a gran escala; primero es la integración del *hardware*, que va desde arquitectura de sistemas embebidos, sensores y conectividad; después, el *software* que se requiere para su adecuado funcionamiento, así sea complejo y especializado para controlar, administrar y analizar grandes volúmenes de datos. Un ejemplo de dicha actividad es la presentada por Álvarez *et al.* (2018), quienes en su propuesta de aplicar IoT, Massive Open Online Courses (MOOCs) y sensores vestibles para apoyo al proceso de enseñanza, no buscaron solamente mantener la interacción del profesor con el alumno sino de preservar los elementos y actividades de la clase presencial a través del uso de la tecnología IoT.

Una vez que el docente implemente sus actividades frente a grupo, es posible extenderlo a las funciones de tutoría y asesoría de estudiantes, para luego considerar los resultados de las tareas, calificaciones, asistencia e interacción en clases. Con toda esta información, la parte de tutoría y asesoría tendrá las estadísticas necesarias para notificar de manera automática a los alumnos en riesgo de reprobar o desertar. Como puede apreciarse, la integración de IoT como herramienta educativa abarca todas las actividades sustantivas del docente y todas las variantes de atención de estudiantes que cada centro educativo determine, útiles para la toma de decisiones escolares.

La eficiencia de las escuelas y universidades con IoT

Otro de los impactos positivos de IoT tiene que ver con las facilidades que brinda para hacer más eficiente la operatividad de las instituciones de educación. Se mencionó el caso de las escuelas de Texas, donde se usa el RFID para identificar y localizar a los estudiantes en diversas actividades académicas; adicionalmente, está el uso credenciales para mejorar la operatividad y control con respecto al ingreso y acceso de los edificios, asistencia a clase, uso de transporte e incluso en algunos casos como monedero electrónico.

Aplicar RFID en las bibliotecas mejoraría de manera sustancial el proceso de los tediosos inventarios y sistemas de préstamos. En varias universidades, las bibliotecas suspenden servicio hasta por una semana para realizar los inventarios basados en código de barras, si se sustituyeran por RFID sería posible, con un lector, obtener en segundos la información de todos los libros existentes en los estantes. Se envía mediante un dispositivo móvil inalámbrico IoT a la nube para su procesamiento y correcta toma de decisiones. Esta misma solución es aplicable a la infraestructura de mobiliario y equipo asignado en cada área.

Otra área de oportunidad aplicando IoT es referente al control del consumo eléctrico del edificio, muchas instituciones educativas ofrecen confort en sus instalaciones con aires acondicionados; no obstante, son de los factores que más impactan en la economía por el consumo de energía eléctrica, por lo que aplicar IoT para gestionar el consumo eléctrico incluiría el acondicionamiento artificial del clima, luminarias y proyectores de datos; la manera de hacerlo sería instalando sensores de presencia y temperatura que, de acuerdo con los valores recopilados, se distribuyan en un área de almacenamiento para ser procesados y determinar así el apagado de luces y del aire en caso de no requerirse.

La ventaja de usar dispositivos IoT ofrece más funcionalidades que solamente controlar el encendido y apagado, también permite regular la iluminación (por ejemplo, las luminarias exteriores del edificio) a una intensidad mínima mientras no se detecta circulación o presencia de personas. En el caso de los climas, mantener siempre una temperatura determinada, pero considerando el calor generado por la cantidad de personas en el aula o auditorio

para evitar tener temperaturas muy bajas en presencia de pocas personas.

Para dar más elementos a la solución IoT descrita hasta el momento, agregariamos que toda la información recopilada por los dispositivos apoyarían los esquemas de mantenimiento preventivo de luminarias y climas, enviando directamente una notificación a la dirección del plantel sobre las horas de uso real de estos dispositivos y cuáles de ellos requieren de servicio especializado. Incluso se podría notificar de manera automática a la empresa responsable de los mantenimientos para que den una rápida atención, y que permitiría aprovechar al máximo el tiempo de vida útil de los aparatos. De esta manera se hace eficiente el uso y mantenimiento de estos servicios que proporcionan al estudiantado un ambiente agradable que le permite mejorar su educación y permanencia dentro de una institución educativa.

Considerando el apartado de seguridad física de los estudiantes, las soluciones basadas en IoT mencionadas hasta el momento generan información que permite medir la mejora de la calidad educativa y proveer un espacio adecuado para realizar las actividades de enseñanza/aprendizaje mediante una respuesta eficiente por parte de la directiva escolar. La información recolectada por los sensores es posible utilizarla para dar condiciones de seguridad a quienes se ubican dentro de dicha institución educativa; sin embargo, el tema de derechos humanos y privacidad de la información será una barrera muy particular para discutir. En caso de ser factible, aprovechar esta posibilidad permitiría registrar en tiempo real el movimiento y actividad dentro de las universidades de todo el personal, incluyendo estudiantes.

Referente a la seguridad para equipos y mobiliario, al implementarles IoT se determinarían las horas de uso efectivo, ubicación y cambios de lugar (si los movieran), lo que facilitaría a la administración la toma de decisiones con respecto a su mantenimiento, localización y movimiento no autorizado.

Fuera de los centros educativos, la implementación de esta tecnología ayudaría a la logística, control y seguridad de grupos de estudiantes cuando participan en campamentos, torneos deportivos, excursiones, visitas a museos y todas las demás actividades

extracurriculares que cada plantel permita. Lo que se debe tener en cuenta es que, mientras el avance tecnológico se está presentando en períodos de tiempo cortos, la legislación para la regulación, privacidad, acceso a la información y penalización del mal uso de la tecnología, avanza en tiempos dispares, con una lentitud muy marcada en lo legislativo; mientras que el avance de las TIC es de manera exponencial.

A pesar de las limitaciones que existen para aprovechar a 100% la tecnología, en este caso IoT, las universidades y escuelas tienen la oportunidad de obtener beneficios académicos, económicos y sociales al integrar las soluciones IoT para mejorar su eficiencia. Esto es, las instituciones educativas manejan los mismos elementos fundamentales de IoT que son las personas, procesos, datos y objetos, los cuales generan nuevas formas de comunicación para la toma de decisiones como son: conexión persona a persona (P2P), máquina a persona (M2P) y máquina a máquina (M2M). El sistema educativo no debe perder de vista que la integración IoT *per se* no dará los resultados esperados si no existe previamente una mejora y revisión de los procesos, para eliminar redundancia de actividades o falta de procesos necesarios para mejorar la administración. La tecnología tendrá la función de automatizar dichos procesos; por lo tanto, si los procesos están mal diseñados, la automatización no generará los resultados esperados.

Desde el punto de vista tecnológico, considerando que las personas, procesos, datos y objetos ya fueron debidamente seleccionados y actualizados, se requiere una inversión en infraestructura de red segura y confiable que garantice la integración de IoT y todo el tráfico de información adicional al existente, que se adicionará en la red. En este apartado debe hacerse una selección de los sensores y los dispositivos que recolectarán dicha información para integrarla, conformados por equipos de interconexión de redes con capacidad y características para manejar el tráfico normal de la red, destinada para la solución de IoT. El tráfico IoT debe ser manejado de manera particular dentro de una red educativa para ser procesada y analizada en una nube privada, pública, comunitaria o híbrida, dependiendo de las necesidades y economía de cada centro educativo.

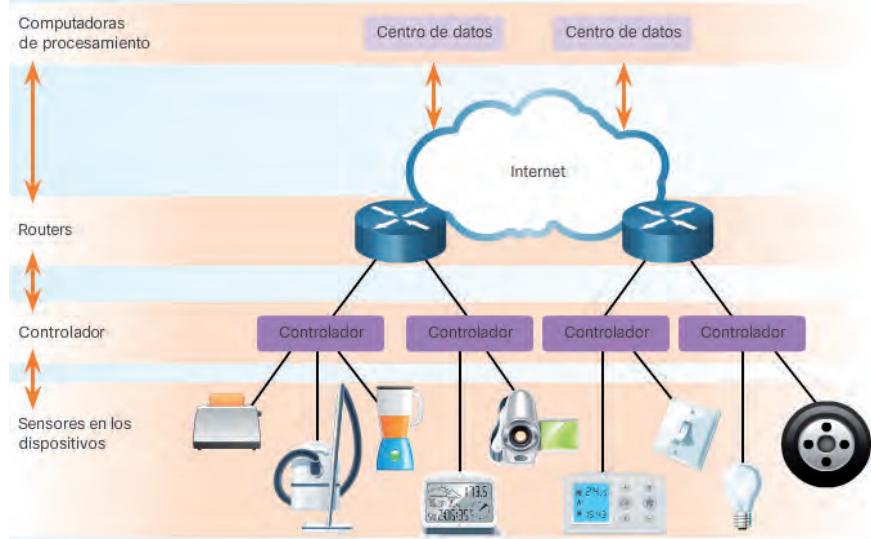
Entonces, para una mejora en la eficiencia dentro de las universidades y escuelas, es importante tener en cuenta una correcta depuración y actualización de sus procesos, que permitan la máxima flexibilidad para conectar a las personas (toda la comunidad académica) y los objetos (elementos a ser medidos mediante sensores) de manera confiable y eficaz, para que, una vez implementada la solución IoT, exista una correcta integración de la seguridad, rendimiento y cumplimiento de las conexiones P2P, M2P y M2M esperadas. Por lo tanto, las instituciones deben estar abiertas a gran variedad de soluciones IoT por ser un mercado en constante y rápida evolución, para así evitar quedar atrapado por un solo proveedor o metodología de integración; por tanto, es indispensable tener asesoramiento especializado para obtener mayor provecho de esta tecnología.

Figura 7
Elementos y conexiones IoT



Fuente: CISCO (2019).

Figura 8
Visión global de interconexión IoT



Fuente: CISCO (2019).

Conclusiones

Para concluir, son innegables los beneficios educativos, en términos de eficiencia, que pueden lograrse al integrar la tecnología IoT en las funciones primordiales del sector educativo. Con esta tecnología se pueden mejorar los resultados académicos, entregando a los estudiantes experiencias de aprendizaje más enriquecedoras, con la obtención en tiempo real de datos en cualquier momento y sin importar el equipo terminal para consultarlos. En cuanto a la administración escolar, IoT facilita la toma de decisiones para responder de manera rápida y oportuna a todos los procesos integrados dentro de este concepto tecnológico, teniendo como resultado mejor control y ahorro de recursos enfocados a la educación. Por ello, IoT se considera una infraestructura global para la sociedad de la información, que permite servicios avanzados mediante la interconexión física y virtual de objetos en información interoperable, existente y envolvente que incluye, de manera importante, las nuevas tecnologías de comunicación. Las univer-

sidades y escuelas pueden ser más eficientes con la incorporación de IoT, sólo es cuestión de tiempo, recursos y legislaciones que den el apoyo y soporte para su correcta implementación.

Referencias

- Aguerrondo, I. (2010). La escuela inteligente en el marco de la gestión del conocimiento. *Revista Brasileira de Estudios Pedagógicos*, 91(227).
- Álvarez S.; Peredo, R.; Juárez, J. y Álvarez C. (2018). Diseño de una arquitectura IoT-MOOC como una alternativa al encuadre espacio-temporal en el proceso de enseñanza. *RIDE. Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 8(16): 712-728.
- Barrón E., M.L.; Zatarain C., R. y Hernández P., Y. (2014). Tutor inteligente con reconocimiento y manejo de emociones para matemáticas. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 16(3): 88-102.
- Bautista, D.R.; Parra-Valencia, J.A. y Guerrero, C.D. (2017). IOT: Una aproximación desde ciudad inteligente a universidad inteligente. *Revista Ingenio Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña*, 13(1): 9-20.
- Calderón, E.; De la Torre, M. y Vargas, G. (2014). Evolución del proceso educativo bajo el paradigma del Internet de las cosas. RMDI, 1. Recuperado de: http://www.revistamdi.uam.mx/archivos_rmdi/RMDI%2014-2.pdf
- Damas, M.N. (2018). Diseño, construcción e implementación de un prototipo de producto IoT. Tesis doctoral. Universidad de Jaén. Recuperado de: <http://tauja.ujaen.es/jspui/handle/10953.1/8413>
- Fabela-Cárdenas, M. y García-Treviño, A. (2014). Gestión de la calidad educativa en educación superior del sector privado. *Magis. Revista Internacional de Investigación en Educación*, 6(13): 65-82.
- Felici, S.; Segura, G.; Pérez, S.; García, P. y Soriano, A. (2018). Incorporación de Internet de las cosas (IoT) en la docencia universitaria en dos etapas: hardware y software. IN-RED 2018. IV Congreso Nacional de Innovación Educativa y Docencia en Red (pp. 898-907). Editorial Universitat Politècnica de València.
- García, L.; Burbano, E.; Gómez, A.; Bohórquez, F. y Moreno, J. (2018). Internet de las cosas: Hacia una educación inteligente. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/329104805_Internet_de_las_Cosas_Hacia_una_educacion_inteligente
- Inhabitat (2018). School District in Texas Using RFID. Recuperado de <https://inhabitat.com/inhabitots/school-district-in-texas-plans-to-microchip-students-to-aid-with-safety-and-attendance/>
- IncreMerka (2019). ¿Qué son los beacons? Recuperado de: <http://www.incremerka.mx/beacons/>

- IncreMerka-2 (2019). Oportunidades para hacer crecer tu marca. Recuperado de <http://www.incremerka.mx/wp-content/uploads/2016/06/beacon-uses.png>
- Jurado, P.; Velásquez, V. y Vinueza, E. (2014). Estado del arte de las arquitecturas de Internet de las cosas (IoT). Recuperado de: https://www.academia.edu/7197061/Estado_del_Arte_de_las_Arquitecturas_de_Internet_de_las_Cosas_IoT_
- Köhne, M., and Sieck, J. (2014). Location-Based Services with iBeacon Technology. 2nd International Conference on Artificial Intelligence, Modelling and Simulation (pp. 315-321).
- Leandro, R. (2016). *Credenciales RFID en escuelas*. Recuperado de: <https://finedelsglo.com/2016/11/13/ee-uu-credenciales-rfid-en-escuelas/>
- Learning, T.A. (2019). Inquiry Based Learning. Recuperado de: <http://www.inquirybasedlearning.org/inquiry-based-learning>
- Observation Learning System (OBSY) (2018a). Observation Learning System. Recuperado de http://obsy.spidyhero.com/images/pasted%20svg%201234x689_poster_.png?crc=3901571188
- Observation Learning System (OBSY) (2018b). Observation Learning System. Recuperado de: <http://obsy.spidyhero.com/#design>
- Observation Learning System (OBSY) (2018c). Observation Learning System. Recuperado de: http://obsy.spidyhero.com/images/pasted%20svg%201046x843_poster_.png?crc=3961347772
- Pérez, A.C. (2016). Calidad en la gestión universitaria ecuatoriana: Una búsqueda latente de eficiencia educativa. *Multiciencias*, 16(2): 194-201.
- Pruet, P.; Ang, C.S., and Farzin, D. (2016). Understanding Tablet Computer Usage Among Primary School Students in Underdeveloped Areas: Students' Technology Experience, Learning Styles and Attitudes. *Computers in Human Behavior*, 55: 1131-1144.
- Rueda-Rueda, J.S.; Manrique, J.A. y Cruz, J.D.C. (2017). *Internet de las cosas en las instituciones de educación superior*. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/319914477_Internet_de_las_Cosas_en_las_Instituciones_de_Educacion_Superior.
- Standards, T.N. (2019). *Inquiry, the Learning Cycle, and the 5E Instructional Model*. Recuperado de: <http://www.kacee.org/files/Inquiry%20and%205E%20Instructional%20Model.pdf>
- StrataCom, Inc (CISCO) (2019). *Soluciones de IoT de Cisco para su empresa*. Recuperado de: https://www.cisco.com/c/es_mx/solutions/internet-of-things/overview.html#~stickynav=1
- Universo Abierto (2019). *Biblioteca inteligente e Internet de las cosas (IoT)*. Recuperado de: <https://universoabierto.org/2017/11/27/biblioteca-inteligente-e-internet-de-las-cosas-iot/>

- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) (2006). *Directrices en materia de calidad de la educación superior a través de las fronteras*. Recuperado de: <http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001433/143349s.pdf>
- Vallejo Piedrahita, A.F. y Rivera Henao, J.S. (2016). *Estudio de viabilidad y prototipo del control de acceso de la Universidad Católica de Pereira con Tecnología RFID*. Recuperado de: <http://repositorio.ucp.edu.co/handle/10785/3874>

Capítulo IV. El futuro del aprendizaje y la integración de la tecnología en el aula

Juan Contreras-Castillo

Norma Angélica Barón-Ramírez

Pedro C. Santana-Mancilla

Sara Sandoval Carrillo

Juan Manuel Ramírez-Alcaraz

Introducción

En los últimos años, la pedagogía evidencia un cambio importante en los ambientes de enseñanza-aprendizaje por el uso de la tecnología en el aula, que ha impactado positivamente en dicho proceso, motiva la forma en la que se le presentan los contenidos, generan interés y sobre todo permiten la comunicación en forma atemporal y sin límites geográficos, asimismo cambia la forma en la que los estudiantes acceden a los contenidos.¹ Se tiene un aprendizaje personalizado para cada estudiante, pueden aprender a su propio ritmo con contenidos específicos y a sus necesidades, con la libertad de tiempo, espacio y tipo de aprendizaje. Tan es así, que muchas personas están preocupadas de que la tecnología pueda reemplazar al ser humano en inteligencia.² Con la introducción de la tecnología, se habla de nuevas formas de aprender: e-aprendizaje (aprendizaje sincrónico o asincrónico en tiempo y espacio), aprendizaje mezclado (donde se combinan aprendizajes presenciales y a distancia, tanto sincrónicos como asincrónicos), aprendizaje invertido (donde se les entrega previamente el material para que lo revisen en casa y posteriormente discutir los temas y realizar las actividades y tareas en el aula de clase), entre

1 <http://educacion.editorialaces.com/tic-en-el-aula/>

2 <https://elearningindustry.com/9-things-shape-future-of-education-learning-20-years>

otros de nuevas competencias y de nuevos ambientes de aprendizaje: cara a cara, a distancia, o híbridos.³ No podemos dejar de lado el uso de dispositivos digitales dentro del aula, tal como la tendencia de traer tu propio dispositivo para aprender en el aula (*bring your own device*, en inglés). También podemos encontrar la introducción de sensores y dispositivos del nuevo Internet de las cosas (IoT, por sus siglas en inglés), embebidos dentro del salón de clase y dentro de la escuela en su conjunto. Estos sensores proveen a los estudiantes y profesores con elementos adicionales para potenciar el proceso de enseñanza-aprendizaje y apoyar al docente para que pueda atender a más estudiantes dentro de la misma clase, evitándoles invertir horas en procesos que no son educativos, tales como levantarse para responder, distribución de materiales en clase o seguir instrucciones impartidas por el profesor, en las cuales, de acuerdo con Bryan Gregory (2016),⁴ gastan aproximadamente 308 horas de 1 025 que pasan al año en un salón de clase. La introducción de la tecnología en el aula cambiará el proceso de enseñanza-aprendizaje y transformará las experiencias; sin embargo, la implementación de IoT en ella se presenta como un escenario complejo e incierto, dado que se requiere de una fuerte inversión y aún existe cierta incompatibilidad entre los dispositivos. En la siguiente sección se presentan los retos de la enseñanza utilizando estos nuevos dispositivos y cómo tendrán que adaptarse a las nuevas situaciones, cómo introducir la tecnología en este proceso a través de un par de casos de estudio, las definiciones de IoT y el cómputo en la Nube cuyos datos podrían utilizarse dentro de un aula y, finalmente, las conclusiones referentes a este tema.

Tecnología en el aula

La implantación de tecnología en las aulas nos obligan a cambiar la forma en que concebimos la educación. Este paradigma tiene el potencial de realizar cambios fundamentales en el proceso de enseñanza-aprendizaje y realizar cambios positivos en el sistema educativo (Law y Pelgrum, 2008). Diferentes autores mencionan

3 https://www.lifeder.com/ambientes-aprendizaje/#Ambientes_de_aprendizaje_cara_a_cara

4 <https://dallas.core24.com/the-future-of-iot-and-education/>

los beneficios de aprender con tecnología en el aula,⁵ entre las que destacan:

- Los estudiantes pueden utilizar todos los estilos de aprendizaje.
- Mejora la colaboración.
- Promueve las habilidades de ciudadanía digital, entre otros.

La introducción de herramientas digitales hacen que los estudiantes se enfrenten a nuevos retos y que los proyectos sean más disfrutables, que se conecten con sus compañeros para preguntarse cosas y crear productos, y sobre todo a seguir sorprendiéndose en el contexto de los objetivos de aprendizaje.^{6,7} Sin embargo, la introducción de la tecnología en el aula tiene sus requerimientos esenciales, entre ellos, se debe contar con la infraestructura necesaria para soportar todos los dispositivos que se conectarían (Santana-Mancilla *et al.*, 2013), incluidos los teléfonos, las tabletas digitales y las laptops, entre otros. La infraestructura de red es un factor importante a considerar cuándo se introduce la tecnología en el aula. La mayoría de los dispositivos buscan conectividad a Internet para tener acceso a información y que los estudiantes aprendan a su propio paso, seleccionen la información que desean revisar nuevamente o la que desean conocer. La tecnología también permite que cualquier persona que desee aprender pueda hacerlo sin importar sus condiciones intelectuales, sociales, fisiológicas o motrices. En los siguientes aparatos se analizan los dos paradigmas actuales que están revolucionando la adopción de tecnología en el aula: computación en la nube e IoT.

Computación en la nube

Desde su aparición, la computación en la nube (*Cloud Computing*, por su nombre en inglés) se ha ganado un lugar importante en el amplio y acelerado mundo de la computación, considerándose

⁵ <https://www.securedgenetworks.com/blog/10-reasons-today-s-students-need-technology-in-the-classroom>

⁶ <https://www.hastac.org/blogs/melissaanolann/2018/11/30/benefits-technology-classroom>

⁷ <https://www.edutopia.org/article/putting-learning-first-new-tech-tools>

una tendencia tecnológica que permeará la forma en que almacenamos y procesamos datos, así como el desarrollo y ejecución de aplicaciones en los próximos años.

El concepto de computación en la nube o la nube, como actualmente lo conocemos, surge a principios de la década de 2000, con las propuestas de Google y Amazon (Qian *et al.*, 2009), para aprovechar al máximo sus recursos, encontraron una manera redituable de lograrlo: ofrecer tales recursos como servicios. De esta forma nace este concepto de la nube como nuevo paradigma de computación basado en la oferta y la demanda de los servicios de cómputo, donde el cliente paga solamente por lo que consume, sin preocuparse de atender cuestiones relevantes al mantenimiento y seguridad de la infraestructura contratada (configuración, actualización, licencias, fallas de energía, recuperación de servidores, respaldo de información, disponibilidad de los recursos, entre otros), pudiendo crecer o disminuir los recursos inicialmente contratados de manera automática (elasticidad).

Se han propuesto múltiples definiciones del término (Vaqueiro *et al.*, 2008), sin embargo, se toma como base formal la definición propuesta por el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST, por sus siglas en inglés) (Mell y Grance, 2011), que lo define como “un modelo que permite el acceso por red, ubicuo, conveniente y bajo demanda a un conjunto compartido de recursos de cómputo configurables (redes, servidores, almacenamiento, aplicaciones y servicios) que pueden ser proveídos y liberados rápidamente con un mínimo esfuerzo de administración o interacción con el proveedor del servicio”.

Uno de los ámbitos de aplicación más importantes de la nube es el educativo. En él confluyen diversas áreas que pueden ser beneficiadas con el uso de los servicios que se ofertan en línea, las principales a considerar son: administrativa, docencia, investigación y desarrollo.

En el área *administrativa* se suele contar con sistemas que gestionan bases de datos de estudiantes, su historial de calificaciones, trámites escolares, solicitudes de becas, servicio social, repositorio de tesis, seguimiento a egresados, planeación educativa (Magaña, Santana-Mancilla y De la Rocha, 2012), entre otros.

Estos sistemas generalmente son desarrollados, configurados y administrados completamente por las instituciones, lo que involucra, a su vez, la instalación, configuración y administración de infraestructura local. Lo ideal sería que la institución solamente centrara sus esfuerzos en optimizar los servicios ofrecidos a la comunidad escolar sin preocuparse de la infraestructura.

Es posible que el *área de docencia* sea la de más impacto por el uso de los servicios en la nube, puesto que la tendencia en la educación actual es proveer el *e-learning*, a través de plataformas de aprendizaje en línea o sistemas de gestión de aprendizaje (LMS, por sus siglas en inglés). Con lo que se busca que el estudiante interactúe con la clase a través de aulas virtuales, chats, foros, simuladores y otras herramientas; así como realización de evaluaciones en línea, entrega de prácticas y tareas, acceso a repositorios diversos, etcétera; y, por supuesto, el acceso a la documentación del curso a través de Internet y la posibilidad de ofrecer las clases de manera no presencial, con lo cual el proceso de enseñanza-aprendizaje se vuelve más flexible e incrementa la posibilidad de hacer llegar la educación a más personas. Además, con el uso de escritorios virtuales en la nube se podrían reducir las capacidades de las computadoras que se encuentran en los centros de cómputo (comunes en todas las instituciones), ya que no se necesitarían discos duros con mucha capacidad de almacenamiento, puesto que todo se almacenaría en la nube; asimismo, el tipo y número de procesadores se reduciría, ya que el procesamiento también se llevaría a cabo en la nube. Todo esto conlleva un sustancial ahorro en la compra de equipo y en el consumo de energía. También se cubrirían, en mayor medida, las demandas de las nuevas formas de aprendizaje de las generaciones actuales, las cuales se basan principalmente en el uso de las tecnologías y el acceso a Internet.

En el *área de investigación* es visible el impacto de los servicios en la nube, ya que regularmente no se cuenta localmente con la infraestructura de *hardware* y *software* adecuadas para realizar investigación de alto nivel, y la nube es una excelente opción para ello. Con el uso de servicios de infraestructura (IaaS, por sus siglas en inglés) se puede tener acceso a máquinas virtuales con las características necesarias que demanden sus investigaciones, in-

cluso se podría obtener computación de alto rendimiento (HPC, por sus siglas en inglés) a un costo accesible. De la misma manera, mediante la nube se pueden realizar análisis de datos o aplicación de inteligencia artificial (IA) usando un *software* especializado y guardar grandes volúmenes de información (*Big Data*) o interactuar con infraestructura de Internet de las cosas (IoT, por sus siglas en inglés).

Para el *área de desarrollo* de las instituciones educativas, las plataformas que ofrece la nube son muchas y variadas. Los desarrolladores pueden elegir la plataforma o el entorno de desarrollo que más adecuado para sus proyectos e incluso ejecutarlos en la infraestructura del proveedor sin preocuparse de la disponibilidad de los recursos o por problemas de compatibilidad.

Numerosos estudios resaltan la importancia del uso de la computación en la nube en el sector educativo (Ali, Wood-Harper y Mohamad, 2018; Almajalid, 2017; James y Weber, 2016; Rahman, Suhaimi y Shah, 2018; Sultan, 2010). La temática abordada por estos trabajos en lo general es sobre los factores involucrados en la adopción o rechazo a la migración de los servicios en la nube.

Almajalid (2017) describe brevemente varios ejemplos de cómo algunas instituciones educativas han implementado soluciones basadas en la nube, tal es el caso de la Universidad del Este de Michigan, la Universidad de California y la Universidad de Westminster. Por su parte, Ali *et al.* (2018) mencionan que en los beneficios inherentes al modelo de nube persisten algunas limitantes o retos para que las instituciones educativas estén convencidas de migrar sus servicios, entre los que podemos mencionar:

- *Privacidad de los datos*: se debe garantizar que los datos e información que se almacenen en la nube no sean compartidos o utilizados por otras personas. Este aspecto es una cuestión legal y se debe tener cuidado de revisar las políticas del proveedor y las leyes en que se basan, en especial si el proveedor reside en otro país.
- *Seguridad*: el proveedor debe implementar mecanismos que garanticen que la transferencia, el almacenamiento y el acceso a los datos se realice de manera segura y se evite el robo o pérdida de ellos.

- *Disponibilidad*: los servicios contratados deben estar accesibles todo el tiempo, de otra manera se podrían generar problemas graves hacia el interior de las instituciones, en el menor de los casos se provocarían retrasos en los procesos internos.
- *Conexión a Internet*: Se debe considerar un ancho de banda suficiente que garantice la correcta funcionalidad de los servicios. Este factor compete tanto al proveedor como al consumidor, ambos deben considerar la contratación de una conexión de red con suficiente capacidad para que los servicios funcionen adecuadamente.

A pesar de los retos y limitantes que existen para la migración a la nube respecto los servicios que prestan las instituciones educativas, muchas de ellas han migrado y comprobado que los beneficios son mayores y que, eligiendo cuidadosamente el proveedor y los servicios adecuados, se puede garantizar un uso eficiente. Una solución para algunas de las limitantes es optar por una nube híbrida, donde las aplicaciones y los datos sensibles permanezcan bajo la administración de la propia institución y la otra parte resida en una nube pública.

Internet de las cosas

IoT es una red de dispositivos conectados a la red que incluye todo tipo de dispositivos, desde electrodomésticos, vehículos, artículos de vestimenta, hogares y ciudades inteligentes, entre otros; se refiere a todo un ecosistema que podría interactuar para facilitar la vida de las personas. De acuerdo con Gartner (2017),⁸ cerca de 8.4 billones de dispositivos estuvieron conectados a Internet en 2017 y este número crecerá hasta alcanzar los 20.4 billones para 2020, siendo las aplicaciones de consumo las que representarán el mayor porcentaje con 63% de dispositivos base. De hecho, las empresas telefónicas y Microsoft invertirán cerca de 5 000 millones de dólares en plataformas de IoT en los próximos tres años.⁹

⁸ <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2017-02-07-gartner-says-8-billion-connected-things-will-be-in-use-in-2017-up-31-percent-from-2016>

⁹ <https://www.eltiempo.com/tecnosfera/novedades-tecnologia/internet-de-las-cosas-aplicado-a-dispositivos-del-hogar-213994>

Tecnologías posibilitadoras de IoT

Para lograr las capacidades de integración en el ámbito educativo de IoT es necesario contar con infraestructura tecnológica que permita la habilitación de nuevas formas de aprendizaje en el aula.

- *Sensores*: estos dispositivos electrónicos permiten dotar a un ambiente con datos en tiempo real, los cuales pueden ser analizados para toma de decisiones automáticas por medio del sistema IoT desplegado.
- *RFID, código QR y NFC*: tecnologías de etiquetas, que pueden ser leídas por dispositivos desplegados en el aula para activar acciones o contenidos especiales de acuerdo con la etiqueta seleccionada.
- *Comunicación inalámbrica de bajo consumo energético*: para que sea posible la implementación de una gama amplia de sensores en los ambientes educativos se requiere contar con una gestión eficiente de la energía que se va a consumir, por eso es de vital importancia contar con protocolos de comunicación que sean eficientes en este sentido, los principales en la actualidad son XBee y Bluetooth Low Energy (BLE).
- *Teléfonos inteligentes*: los teléfonos inteligentes son parte esencial de la educación del futuro, ya que cuentan con capacidades para poder comunicarse directamente con la infraestructura a través de la comunicación inalámbrica con los sensores, o las etiquetas con lectores infrarrojos, de NFC y la cámara.
- *Aplicaciones*: la infraestructura y equipamiento por sí solas no son suficientes, ya que se requiere desarrollar software que se integre en el ambiente inteligente para que el usuario pueda obtener el máximo aprovechamiento de los contenidos educativos. En Sani (2019) han identificado las mega tendencias actuales relacionadas al IoT en la educación y todas van fuertemente ligadas a la inteligencia artificial.
- *Ambientes inteligentes basados en IoT*: ambiente que puede adquirir y aplicar conocimiento sobre el entorno y sus habitantes para mejorar su experiencia dentro de él (por

ejemplo, ciudades), esto se logra con sensores, actuadores y aplicaciones.

- *Campus digitales inteligentes basados en IoT:* un campus digital se vuelve esencial para que la institución de educación digitalice sus procesos administrativos y de aprendizaje en un entorno completamente virtual, esto ayudará a las universidades a reducir los costos operativos, a mejorar la seguridad del campus y a ofrecer herramientas tecnológicas, no sólo para los estudiantes y profesores sino también para el personal administrativo.
- *Aulas inteligentes basadas en IoT:* se refiere a un entorno inteligente fortificado con ayudas avanzadas de aprendizaje basadas en tecnología de punta y objetos inteligentes, que pueden ser cámaras, micrófonos o incluso otros sensores que pueden usarse para medir la satisfacción del aprendizaje de los estudiantes y permitir a los profesores conocer cómo realmente desea aprender el estudiante.

De acuerdo con Gul *et al.* (2017), algunas de las tecnologías IoT más utilizadas en aulas inteligentes para la gestión del aprendizaje son:

- Pizarrones interactivos.
- Tabletas y dispositivos móviles.
- Impresoras 3D.
- eBooks.
- Tarjetas de identificación con códigos.
- Sensores de temperatura.
- Bloqueo y apertura a distancia de puertas.
- Toma de asistencia.
- Sistemas inteligentes de climatización: HVAC (heating, ventilating and air conditioned).
- Iluminación automática.
- Temperatura inteligente.

Casos de estudio

En la Facultad de Telemática (FT) de la Universidad de Colima (UCOL) se han desarrollado productos tecnológicos en las áreas de IoT y la computación en la nube, a continuación se presentan dos

casos de estudio que permitirán conocer la aceptación que tienen estas nuevas tecnologías por parte de los estudiantes.

Plataforma en la nube para el proceso de enseñanza-aprendizaje

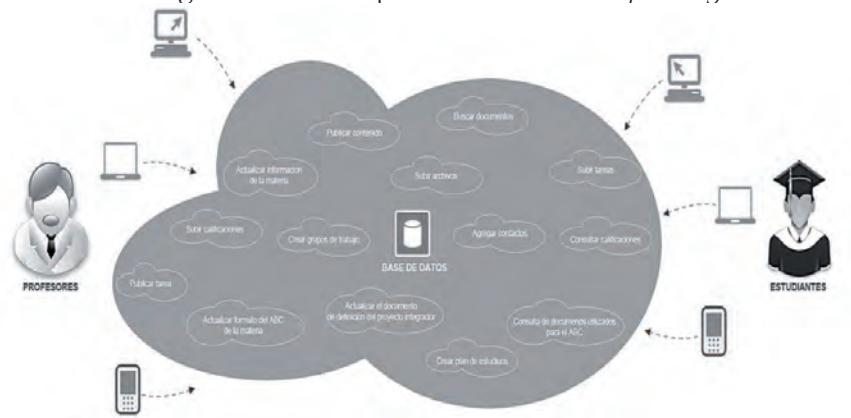
Desde el año 2007 la FT ha adoptado el modelo de enseñanza basado en competencias (Ordaz Carrillo *et al.*, 2017), de acuerdo con el modelo educativo de la UCOL, con el objetivo de fortalecer el aprendizaje de habilidades, actitudes y generar las habilidades de comunicar y evaluar de forma crítica la información. Para facilitarlo, la FT utiliza las tecnologías posibilitadoras del aprendizaje (TEL, por sus siglas en inglés) a través del sistema de gestión del aprendizaje (LMS, por sus siglas en inglés) como Google Classroom, Moodle y EDUC (propiedad de UCOL), pero dichos sistemas están limitados en características importantes del modelo basado en competencias y de la tendencia actual de aprendizaje como un proceso social (Brown y Duguid, 2001), como mecanismos para incrementar las interacciones sociales que generen interacción entre profesores y alumnos, y entre compañeros de clases, centradas en las competencias que se desean adquirir.

Se diseñó un sistema en la nube denominado *e-Competency* (Santana *et al.*, 2015) con herramientas para que los alumnos tengan apoyo para sus actividades escolares, además de contar con herramientas de interacción con profesores y compañeros. Para los profesores, el sistema les permite gestionar sus cursos para generar planeaciones semestrales, tareas, evaluaciones y rúbricas para evaluar el aprendizaje. El sistema tiene como base una arquitectura en la nube (figura 1) y cuenta con los siguientes servicios:

- Publicar tarea.
- Actualizar información del perfil de la materia.
- Subir calificaciones.
- Actualizar formato de la materia.
- Subir archivos.
- Agregar contactos.
- Buscar documentos.
- Publicar contenido.
- Crear grupos de trabajo.

- Subir tareas.
 - Consultar calificaciones.
 - Consulta de documentos basado en competencias.
 - Actualizar documento curricular del proyecto integrador.
 - Crear planeación semestral.

Figura 1



Fuente: Santana *et al.* (2015).

Se realizó una evaluación con alumnos y profesores sobre aceptación de uso, opiniones posteriores al uso del cómputo en la nube, el aprendizaje basado en competencias y los sistemas de educación mediados por tecnología.

Con relación a la percepción del cómputo en la nube, 80% de los participantes tuvieron una opinión buena sobre su experiencia de uso y que la mejor característica fue no depender de una computadora en específico para poder realizar sus actividades, ya que se trata de un servicio en la nube y esto les permite ajustarse mejor al aprendizaje basado en competencias, ya que se fomenta el autoaprendizaje y se puede realizar más trabajo independiente para lograr la adquisición de las competencias deseadas. Esto favoreció en contar con la buena percepción del uso de plataformas para el aprendizaje mediadas por tecnología en la nube, particularmente el *e-Competency* que se centra en el aprendizaje basado en competencias.

Para medir la aceptación de la plataforma se utilizó el modelo de aceptación tecnológica (TAM, por sus siglas en inglés) desarrollado por (Davis, Bagozzi y Warshaw, 1989), el cual se trata de un modelo ampliamente utilizado y validado para dicho fin. Como resultado de dicho análisis, se comprobó estadísticamente que *e-Competency* tiene alta probabilidad de ser aceptada por los usuarios en las cuatro dimensiones del TAM y que los usuarios la consideran una buena idea.

Prototipo de aula inteligente mediante IoT e inteligencia ambiental

Dentro de las mega tendencias de la aplicación de IoT en la educación, debemos comenzar a impactar de abajo hacia arriba; es decir, primero se tienen que construir aulas inteligentes para posteriormente continuar con campus y ciudades inteligentes.

Para conocer el contexto de nuestros estudiantes y sus necesidades dentro de un aula inteligente, se entrevistaron 20 estudiantes de la FT, elegidos de forma aleatoria y de diferentes grados de estudio; los resultados nos permitieron conocer sus opiniones relacionadas con los servicios que se requieren.

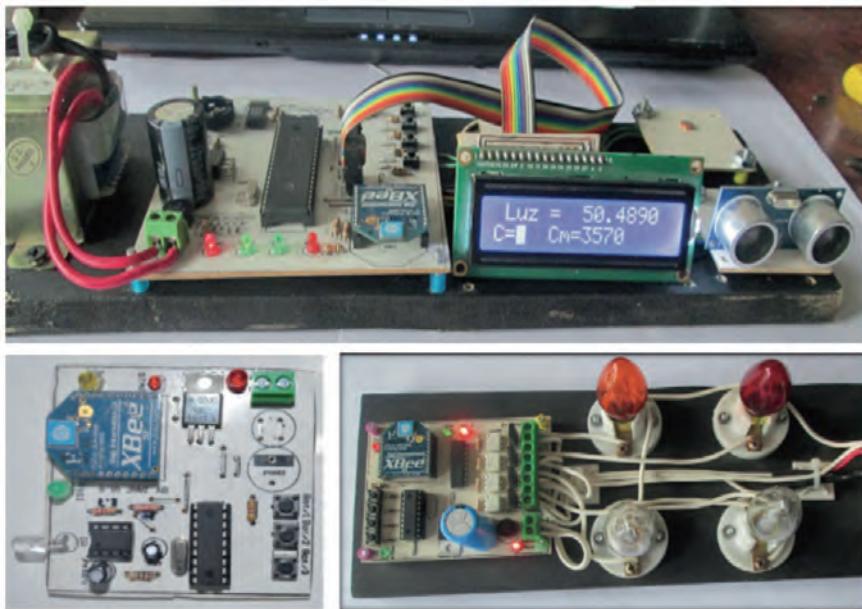
De los entrevistados, 100% estuvo de acuerdo en que le gustaría contar con un aula inteligente para sus clases y 95% considera que un aula inteligente sería de ayuda en sus estudios; los servicios más solicitados fueron: iluminación inteligente, proyección de contenidos multimedia por demanda y control de temperatura. Los apoyos de IoT solicitados por los estudiantes para la gestión del aprendizaje en aulas inteligentes coincidieron con algunos de los propuestos por Gul *et al.* (2017).

Una vez conocidas las opiniones de los estudiantes y analizada la literatura, se procedió a crear un prototipo basado en IoT e inteligencia ambiental (Nieblas *et al.*, 2016), para lo que se propusieron las siguientes características:

- Dar soporte a diversos dispositivos (proyector multimedia, luces y aires acondicionados).
- Interfaces fáciles de usar.
- Aplicaciones que hagan uso de la capacidad del ambiente inteligente.

Para contar con un entorno dotado con IoT, se desarrolló una arquitectura de sistemas embebidos, capaces de tener cierto grado de inteligencia, y brindar servicios a los estudiantes y profesores. Dicho sistema (figura 2), se compone de dos tarjetas: una principal de procesamiento, que es la tarjeta central del sistema, la cual se compone de varios módulos de sensores y es responsable del monitoreo en tiempo real del salón de clases y del análisis de la información para la toma de decisiones. El resto de la arquitectura la componen dos tarjetas auxiliares, encargadas de recibir las indicaciones de la tarjeta principal, y se encargan directamente de comunicarse y controlar los dispositivos del ambiente (luces, climatización, etcétera).

Figura 2
Prototipo de sistema IoT para aula inteligente



Fuente: Nieblas *et al.* (2016).

Para comprobar la posible aceptación del aula con IoT se realizó una evaluación preliminar, llevada a cabo con cinco sujetos seleccionados por muestreo por conveniencia. Los resultados ini-

ciales indican que 80% de ellos cree que es fácil de aprender a usarlo, a 75% se le facilitó la navegación en el sistema, mientras que 70% piensa que es eficiente y proporciona uso placentero. Finalmente, todos mencionaron que es cómodo de usar.

Conclusiones

En este capítulo se describe una visión general del futuro en la educación, que no se puede pensar sin el apoyo de la tecnología; además, el capítulo explica las dos tendencias tecnológicas que están impactando positivamente en el proceso de enseñanza-aprendizaje: IoT y la computación en la nube.

Se reportan dos casos de estudio realizados en la Universidad de Colima que implementan estas tecnologías para motivar a los estudiantes, innovando en la forma en que se les presentan los contenidos y con la intención de generarles interés sin límites geográficos y cambiando la forma en la que acceden a los contenidos.

Los resultados de los casos de estudio indican que el despliegue de estas tecnologías en el aula y en el mismo proceso de enseñanza-aprendizaje han generado percepciones positivas de parte de los estudiantes y profesores, y las consideran como un factor de motivación al momento de realizar sus estudios.

Referencias

- Ali, M.B.; Wood-Harper, T., and Mohamad, M. (2018). Benefits and Challenges of Cloud Computing Adoption and Usage in Higher Education: A Systematic Literature Review. *International Journal of Enterprise Information Systems*, 14(4): 64-77. <https://doi.org/10.4018/IJEIS.2018100105>
- Almajalid, R. (2017). A Survey on the Adoption of Cloud Computing in Education Sector. arXiv:1706.01136 [cs]. Recuperado de <http://arxiv.org/abs/1706.01136>
- Brown, J.S., and Duguid, P. (2001). *The Social Life of Information*. Boston: Harvard Business School Press.
- Davis, F.D.; Bagozzi, R.P., and Warshaw, P.R. (1989). User Acceptance of Computer Technology: A Comparison of Two Theoretical Models. *Management Science*, 35(8): 982-1003. <https://doi.org/10.1287/mnsc.35.8.982>
- Gul, S.; Asif, M.; Ahmad, S.; Yasir, M.; Majid, M.; Malik, M., and Arshad, S. (2017). A Survey on Role of Internet of Things in Education. *International Journal of Computer Science and Network Security*, 17(5): 159-165.

- James, C.N., and Weber, J. (2016). Cloud Computing in Education. In: *Cloud Computing in Ocean and Atmospheric Sciences* (pp. 107-119). Recuperado de <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780128031926000074>
- Law, N., and Pelgrum, W. J. (2008). *Pedagogy and ICT Use in Schools Around the World: Findings from the IEA SITES 2006 Study*. Hong Kong: Dordrecht. Comparative Education Research Centre, The University of Hong Kong; Springer.
- Magaña, M.A.; Santana-Mancilla, P.C., and De la Rocha, V.M. (2012). An Educational Management Information System to Support Institutional Planning at the University of Colima. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 55: 1168-1174. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.611>
- Nieblas, A.; Rojas, J.; Santana-Mancilla, P.C.; García-Ruiz, M.A., and Estrada, F. (2016). Aseguramiento de la experiencia del usuario para un ambiente inteligente en el aula. *Revista Faz*, 9.
- Ordaz Carrillo, A.; Acosta Díaz, R.; Contreras Castillo, J.J.; Flores Cortes, C.A., and Ruvalcaba Flores, H. (2017). *Desarrollo de competencias para ingeniería*. Guadalajara, México: Universidad Autónoma de Guadalajara.
- Qian, L.; Luo, Z.; Du, Y., and Guo, L. (2009). Cloud Computing: An Overview. En: M.G. Jaatun, G. Zhao, and C. Rong (Eds.), *Cloud Computing* (pp. 626-631). Vol. 5931. Recuperado de http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-10665-1_63
- Mell, P., and Grance, T. (2011). *The NIST Definition of Cloud Computing*. Recuperado de <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/SP/nistspecialpublication800-145.pdf>
- Rahman, M.M.; Suhaimi, A., and Shah, A. (2018). *A Model of Factors Influencing Cloud Computing Adoption Among Faculty Members and Students of Higher Educational Institutions of Bangladesh*. 1-5. <https://doi.org/10.1109/ICETAS.2018.8629132>
- Sani, R. (2019). Adopting Internet of Things for Higher Education. En: *Redesigning Higher Education Initiatives for Industry 4.0* (pp. 23-40). IGI Global.
- Santana, P.C.; González, F.J.; García, M.A.; Ordaz, A., and Magaña, M.A. (2015). Social Cloud Computing: An Opportunity for Technology Enhanced Competence Based Learning. *IEEE Latin America Transactions*, 13(1): 353-358. <https://doi.org/10.1109/TLA.2015.7040669>
- Santana-Mancilla, P.C.; Magaña Echeverría, M.A.; Rojas Santos, J.C.; Nieblas Castellanos, J.A., and Salazar Díaz, A.P. (2013). Towards Smart Education: Ambient Intelligence in the Mexican Classrooms. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 106, 3141-3148. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.12.363>

- Sultan, N. (2010). Cloud Computing for Education: A New Dawn? *International Journal of Information Management*, 30(2): 109-116. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2009.09.004>
- Vaquero, L.M.; Rodero-Merino, L.; Cáceres, J., and Lindner, M. (2008). A Break in the Clouds: Towards a Cloud Definition. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 39(1): 50. <https://doi.org/10.1145/1496091.1496100>

Capítulo V. De la ciudad inteligente al campus inteligente: Un primer paso hacia el Internet de las cosas

Pedro Damián-Reyes

JRG Pulido

Silvia B. Fajardo-Flores

Erika M. Ramos-Michel

María Andrade Aréchiga

Introducción

La educación superior mantiene una estabilidad evolutiva debida a que los cambios los refleja a largo plazo; por ejemplo, un plan de estudios necesita de cuatro a cinco años para medir los resultados. Los profesionales de la educación se encargan de hacer mejoras en los procesos enseñanza-aprendizaje para obtener impactos positivos; sin embargo, son procesos largos y con mediciones complicadas y tardadas en cuanto a tiempo, entre otros factores.

Entiéndase la estabilidad evolutiva no como una desventaja, sino como un periodo que puede ayudar a que los procesos tengan su tiempo de maduración y adaptación con el objetivo de mejorar los resultados. Dentro de sus ventajas, ofrece la posibilidad de introducir innovaciones tecnológicas que apoyen los procesos de maduración de las diferentes estrategias educativas, así como de mejorar la eficiencia en la administración y gobernabilidad institucional.

La innovación tecnológica que fomenta la modernización en muchas áreas es el uso de Internet de las cosas (IoT, por sus siglas en inglés), por la facilidad de acceso a los diferentes recursos que utiliza y a la versatilidad en la obtención de los datos. IoT es una

red de dispositivos interconectados a través de Internet que recoge lo que hoy en día (era de las tecnologías de la información y la comunicación, TIC) se considera el nuevo petróleo digital, nombrado con el término *muestras*. Diversos dispositivos como relojes inteligentes, telescopios, computadoras, drones, televisores, vehículos, presas, cámaras, dispositivos médicos, semáforos, edificios, sensores, entre otros, están extrayendo dichas muestras de cada uno de esos dispositivos interconectados, cuyo número global se calcula que pronto llegará a los 500 billones (CISCO, 2016). El gobierno, la industria, la academia, y otros sectores, poco a poco reconocen la importancia de IoT, así como sus aplicaciones y el beneficio económico.

Las muestras se alimentan de diferentes factores, por ejemplo, los relojes inteligentes de quién los usa, los telescopios del espacio sideral, las computadoras de sus usuarios, los drones de los videos que captan, los televisores de sus usuarios, los vehículos de los caminos, las presas de las cantidades de flujos que captan, las cámaras de las imágenes que captan, los dispositivos médicos de los pacientes, los semáforos de embotellamientos, los edificios de su densidad ocupacional y los sensores del medioambiente al que están incorporados; pero a estas muestras debemos aplicarles algoritmos para producir información valiosa y útil para los diferentes ámbitos: seguridad, gobierno, medioambiente, social, público, privado y educativo, entre otros. En algunos casos, dependiendo de los algoritmos utilizados, la toma decisiones al usar estas muestras podrían ser autónomas; por ejemplo, la mayoría de los algoritmos de inteligencia y aprendizaje artificial requieren de un número grande de muestras para su entrenamiento y mejor desempeño, IoT (o Internet de Todo, IoE, por siglas en inglés) lo podemos aplicar en diversos ámbitos: energía, salud, agricultura, manufactura, logística, vialidad, medioambiente, seguridad, compras (incluyendo prendas de vestir), educación, etcétera. Y en esta última, para el nivel superior las posibilidades no son menores, ya que busca lograr que la infraestructura física cumpla con un compromiso sostenible al cubrir las necesidades actuales sin comprometer los recursos y necesidades futuras, y son eficientes debido a la gran cantidad de muestras que generan.

Los espacios inteligentes creados con tecnología IoT y otras tecnologías de la información y comunicación, dan lugar a la creación y definición de las ciudades inteligentes, que buscan a través del uso de las TIC hacer un consumo eficiente, óptimo y sostenible de los recursos para satisfacer las necesidades y mejorar la calidad de vida de los ciudadanos. Integrar el uso de las TIC en la evolución de una ciudad no sólo supone mejoras notables en la provisión de los servicios, sino que construye en sí misma una vía sostenible para el desarrollo económico y social en las próximas décadas de la economía de las ciudades y, por lo tanto, de la economía de los países.

Las universidades, como parte fundamental de una ciudad inteligente, deben convertirse en campus cuyo objetivo sea contribuir en los objetivos de sustentabilidad desde su ámbito de influencia, al generar egresados con competencias digitales firmes y con profundo sentido de responsabilidad social que garanticen la calidad de vida de la sociedad.

La ciudad inteligente (*Smart City*)

El concepto de ciudad inteligente (CI) surgió hace más de dos décadas, con la finalidad de tratar la problemática de sostenibilidad que surgía en las ciudades y que se centraba fundamentalmente en la eficiencia energética y en la reducción de las emisiones de carbono. El Protocolo de Kyoto y la Carta de la Tierra emitidos por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) en el año 2000, se consideran los primeros pasos hacia un régimen verdaderamente mundial de reducción y estabilización de las emisiones de gases de efecto invernadero (UNFCCC, 2019). Posteriormente, las empresas globales de TIC inventaron, como respuesta a la crisis económica global de 2008, la etiqueta *Smart City* (ciudad inteligente) para abrir el mercado de las ciudades de incorporar una plataforma tecnológica integrada que gestionara mejorar la eficiencia en sus procesos. En los últimos 10 años se han definido estrategias dirigidas al desarrollo futuro de ciudades bajo conceptos como ciudades digitales, ciudades innovadoras y ciudades sostenibles, entre otros, siendo CI en el que se conjuntan todos estos conceptos de manera integral (CTecno, 2012). Recientemente, el término se ha vincula-

do al papel de la infraestructura de las TIC como eje central de los procesos y actividades de las ciudades y sus ocupantes.

Expertos de la empresa International Data Corporation (IDC), dedicados a la administración masiva de datos, definen la CI como “una unidad finita de una entidad local que declara y hace un esfuerzo consciente para contar con un enfoque integral para emplear las tecnologías de la información y la comunicación, para un análisis en tiempo real, con el objetivo de transformar su *modus operandi* esencial, cuya finalidad radica en mejorar la calidad de vida de la población que vive en la ciudad, garantizando un desarrollo económico sostenible” (IDC, 2012). Por su parte, la Unión Europea la define como “un lugar donde las redes y los servicios tradicionales se hacen más eficientes con el uso de las tecnologías digitales y de telecomunicaciones, en beneficio de sus habitantes y empresas”, y señalan que “el concepto de *Smart City* va más allá del uso de las TIC. Ello significa que son ciudades con redes inteligentes de transporte urbano, servicios de abastecimiento de agua y eliminación de desechos, así como formas más eficientes de iluminación y de calefacción en los edificios, abarcando, así mismo, una administración municipal más interactiva y sensible, espacios públicos más seguros y una mejor atención a la población más envejecida” (Giffinger *et al.*, 2007; KPMG, 2017).

El Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) y expertos en el campo del desarrollo sostenible, atribuyen al concepto de *Smart City* tres características fundamentales que deben ser comunes al uso de esta expresión: “no dañar al medio ambiente, utilizar las tecnologías de la información y las comunicaciones como herramientas para la gestión inteligente y el desarrollo sostenible” (IDAE, 2019).

La empresa Fundación Telefónica, líder mundial en telecomunicaciones y tecnologías de información, ha generado gran cantidad de proyectos de investigación relacionados con las ciudades inteligentes y la definen como: “Smart City (ciudad inteligente) es aquella ciudad que usa las tecnologías de la información y las comunicaciones para hacer que tanto su infraestructura crítica, como sus componentes y servicios públicos ofrecidos sean más interactivos, eficientes y los ciudadanos puedan ser más concien-

tes de ellos. Se podrá considerar una ciudad inteligente cuando las inversiones en capital humano, social e infraestructura de comunicación, fomenten precisamente un desarrollo económico sostenible y una elevada calidad de vida, con una sabia gestión de los recursos naturales a través de un gobierno participativo" (Fundación Telefónica, 2011).

La Unión Internacional de Telecomunicaciones de España define "Una ciudad inteligente y sostenible es una ciudad innovadora que utiliza las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) y otros medios para mejorar la calidad de vida, la eficiencia de las operaciones, los servicios urbanos y la competitividad, asegurando que responda a las necesidades de las generaciones presentes y futuras respecto a aspectos económicos, sociales, ambientales y culturales". La asociación española de normalización establece "Ciudad inteligente es la visión holística de una ciudad que aplica las TIC para la mejora de la calidad de vida y la accesibilidad de sus habitantes y asegura un desarrollo sostenible económico, social y ambiental en mejora permanente. Una ciudad inteligente permite a los ciudadanos interactuar con ella de forma multidisciplinaria y se adapta en tiempo real a sus necesidades, de forma eficiente en calidad y costes, ofreciendo datos abiertos, soluciones y servicios orientados a los ciudadanos, para resolver los efectos del crecimiento de las ciudades, en ámbitos públicos y privados, a través de la integración innovadora de infraestructuras con sistemas de gestión inteligentes" (KPMG, 2017).

En suma, la CI es el término que recopila las iniciativas orientadas a mejorar la calidad de vida, la sostenibilidad y la gestión eficiente de los servicios, innovando en materiales, recursos y modelos, y usando tecnología de forma intensa. Involucra todos los servicios: movilidad, producción y distribución de servicios urbanos —energía, agua, limpieza—, educación, salud, emergencias, seguridad, atención a las personas, etcétera; también incorpora innovación, tecnología e inteligencia (en materiales, soluciones y modelos) a las infraestructuras básicas para desarrollar un entorno eficiente, flexible y menos costoso (CTecno, 2013; Núñez Freile y Fernández Lozano, 2015). Como puede notarse, no se puede concebir una CI sin las personas que viven y trabajan en ella.

La CI, además de utilizar de manera eficiente y sostenible la infraestructura, la innovación y la tecnología, también requiere de una sociedad inteligente, activa y participativa: personas, talento, emprendedores y organizaciones colaborativas (CTecno, 2013).

Las dimensiones de una CI, según Puyol (2014), son:

- *Gobierno inteligente*: incluye todas las políticas administrativas, de participación ciudadana y medioambientales relacionadas con el uso y aplicación de los servicios electrónicos de la ciudad.
- *Urbanismo y edificios inteligentes*: agrupa todas las políticas, estrategias y acciones de urbanización y creación de infraestructura física con una perspectiva de eficiencia energética y cuidado del medioambiente. También se integran los procesos de planeación urbana y reglamentación para lograr el desarrollo sostenible de la ciudad.
- *Movilidad inteligente*: abarca todas las estrategias, acciones y políticas relacionadas con el transporte, tanto urbano como particular y de servicios, que buscan la calidad y eficiencia del transporte garantizando un crecimiento sostenible y sustentable del mismo.
- *Energía y medioambiente inteligentes*: establece todas las iniciativas enfocadas en el uso eficiente de los recursos, tales como la energía eléctrica y combustibles no renovables, con uso eficiente y la disminución del impacto al medioambiente.
- *Servicios inteligentes*: pueden ser considerados como parte del gobierno inteligente, sin embargo, por su importancia merece una mención adicional, ya que aglutina todos los servicios para los ciudadanos, tanto para individuos, como para empresas e instituciones.

Para hacer realidad los servicios de una CI, de acuerdo con CTecno (2012), es necesario que existan *fuerzas habilitadoras* (figura 1), integradas por:

- *Personas*: son el objetivo principal de la CI, y son las generadoras-consumidoras de los servicios ofrecidos y beneficiarios directos.

- *Economía*: es el combustible para lograr los objetivos de la CI, como la infraestructura, que requiere de fuertes sumas de dinero para iniciar y mantener los proyectos. Se espera que al alcanzar los objetivos de la CI, las personas tengan un beneficio económico directo para incrementar su calidad de vida.
- *TIC*: se integra por el *hardware* y *software* requeridos para los objetivos de la CI, es el núcleo central de todo el concepto de CI.

Figura 1

Marco de las ciudades inteligentes



Fuente: IDC (2012).

El informe *Smart City. Ranking of European Medium-Sized Cities*, liderado por la Universidad Tecnológica de Viena, define a la CI como “aquella ciudad en la que las TIC juegan un papel principal en uno o varios factores”, refiriéndose a seis características que, según el informe, deben reunir y que se evalúan mediante una serie de indicadores que facilitan el análisis de la evolución de una ciudad hacia el concepto de CI (Herrera Priano *et al.*, 2017). La figura 2 muestra información sobre las áreas temáticas de una CI.

Figura 2
Áreas temáticas de una ciudad inteligente

| | | |
|---|--|--|
| Economía Inteligente | Gente Inteligente | Gobierno Inteligente |
| <ul style="list-style-type: none"> • Espíritu Innovador • Espíritu Emprendedor • Imagen Económica • Productividad • Flexibilidad del mercado laboral • Arraigo internacional • Capacidad de transformación | <ul style="list-style-type: none"> • Nivel de Cualificación • Capacidad de aprendizaje a largo plazo • Pluralidad social y étnica • Flexibilidad • Creatividad • Cosmopolita • Participación en la vida pública | <ul style="list-style-type: none"> • Participación en la toma de decisiones • Servicios públicos y sociales • Gobierno transparente • Estrategias políticas |
| Movilidad Inteligente | Entorno Inteligente | Vida Inteligente |
| <ul style="list-style-type: none"> • Accesibilidad local • Accesibilidad (inter)nacional • Disponibilidad de infraestructuras TIC • Sistemas de transporte seguros, innovadores y sostenibles | <ul style="list-style-type: none"> • Atractivo de las condiciones naturales • Polución • Protección medioambiental • Gestión de los recursos sostenibles | <ul style="list-style-type: none"> • Facilidades culturales • Condiciones sanitarias • Seguridad individual • Calidad de la vivienda • Facilidades educativas • Atractivo turístico • Cohesión social |

Fuente: Giffinger *et al.* (2007).

La Fundación Telefónica (2011) señala que una CI “es un ecosistema complejo en el que intervienen numerosas tecnologías y múltiples agentes que las implementan, operan y usan”; además, identifica los problemas relacionados con la ciudad y los ciudadanos (como individuos), enfatizando los retos a los que se enfrentan las tecnologías, como escalabilidad, capacidad, obsolescencia, seguridad y privacidad de la información. Es importante conocer los retos tecnológicos para entender la cadena de valor de los servicios de la CI. Hacer realidad el concepto de una CI y su correcto funcionamiento implica no sólo la generación de algunos servicios aislados e independientes basados en tecnología, sino que se requiere de una visión global que permita la creación de mecanismos de control de la información y de infraestructura, mejor dicho de una cadena de valor tecnológica integradora (véase figura 3):

- *Recolección de datos.* Es el punto de entrada de la cantidad de datos recopilados o capturados por la infraestructura de *hardware* y dedicada para el monitoreo y medición del entorno del ciudadano; por ejemplo, sensores, actuadores, dispositivos móviles y toda la infraestructura tecnológica que se instala en edificios, vehículos y el cuerpo humano. El objetivo es capturar y recolectar todos los datos que se generan en la CI.
- *Transmisión de datos.* Las redes de comunicación inalámbrica son la columna vertebral en el proceso de transmisión de datos, debido a lo complicado que resulta el instalar infraestructura alámbrica en todos los entornos de la CI. Para lograr una eficiente transmisión de datos es necesario integrar y combinar correctamente tecnologías inalámbricas, alámbricas y dispositivos móviles, de tal manera que el ciudadano pueda moverse libremente para obtener en todo momento el ancho de banda y latencia que requiera para cubrir sus necesidades de comunicación; también es importante que los dispositivos cuentan con protocolos de funcionamiento de acuerdo a los medios de comunicación disponibles, por ejemplo, en caso de no tener un medio de transmisión de datos, el dispositivo almacena de manera local toda la información y, en cuanto obtenga un acceso válido a una red de transmisión, mande todo lo almacenado.
- *Almacenamiento y análisis de datos.* La cantidad de datos generados en la CI deben ser almacenados en centros especializados con una infraestructura de *hardware* que garantice su existencia y disponibilidad en todo momento. Los centros de datos deben contar con infraestructura robusta y complejos mecanismos de seguridad que respalden los datos en todo momento, así como las herramientas o sistemas que se requieran. La utilización del cómputo en la nube y la tecnología de *Big Data* han logrado hacer una realidad este valor de la CI, y facilitan en gran medida el manejo y procesamiento los grandes volúmenes de datos.

nes de datos creados por los ciudadanos y todos los integrantes de la CI.

- *Plataforma de provisión de servicios*. Se considera el cerebro de la CI, se integra por todos los sistemas, herramientas, aplicaciones e infraestructura de *hardware* que utiliza. En este rubro se integran tecnologías como la inteligencia artificial, que permite entregarle al ciudadano información o servicios de utilidad en el lugar y el momento en que los necesite.
- *Servicios de la CI*. Se integra por todo el *software* y *hardware* utilizado para recibir el beneficio de la CI; también se incluyen algunos servicios que no son utilizados de manera directa por el ciudadano.

Figura 3

Cadena de valor tecnológica de las ciudades inteligentes



Fuente: Fundación Telefónica (2011).

Campus inteligente (*Smart Campus*)

En el ámbito educativo, los campus universitarios son considerados pequeñas ciudades, ya que proporcionan muchos de los servicios que se ofrecen a sus ciudadanos. Los estudiantes son residentes permanentes del campus y en él se presentan limitaciones presupuestales y de recursos, y el funcionamiento tiene gran impacto ambiental, al igual que una ciudad; por lo tanto, hablar de un campus inteligente es referirnos a una pequeña CI (Maza Figueroa y Orozco Acevedo, 2017).

La cumbre *Green Campus Summit* (EEA, 2019) es considerada una de las principales iniciativas que permitió la discusión acerca de la transformación de un campus universitario, enfatizando en la sostenibilidad del mismo. Para lograr esta transformación se conjuntaron puntos de vista de análisis internacional y experiencias locales de universidades e instituciones de educación públicas y privadas, así como de importantes proyectos de investigación y capacitación de todos los integrantes de las comunidades académicas.

El concepto de campus inteligente promueve la reflexión y análisis en que los campus universitarios interactúan con su comunidad y el medioambiente, para propiciar escenarios de aprendizaje entre los usuarios y el entorno. El concepto de campus universitario de alta calidad debe ser un espacio de aprendizaje, donde los estudiantes, profesores y visitantes convivan y apliquen diversas estrategias pedagógicas, didácticas y prácticas que tengan un impacto social, político y ambiental; al mismo tiempo, que se atiendan las recomendaciones de organismos y organizaciones internacionales relacionadas con la sustentabilidad, el impacto al medioambiente y la responsabilidad social. Lo anterior debe aplicarse más allá de los planes de estudio, debe convertirse en un modelo de vida y un objetivo central institucional, cuyas acciones tengan influencia dentro y fuera del espacio físico donde se ubica, debe ser un ente transformador de la sociedad y ejemplo de equidad, accesibilidad y sustentabilidad, que potencialice el uso de energías alternativas para el consumo; que promueva el uso consciente de los recursos naturales, el cuidado de la flora y de fauna, al mismo tiempo que aplique estrategias de reutilización de recursos y el manejo adecuado de residuos. Con lo anterior se espera que un campus universitario sea modelo y simbolice los valores universales en busca de la excelencia en la educación y la investigación.

En un campus universitario los individuos tienen interacción cotidiana con las tecnologías de información y hacen uso permanente de gran variedad de dispositivos electrónicos conectados a Internet, lo que les permite disponer amplia y eficientemente de información y recursos para realizar sus actividades de mane-

ra cómoda y con mayor calidad. La generalidad de los individuos que forman parte del campus universitario son tecnológicamente educados, tienen habilidades en el uso de dispositivos y se interesan por utilizar nuevas herramientas y servicios que les faciliten sus actividades diarias y les permitan explotar su creatividad para generar nuevos retos y dar soluciones. Por lo tanto, el campus universitario es un escenario ideal para la implementación de un campus inteligente.

El concepto de campus inteligente amplía la visión tradicional del campus universitario al introducir las tecnologías de información y las ciencias computacionales para potencializar su aprovechamiento de manera inteligente, automática y autónoma; asimismo, abre áreas de investigación y desarrollo en la informática y computación.

Los servicios de campus inteligente abarcan todos los ámbitos del individuo, no sólo la vida académica sino que tienen influencia en el desarrollo personal, emocional e intelectual, e impactan en la sociedad y el medioambiente, con el objetivo de formar personas eficientes, incluyentes y socialmente responsables. Es decir, que el funcionamiento y operación del campus inteligente debe cumplir con los objetivos de optimización, uso responsable y eficiente de recursos, incluyente, accesible, sustentable y amigable con el medioambiente.

En el campus inteligente no es obligatorio que se incluyan todos los servicios de una ciudad inteligente; sin embargo, exige que se tenga una visión global y un conocimiento detallado de todas las necesidades de la universidad y de sus integrantes, así como una clara definición de su relación y participación en una ciudad inteligente, para que así puedan establecer una simbiosis benéfica entre el campus inteligente y la ciudad inteligente. Dentro de las coincidencias destacan la movilidad, uso eficiente de energía, administración y control de recursos, administración de infraestructura, gobierno participativo, seguridad, salud, educación y cultura (Fundación Telefónica, 2011).

Áreas y servicios

Movilidad urbana

La movilidad se refiere a todos los proyectos, estrategias e iniciativas enfocadas en la sostenibilidad, seguridad, eficiencia y accesibilidad de la infraestructura y sistemas de transporte, para lograr el establecimiento de un sistema integral de transporte eficiente, eficaz, seguro, accesible, incluyente y con especial énfasis en el cuidado del medioambiente. El sistema de transporte inteligente aglutina todos los disponibles, como bicicletas, automóviles, autobuses, etcétera, y por supuesto las vías de comunicación. La globalidad del sistema permite que los usuarios puedan planear y ejecutar su ruta más corta, integral y en el menor tiempo posible, con información actualizada en tiempo real y, en caso necesario, utilizar diferentes medios de transporte en un mismo recorrido. Asimismo, promueve el uso de opciones de transporte limpios, no motorizados y de nulo impacto al medioambiente, con el objetivo de minimizar la huella de carbono y el daño al ecosistema.

En el rubro de la *movilidad urbana inteligente*, también se considera la infraestructura y los servicios relacionados con el funcionamiento y uso de los sistemas de transporte, tales como estacionamientos, estaciones de servicio y carga de autos eléctricos, con la finalidad de aprovechar toda la información desde una visión global de la ciudad inteligente y obtener el máximo beneficio de los datos disponibles.

En el campus inteligente la visión de movilidad se centra en la utilización efectiva, eficiente y oportuna de los datos generados por los servicios para facilitar el desplazamiento de la comunidad universitaria dentro y fuera del campus, y con ello complementar las metas y requerimientos de una ciudad inteligente. También es necesario definir estrategias para el funcionamiento óptimo de la movilidad; por ejemplo, durante la planeación y establecimiento de los horarios de clase para estudiantes y laborales para trabajadores, es posible identificar y evitar las horas de saturación de las vías de comunicación, así como promover y estimular el uso de transporte limpio, como la bicicleta y la compartición de automóvil, entre otras.

Los servicios que se destacan en esta área son:

- *Tráfico en tiempo real*. Tienen por objetivo entregar al usuario datos en tiempo real sobre la situación en las rutas urbanas, como tráfico, accidentes, obras en reparación, saturación de semáforos, entre otras, para que el usuario realice una elección informada sobre la mejor ruta a seguir para llegar a su destino final. Actualmente estos servicios muestran información visual en mapas que se adaptan en tiempo real de acuerdo con la ubicación y los datos recopilados por los diferentes servicios del sistema urbano inteligente.
- *Medios de transporte de pasajeros*. Permite conocer en tiempo real los medios de transporte urbanos disponibles, como autobuses, tranvías, metro, taxis, etcétera, para que se realice una planeación de ruta bien informada. También incluye los servicios de administración y planeación de las redes de transporte urbano; por ejemplo, es posible realizar un análisis del uso del transporte en una ruta específica y predecir la demanda en tiempo real para poder planear la cantidad autobuses a poner en circulación, con lo cual se reducen costos, se optimiza el uso, se incrementa la seguridad, se evita la saturación de usuarios y se mejora la experiencia del usuario.
- *Movilidad en el interior del campus*. Son todos los servicios de apoyo a la movilidad dentro del campus universitario, tanto para la comunidad como para visitantes; por ejemplo, el visitante puede utilizar un servicio de localización de personas o edificios para guiarse por la mejor ruta y en el transcurso del trayecto puede mostrarle información relevante.
- *Estacionamientos*. Permite el uso eficiente y adecuado de los espacios de estacionamiento. Se integra de una serie de dispositivos distribuidos en el estacionamiento que informan la disponibilidad de lugares y ubicación de los mismos para evitar la circulación innecesaria de los automóviles; también incluye los mecanismos de acceso automático usando sistemas de identificación que reconocen

a los usuarios y permiten el ingreso a personal autorizado, al mismo tiempo que se cuenta con información de las personas que ingresaron al estacionamiento y se encuentran actualmente en el campus.

- *Uso de bicicletas.* Además de promover una cultura de cuidado del medioambiente es una excelente opción para reducir el impacto ambiental provocado por la emisión de CO₂ y de contribuir en el cuidado de la salud de las personas; por tanto, se considera como prioridad en las estrategias del campus inteligente, y requiere de espacios de estacionamiento definidos, rutas exclusivas para bicicletas y mecanismos que garanticen la seguridad del ciclista.
- *Compartición de vehículos.* Es otra opción en beneficio del medioambiente y de acompañamiento, para ello es necesario la identificación de usuarios con rutas comunes y sincronizar sus horarios para aprovechar al máximo los automóviles que circulan hacia el campus inteligente.

Eficiencia energética y medioambiente

La energía se ha convertido en un asunto prioritario, entre otras cosas, por el aumento en el costo de producción y el impacto negativo que se genera en el medioambiente y que repercute directamente en el cambio climático. Lo anterior obliga a replantear los hábitos de consumo energético y la utilización de fuentes de energía para optar por las renovables, como la fotovoltaica, geotérmica, eólica y biomasa, que son amigables con el medioambiente. Uno de los objetivos primordiales de las ciudades inteligentes es la sostenibilidad medioambiental y el uso eficiente de los recursos, al mismo tiempo que se busca minimizar la generación de residuos y la contaminación. En busca de este objetivo, se implementan sistemas inteligentes de medición de uso de energía y agua que involucran avanzadas herramientas de administración del suministro, monitoreo y control permanente de las líneas de distribución y entrega de los recursos energéticos, también se monitoriza la contaminación que se genera. Estos sistemas permiten realizar una planeación eficiente de la infraestructura urbana que fomente la reutilización y el reciclaje de recursos.

Desde la perspectiva de un campus inteligente se definen acciones puntuales que apoyan el objetivo de la ciudad inteligente, por ejemplo:

- *Red eléctrica inteligente.* La estructura tradicional de la red eléctrica es monodireccional con relación al uso de la energía, el usuario cuenta con poca o nula información sobre el uso del recurso, incluso lo único que conoce es el monto de consumo y el pago que debe realizar; en una red eléctrica inteligente este esquema cambia completamente a un flujo de información bidireccional, de tal manera que el organismo generador y el usuario consumidor conozcan a detalle y en tiempo real el uso del recurso energético, logrando con ello una eficiente distribución y consumo para la reducción del costo de producción y de utilización de la energía. En el campus inteligente se pueden implementar sistemas de monitoreo y medición de consumo energético en las instalaciones físicas con el objetivo de recabar información que sirva para establecer estrategias de uso eficiente de energía eléctrica; por ejemplo, aprovechar al máximo las horas de luz solar para minimizar la utilización de la eléctrica, también —al momento de planear la construcción de nuevos edificios— considerar en el diseño la orientación para el uso óptimo de la energía solar y ventilación, utilizar focos de bajo consumo (como los LED), e incluir la instalación de paneles solares que generen energía propia de consumo.
- *Administración y control de residuos.* Es prioridad fomentar la reutilización y el reciclaje de los recursos, por lo tanto, debe existir una campaña permanente desde la perspectiva tecnológica; se puede instalar una red de sensores en los contenedores de recolección de desechos que informen en tiempo real sobre el estado y nivel del contenedor para planear la recolección de manera óptima y eficiente.
- *Optimización del uso del agua.* Instalar sistemas automatizados de monitorización permanente que incluya el análisis automático de consumo y de detección de fugas. También para el riego de jardines y espacios verdes se pueden ins-

talar sistemas automatizados que utilicen la información del clima, la humedad de la tierra, los horarios adecuados y cantidad óptima de agua.

- *Edificios.* Contar con sistemas eficientes de los aires acondicionados, iluminación, ascensores, refrigeración de equipos; en general, de todo lo que se requiere para el funcionamiento del mismo.

Gobierno y ciudadanía

Incluyen servicios como:

- *e-Administración.* Son servicios de administración en línea para que los usuarios puedan realizar trámites dentro del concepto de campus digital, como apoyo a las actividades cotidianas de estudiantes, docentes y personal administrativo; por ejemplo, el sistema de control escolar (donde los estudiantes revisan sus calificaciones), el sistema de control docente (donde los profesores pueden colocar sus portafolios), el sistema administrativo y financiero (donde el personal administrativo controla los recursos humanos y económicos de la institución), entre otros. Estos servicios proporcionan información en tiempo real del seguimiento y aprovechamiento académico, así como del económico para la toma de decisiones.
- *e-Participación.* La inclusión de la comunidad universitaria en la toma de decisiones institucionales es fundamental para mantener un clima laboral sano, efectivo y garantizar el gobierno institucional. Para ello es necesario crear servicios que garanticen la transparencia y participación de toda la comunidad universitaria; algunos ejemplos son los sistemas para la administración de encuestas masivas y la votación en línea, también se incluye el manejo de redes sociales y medios de comunicación que permitan llegar a toda la población de manera rápida y oportuna.

Seguridad

Para lograr este objetivo, la tecnología permite importantes beneficios en su utilización, entre los que podemos destacar:

- *Servicios de emergencia y protección civil.* Optimizar la capacidad y tiempo de respuesta de los servicios de emergencia con modelos que incluyan el proceso de recepción, atención y administración de las llamadas de emergencia y movilización de los recursos necesarios para cumplir con la atención oportuna, eficiente y rápida; así como que permitan el intercambio de información entre los organismos involucrados para minimizar incidencias.
- *Acceso a las instalaciones del campus.* Contar con mecanismos de identificación para control de acceso a los diferentes espacios y áreas del campus. Con estos sistemas es posible conocer en tiempo real la cantidad de personas dentro del campus y su identidad.
- *Videovigilancia.* Este servicio se integra con la colocación de cámaras en lugares específicos del campus para el monitoreo permanente de la infraestructura y cuidado de las personas. Además, la información generada por este servicio permite tomar decisiones oportunas en caso de una contingencia o situación de riesgo para la comunidad localizada dentro del campus.
- *Prevención y detección de incendios.* Contar con sensores de detección de humo, controlados por un servicio de monitoreo automático y permanente, que alerte a los servicios de emergencia de manera inmediata la situación de riesgo.

Salud

Además del cuidado personal y de estilo de vida, también se deben promover prácticas incluyentes de bienestar y respeto entre las personas. El uso de las tecnologías pueden utilizarse para el cuidado de la salud, como son la telemonitorización y la telemedicina, que facilitan el monitoreo permanente del estado de salud de las personas a través de dispositivos biométricos corporales. En el historial clínico automatizado se incluyen varios servicios de este rubro, y gracias a éste es posible tener acceso y compartir la información clínica de la comunidad universitaria para definir estrategias que contribuyan a mejorar la salud y promover estilos de vida saludable en la comunidad universitaria.

Educación

Contar con opciones de educación innovadoras, que incluya el teletrabajo, para mejorar la eficiencia y eficacia de la educación. Con estos servicios ya no es necesario que los alumnos y profesores se encuentren físicamente en un mismo lugar, ahora las clases, cursos, evaluaciones y prácticas se pueden realizar de forma remota utilizando herramientas tecnológicas como videoconferencias, videos y materiales en línea, entre otras.

Iniciativas de campus inteligente

A nivel mundial, son muchas las instituciones universitarias que han iniciado estrategias de campus inteligentes para cumplir con las exigencias de sostenibilidad, eficiencia y eficacia en la optimización de los recursos y el cuidado del medioambiente. Algunos ejemplos son:

- *Birmingham City University* (Reino Unido). Esta universidad ha desarrollado dos campus universitarios que cumplen desde su planeación con el concepto de campus inteligente, específicamente se ha enfocado en reducir al mínimo el consumo de energía eléctrica y, de acuerdo con sus estimaciones, pretenden tener un ahorro de 40% en las emisiones CO₂, en comparación con otros campus de características similares; para lograrlo, utilizan herramientas y dispositivos novedosos que tienen bajo consumo energético, además de implementar infraestructura para la generación de energía propia (Hipwell, 2014).
- *Proyecto Green Smart Campus* (Helsinki-Luleå-Lisboa-Milán). Es un proyecto en donde se instala tecnología en los edificios de la universidad con la finalidad de implementar servicios y aplicaciones que recolecten datos en tiempo real sobre el consumo de energía para la administración del suministro. En el proyecto se incluye el involucramiento de los usuarios, información permanente del uso que se hace en cada espacio de los edificios y crear conciencia colectiva sobre la optimización del mismo. El proyecto se desarrolló en cuatro universidades públicas de Finlandia, Suecia, Portugal e Italia con resultados altamen-

te satisfactorios, y su aplicación resultó ser un éxito indiscutible en la mejora del uso de energía (CORDIS, 2019).

- *Instituto Tecnológico de Massachusetts* (MIT). Junto con Microsoft iniciaron un proyecto a principios del año 2000, cuyo objetivo principal fue la creación de un campus universitario inteligente que revolucionara la práctica educativa en el nivel superior a través de la integración de diferentes áreas. El proyecto consideró no sólo el aspecto académico, sino que incluyó todas y cada una de las áreas y elementos de la institución educativa, y crearon herramientas automatizadas para el aprendizaje (*eLearning*), la administración (*eManagement*), el gobierno universitario (*eGovernance*), el medioambiente y sustentabilidad (*eGreen*), la salud y el deporte (*eHealth*) y la vinculación y responsabilidad social (*eSocial*). Ellos denominaron el proyecto como campus inteligente o *eCampus*, como definición de todo un ecosistema de conocimiento y desarrollo de individuos (Jason, y otros, 2010).
- *King Abdulaziz University* (Arabia Saudita). En esta universidad se implementó un sistema de administración de energía eléctrica para reducir y optimizar su consumo. En su proceso de investigación encontraron que gran parte se concentraba en la iluminación y el uso de aires acondicionados, por lo que enfocaron sus esfuerzos en estrategias para la optimización de estos elementos críticos. Instalaron infraestructura de medición y control para administrar de manera centralizada la iluminación y el uso de aires acondicionados, tomando como base información obtenida en tiempo real (Jomoah, Al-Abdulaziz y Kumar, 2013).
- *Lappeenranta University of Technology* (Finlandia). El proyecto de esta universidad se centra en la optimización del uso de la energía eléctrica, denominado *Green Campus Smart Grid*, y sus principales componentes son la generación distribuida, las cargas controlables, el uso de vehículo eléctricos y un sistema automatizado de administración de energía. El sistema almacena en bases de datos relacionales y es administrada con SQL toda la informa-

ción requerida para el análisis, procesamiento de perfiles de carga estimados, pronósticos del clima, históricos de consumo, cargas críticas, entre otras, que permiten planear y ejecutar la utilización de la energía requerida en el campus (Makkonen *et al.*, 2013).

- *Oregon State University* (Estados Unidos). Esta universidad ha logrado optimizar el uso de energía eléctrica con la implementación de un sistema automatizado que utiliza medidores inteligentes instalados en toda la infraestructura física del campus, además de contar con poderosos sistemas de generación de energía eléctrica basados en celdas fotovoltaicas (Huo *et al.*, 2014).
- *Universitat Jaume I de Castelló* (España).¹⁰ Es referente mundial en universidades inteligentes. Cuenta con sistemas de información globales que recopilan desde diferentes fuentes instaladas en el campus. Implementa numerosas herramientas de realidad aumentada para que los usuarios tengan acceso a la información desde cualquier lugar y momento. Para los visitantes ofrece servicios de localización y ubicación que guían durante el recorrido y envía información relevante. Se implementó un complejo sistema de administración de recursos energéticos de luz y agua, que almacena el consumo y analiza los datos para optimizar dichos recursos y minimizar su costo. Pedro Rico, Industry Manager de Educación de Esri España, “Gracias al acuerdo corporativo que la UJI tiene con Esri España, ha podido hacer uso ilimitado de nuestro software para llevar a cabo este proyecto con éxito”. La universidad y el proyecto de campus inteligente cuenta con el apoyo gubernamental y de la industria tecnológica de ese país (Benedito-Bordonau *et al.*, 2013).

Iniciativas *Smart Campus* en Latinoamérica

Las instituciones educativas de América Latina se mantienen a la vanguardia tecnológica que rige y define nuestra realidad contemporánea, adaptándose de manera exitosa a la transformación

10 <http://smart.uji.es>

digital. Por lo tanto, deben ser parte activa del concepto ciudad inteligente para consolidar la visión de las nuevas generaciones. Las universidades que ya comenzaron son:

- *Universidad de los Andes* (Colombia). Ha implementado un plan de gestión ambiental con el objetivo de lograr la sostenibilidad ambiental y social de la región. Inició los trabajos en 2013 con la realización de un diagnóstico general que le permitiera conocer su situación y poder definir estrategias claras y precisas para el futuro cercano. Como resultado, se determinó que era necesario impulsar un cambio en los hábitos de consumo y estilo de vida de las 23,000 personas que diariamente ingresan a la universidad para reducir drásticamente el consumo de energía; para lograrlo, se definieron estrategias como la optimización en la iluminación de pasillos, salones, laboratorios y bibliotecas, considerando la luz solar y evitar la sobreiluminación. Según datos reportados por diversos autores, han logrado un ahorro de 11 % en el consumo de luz (Portafolio, 2014).
- *Universidad de Guadalajara* (México). Lanzó una convocatoria nacional con el objetivo de definir e incentivar la creación de campus inteligentes, incluyentes y sustentables. La convocatoria *Smart Campus* pretende generar proyectos que además de cumplir con todos los objetivos que un campus inteligente, también solucionen problemas sociales, de sustentabilidad, salud e inclusión, que beneficien al medioambiente y eviten la deserción escolar (Carrillo, 2015).
- *Universidad Nacional de Colombia* (Colombia). Es una institución de vanguardia en la implementación de campus inteligente por la implementación de una plataforma de administración y control de energía en tiempo real. El proyecto se enmarca en el concepto de *Smart Grid*, que integra infraestructura tecnológica robusta para el monitoreo y uso de la energía eléctrica en tiempo real. Con ella, los usuarios pueden conocer el uso que hacen de la energía eléctrica, y promueve una cultura de responsa-

bilidad y buen uso del recurso. En el proyecto se involucran todos los integrantes de la comunidad universitaria (Álvarez *et al.*, 2015).

- *Universidad Nacional de Cuyo* (Argentina). La universidad ha identificado algunas características que la convierten en un escenario ideal para la implementación de un campus inteligente y lograrlo en corto plazo. Algunos de los elementos identificados se relacionan con la comunidad universitaria, ya que el recurso humano es digitalmente alfabetizado y puede asimilar innovaciones de manera rápida, es fácilmente adaptable al cambio, ya tiene infraestructura física y tecnológica funcionales; también se consideró que es una unidad controlable y limitada geográficamente, lo que facilita la experimentación con bajos costos. La universidad trabaja en colaboración con organismos externos, como el Instituto de Energía, para alcanzar una planeación y optimización energética en toda la infraestructura institucional, así como la instalación de sistemas de generación automática de energía y utilización de energías renovables, como la solar, la eólica y los biocombustibles. También ha establecido servicios de control de acceso a las instalaciones, con el objetivo de garantizar la seguridad (UNCUYO, 2019).
- *Universidad Pontificia Bolivariana* (Colombia). Ha iniciado un proyecto de transformación hacia el concepto de campus inteligente para cumplir con la visión de sostenibilidad y ahorro de energía. Sus principales objetivos son la utilización de energías renovables no convencionales como la eólica, la solar y la de biomasa, al mismo tiempo que promueve y capacita a la comunidad universitaria sobre el beneficio e impacto positivo de la utilización de estas. La visión institucional es convertirse en un referente local, regional, nacional y global sobre la utilización de energías amigables con el medioambiente e influir de manera positiva en la sociedad. El foco específico de este proyecto se centra en el adecuado uso de los recursos energéticos, desde su generación, almacenamiento y

distribución usando tecnología de punta y la coordinación de diferentes áreas temáticas, como la energía eléctrica, tecnologías de información, infraestructura física, vigilancia y planeación urbana. Para este proyecto se cuenta con la participación de importantes empresas privadas y diferentes órganos de gobierno (Llano, 2015).

Conclusiones

Las CI ofrecen un futuro prometedor para la sociedad con el uso responsable y consciente de las TIC en beneficio de la calidad de vida, con información que permite prevenir y mejorar escenarios y con respeto a los recursos de las generaciones futuras.

Los campus inteligentes son una pequeña porción de una CI, que ya comenzaron a explorar sus beneficios, sus dimensiones, su cadena de valor y sus denominadas fuerzas habilitadoras. Hay mucho por hacer, pero con el apoyo de proyectos en el área se puede avanzar en los objetivos planteados.

Uno de los grandes frenos de estas iniciativas es la falta de recursos económicos, principalmente en Latinoamérica, como lo hemos podido visualizar con la creación de pocos campus inteligentes, pero afortunadamente los esfuerzos son constantes y con objetivos claros.

Referencias

- Álvarez, D.; Reyes, J.; Montaño, W. y Parra, E. (2015). Sistema de gestión de energía en tiempo real del campus de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. *Mundo Electrónico* (101): 48-57. Recuperado de <https://www.neplan.ch/wp-content/uploads/2015/10/48-57-WEB.pdf>
- Benedito-Bordonau, M.; Gargallo, D.; Avariento, J.; Sanchis, A.; Gould, M., and Huerta, J. (2013). *UJI Smart Campus: Un ejemplo de integración de recursos en la Universitat Jaume I de Castelló*. IV Jornadas Ibéricas de Infraestructura de Datos Espaciales. Toledo: España.
- Carrillo, E. (2015). *Proyecta UdeG crear campus inteligentes, incluyentes y sustentables*. Recuperado de <http://www.udg.mx/es/noticia/proyектa-udeg-crear-Campus-inteligentes-incluyentes-y-sustentables>
- CISCO (2016). *Internet of Things (IoT)*. Recuperado de <https://www.cisco.com/c/dam/en/us/products/collateral/se/internet-of-things/at-a-glance-c45-731471.pdf>

- Cordis, T.I. (2019). *CORDIS EU Research Results*. Recuperado de Smart Campus- Building-User Learning Interaction for Energy Efficiency: <https://cordis.europa.eu/project/rcn/191915/factsheet/en>
- CTecno (2012). *Hoja de ruta para la Smart City*. Recuperado de <https://image.slidesharecdn.com/hojaderutasmartcity-ctecno-141102160933-conversion-gate01/95/hoja-de-ruta-smart-city-ctecno-1-638.jpg?cb=1414944778>
- CTecno (2013). *De la ciudad inteligente a los negocios inteligentes*. Recuperado de http://www.ctecno.cat/wp-content/uploads/2013/11/Smart-Cities_ESP.pdf
- European Environment Agency (EEA) (2019). Recuperado de <https://www.eea.europa.eu/events/green-campus-summit-2013>
- Fundación Telefónica (2011). *Smart Cities: Un primer paso hacia las Internet de las cosas*. Barcelona, España: Ariel y Fundación Telefónica. Recuperado de https://invattur.softvt.com/ficheros/noticias/116085211Smart_Cities.pdf
- Giffinger, R.; Fertner, C.; Kramar, H.; Kalasek, R.; Pichler-Milanovi, N., and Meijers, E. (2007). *Smart cities-Ranking of European Medium-Sized Cities*. Vienna: Centre of Regional Science, Vienna University of Technology. Recuperado de <http://www.smart-cities.eu>
- Herrera Priano, F.; Abad Fortuny, E.; Bermejo Martín, G.; Briz, L.; Campillo, Z.; Díaz Rodríguez, F. y Vega Díaz, D. (2017). *Informe sobre la tendencia inteligente de las ciudades en España*. España: Asociación Española de Ingenieros de Telecomunicación.
- Hipwell, S. (2014). Developing SmartCampus: A working model. 2014 International Conference on Intelligent Green Building and Smart Grid (IGBSG) (págs. 1-6). Taipei, Taiwan: IEEE.
- Huo, C.; Song, J.; Wagner, K.; Harold, G., and Cotilla-Sánchez, E. (2014). Integrating Synchrophasor Technology with the Oregon State University Campus Smart Grid Project. 2014 IEEE Conference on Technologies for Sustainability (SusTech) (págs. 125-129). Portland, OR, USA: IEEE.
- International Data Corporation (IDC) (2012). *Análisis de las Ciudades Inteligentes en España*. Madrid, España: IDC. Recuperado de <https://idcspain.com/>
- IDEA (2019). IDEA. Recuperado de <https://www.idae.es/>
- Jason, W.; Nader, A.; Marcello, L.; Fabrice, S.; Ali, A., and Paul, D. (2010). The Intelligent Campus (iCampus): End-to-End Learning Lifecycle of a Knowledge Ecosystem. Sixth International Conference on Intelligent Environments. Kuala Lumpur, Malaysia: IEEE.
- Jomoah, I.; Al-Abdulaziz, A., and Kumar, R. (2013). Energy Management in the Buildings of a University Campus in Saudi Arabia: A Case Study. 4th International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives. Istanbul, Turkey: IEEE.

- KPMG (2017). *Hacia la ciudad 4.0. Análisis y perspectivas de las Smart Cities españolas*. España: KPMG-SIEMENS España.
- Llano G., M. (2015). La micro-red inteligente: Una ciudad eficiente, en miniatura. *Revista Universitas Científica*, 18(1): 24-29. Recuperado de <https://www.upb.edu.co/es/documentos/doc-ciudadeficienteminiatura-inv-1464100344537.pdf>
- Makkonen, H.; Partanen, J.; Tikka, V.; Silventoinen, P., and Lassila, J. (2013). Green campus: Energy Management System. 22nd International Conference and Exhibition on Electricity Distribution (CIRED 2013) (págs. 1-4). Stockholm, Sweden: IET.
- Maza Figueroa, N.P. y Orozco Acevedo, M.A. (2017). *Modelo de gestión estratégica para el desarrollo de un campus inteligente basado en conceptos de Smart City en la Universidad de Cartagena campus Piedra de Bolívar*. Universidad de Cartagena. Recuperado de <http://190.242.62.234:8080/jspui/bitstream/11227/5931/1/INFORME%20FINAL.pdf>
- Núñez Freile, J.L. y Fernández Lozano, D. (2015). *El proceso de transformación en una ciudad inteligente*. Smart City. Recuperado en octubre de 2019, de <https://www.esmartcity.es/comunicaciones/i-congreso-ciudades-inteligentes-el-proceso-de-transformacion>
- Portafolio, N. (2014). *Universidad de los Andes apuesta por el campus inteligente*. Nacional, pág. 22. Recuperado de <https://gerenciacampus.uniandes.edu.co/content/download/3093/15403/file/Art%C3%ADculo%20revista%20Portafolio..pdf>
- Puyol, J. (2014). *El concepto de Smart City, o el nuevo marco de la ciudad inteligente*. Recuperado en octubre de 2019, de <https://confilegal.com/20141102-concepto-smart-city-o-nuevo-marco-ciudad-inteligente-02112014-2057/>
- Universidad Nacional de Cuyo (UNCUYO) (2019). Institutos Multidisciplinarios. Recuperado de <http://imd.uncuyo.edu.ar/el-instituto-de-energia-presenta-idea-proyecto-de-campus-inteligente-en-la-uncuyo>
- United Nations Climate Change (UNFCCC) (2019). Recuperado de <https://unfccc.int/>

Capítulo VI. Fábricas inteligentes como aplicación del Internet de las cosas

Armando Román Gallardo

María Eugenia Cabello Espinosa

José Román Herrera Morales

Sara Sandoval Carrillo

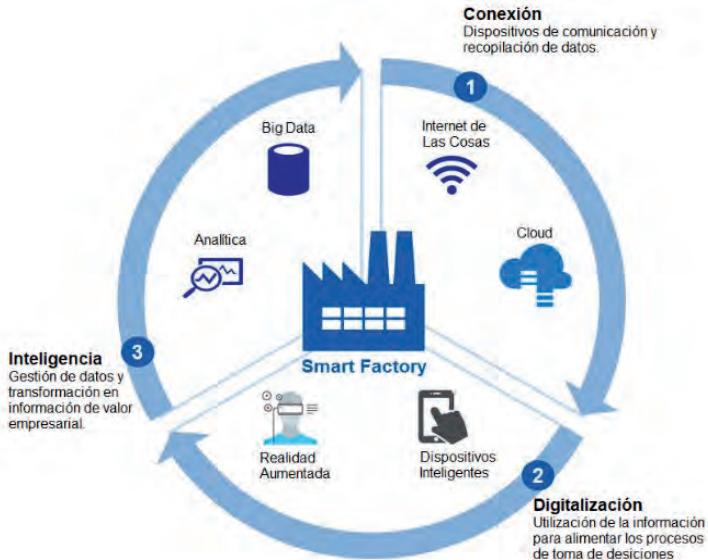
Introducción

La fábrica inteligente o fábrica del futuro (en inglés *Smart Factory*) es un término que se encuentra ligado al contexto de la cuarta revolución industrial o Industria 4.0, cuyo predominante es la automatización de los procesos y la digitalización de todas las tareas. Las fábricas inteligentes son instalaciones de producción que se encuentran digitalizadas y conectadas; son más flexibles que las fábricas del pasado, ya que pueden funcionar de forma autónoma debido a que trabajan con poca intervención humana y pueden aprender y adaptarse a los cambios en tiempo real, por la utilización de tecnologías, como la inteligencia artificial (IA), el aprendizaje automático, la robótica, el *Big Data*, la ciencia de datos e Internet de las cosas (IoT), como se muestra en la figura 1.

El mayor impacto de las fábricas inteligentes está en su interior, donde se combina producción, información, tecnologías de la información y la comunicación (TIC) e IoT, todo ello con circuitos integrados para detectar, medir y controlar lo que sucede en el proceso de fabricación, además de mantener comunicadas cada una de las áreas involucradas (figura 2).

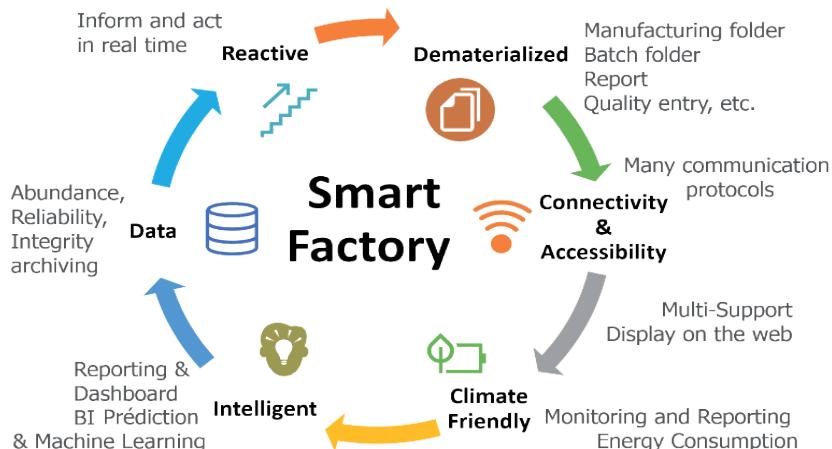
La información es útil para decidir si es necesario suspender temporalmente la producción de determinado producto o fabricar un porcentaje menor por contar con unidades en almacén, así como adaptar ciertas características del producto a las necesidades del cliente; es decir, fabricación a la carta de la producción en serie.

Figura 1
Fábricas inteligentes como fábricas de la Industria 4.0



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2
Las fábricas del futuro



Fuente: <https://www.hdtechnology.com/EN/usine-du-futur.php>.

Las fábricas inteligentes, por su conectividad, mantienen una estrecha vinculación entre personas, máquinas y sistemas, a través de sensores, actuadores y dispositivos IoT que aprovechan la inteligencia artificial y automatizan los procesos, entre otros beneficios.

El aumento en la eficiencia redundante en ahorros, ya es posible que a través de la red éstas reciban pedidos de sus clientes e instrucciones de trabajo; además, interactúan con sus sistemas de trazabilidad y calidad mostrando las fases del proceso de fabricación. Todas las áreas y departamentos están unidos entre sí, por lo que los operarios tienen al instante la información sobre las instrucciones, horarios, calidad e inventarios, entre otros; es decir, que todo el sistema logra trabajar de manera conjunta para cubrir las necesidades de los clientes y de producción.

Tecnologías involucradas

El tipo de tecnologías que se emplean en el día a día tienen efecto inmediato en los procesos de producción industriales, con grandes desafíos para las fábricas inteligentes; por ejemplo, pueden presentarse problemas con el manejo de grandes volúmenes de información si no se utiliza el *Big Data* y debe realizarse un análisis exhaustivo para la toma de decisiones en la optimización de los procesos.

Asimismo, se requiere de especialistas en la materia que sepan interpretar los datos, además de un eficiente almacenamiento y la conversión de los procesos tradicionales a los involucrados en la Industria 4.0; esto último puede ser muy costoso al momento de adquirir el equipamiento necesario (en ingeniería y desarrollo), entre otros gastos, pero los beneficios a corto plazo son relevantes, pues se obtiene mayor eficiencia y se produce más y mejor. Un ejemplo de ello es la empresa Parker Latin America (2019), y define a estas fábricas modernas como: "Sistemas equipados con microprocesadores que permiten el control de movimientos a velocidades variables, y el intercambio de datos entre otras funciones estratégicas"; en su página muestran el producto IO-Link (figura 3), que es un dispositivo mecatrónico con el cual se pueden leer y cambiar los parámetros utilizando el *software* de control para así

poder monitorear las salidas, recibir alertas en tiempo real y ajustar remotamente la configuración del dispositivo. Con los datos históricos disponibles puede hacer las adaptaciones y ajustes necesarios para que el dispositivo aproveche de manera óptima los componentes, simplifique el mantenimiento y reduzca el riesgo de inactividad de las máquinas.

Figura 3

Moduflex IO-Link, el camino a la fábrica inteligente



Fuente: <http://blog.parker.com/la/moduflex-io-link%2C-el-camino-a-la-fabrica-inteligente>.

IO-Link se emplea en la fabricación, almacén y seguimiento de inventarios, entre otros, para garantizar un mejor control de calidad, óptimo mantenimiento de las instalaciones, cuidado del medioambiente y seguridad, entre otros.

La robótica cognitiva facilita a las empresas acelerar su transformación para ser más competitivos y mejorar sus márgenes de ganancia. Los robots proporcionan gran cantidad de datos digitales útiles para la programación de nuevas tareas. Actualmente la industria ya está utilizando programas informáticos que efectúan tareas repetitivas llamadas *bots*, que incrementan la eficiencia y minimizan los riesgos operacionales; además cuenta con los robots autónomos, ambos sirven para ejecutar tareas repetitivas que requieran altos niveles de precisión. En la figura 4 se muestra el robot cognitivo Pepper.

Figura 4
El robot cognitivo Pepper



Fuente: <https://tecnoemergentes.foroactivo.com/t152-pepper-el-robot-cognitivo>.

Otro sistema que permite digitalizar las operaciones y aumentar la eficacia es la tecnología *Digital Twin* o gemelos digitales (Glaessgen y David, 2012), una réplica virtual de objetos o procesos que simulan el comportamiento de sus homólogos reales; es decir, representaciones digitales del mundo físico (véase figura 5). Esta tecnología disminuye costos, monitoriza los activos, optimiza su mantenimiento, reduce los tiempos de inactividad y permite la creación de nuevos productos conectados en entornos virtuales, para saber de antemano que sucederá cuando se ponga a funcionar con un activo físico real: su gemelo. Aplicado al IoT, los *Digital Twins* están vinculados con el mundo real.

Todas estas mejoras tecnológicas inciden en los espacios físicos, como pueden ser las oficinas o fábricas, y operan en entornos virtuales digitalizados en la nube. Con la inteligencia artificial, los *Digital Twins* vigilan el ciclo de vida del proceso y replican su funcionamiento en un modelo virtual para experimentar en la mejora de algún modelo físico.

Figura 5
Proceso de manufactura en el modelo *Digital Twin*



Fuente: <https://www.geospatialworld.net/blogs/digital-twins-connecting-information-and-insights-through-the-entire-project-lifecycle/>

En el almacén se utilizan las tecnologías de la realidad virtual y la realidad aumentada (Caballero, 2019), estrechamente ligadas con el concepto de crear un *Digital Twin*. La realidad aumentada (figura 6) superpone a la realidad los datos necesarios, mientras que la realidad virtual interactúa de forma natural en un modelo digital sumergiéndose en este, lo que se le llama inmersión, resultando en herramientas más simples, sin necesidad de tener amplios conocimientos en el manejo de equipos de cómputo. Esto permite realizar simulaciones de distintos escenarios usando datos del mundo real, para poder analizar lo pasado y que no se puede cambiar, así como visualizar escenarios a lo que nos podemos adaptar. Todo ello apoya a las fábricas inteligentes a optimizar las inversiones en nueva maquinaria, a realizar adaptaciones y a la creación de nuevas fábricas.

Tanto la realidad virtual como la aumentada se aplican en la optimización de diseños, mantenimiento y control de la fábrica, *training* de operaciones y formación de operarios, así como de la asistencia y resolución de incidencias. Esto conlleva beneficios para la mejora de los procesos, reducción de tiempos de espera, au-

mento de la seguridad, y ahorro en los costos, direccionándolas la implantación de la Industria 4.0 para su digitalización. Finalmente, también aquí son utilizados los robots autónomos para ejecutar operaciones de almacén.

Figura 6

Fábricas inteligentes que impulsan la competitividad con el uso de la realidad aumentada



Fuente: Camacho (2019). Recuperado de: <https://www.estrategiaynegocios.net/empresasymanagement/1315291-330/c%C3%B3mo-las-plantas-inteligentes-impulsan-competividad-y-eficiencia>.

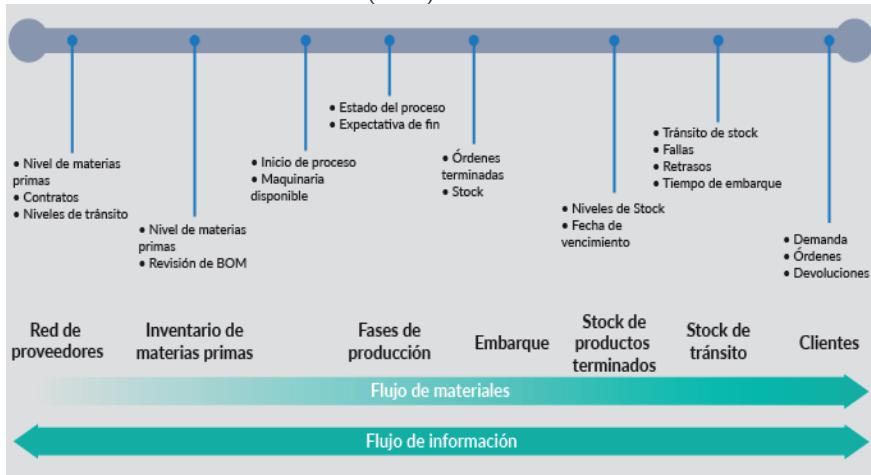
En el seguimiento de inventarios, IoT está revolucionando la forma en que se gestiona la cadena de suministros, como lo muestra la figura 7. Los sensores rastrean la ubicación del producto y dan seguimiento en tiempo real si cuenta con identificador RFID, incluso a los artículos perecederos se les puede agregar el RFID con sensores para el monitoreo de temperatura y humedad, entre otros, y de esta forma vigilar las condiciones por las que pasan los productos cuando son transportados, y si es necesario retirarlos de la cadena de suministros. Todo ello evita costos extras en el manejo de la logística y brinda mayor satisfacción a los clientes, quienes obtendrán productos de mayor calidad.

El control de calidad, utilizando robots para la automatización sencilla de pruebas, ayudan a incrementar la uniformidad y a mantener elevados sus niveles en los productos (figura 8) ya que siguen los procesos de manera exacta, con volúmenes de trabajo definidos, de forma uniforme y constante. Los robots colaborativos

son rentables, seguros, flexibles y se encuentran al alcance de las pequeñas y medianas empresas.

Figura 7

Internet de las Cosas (IoT) en la cadena de suministro

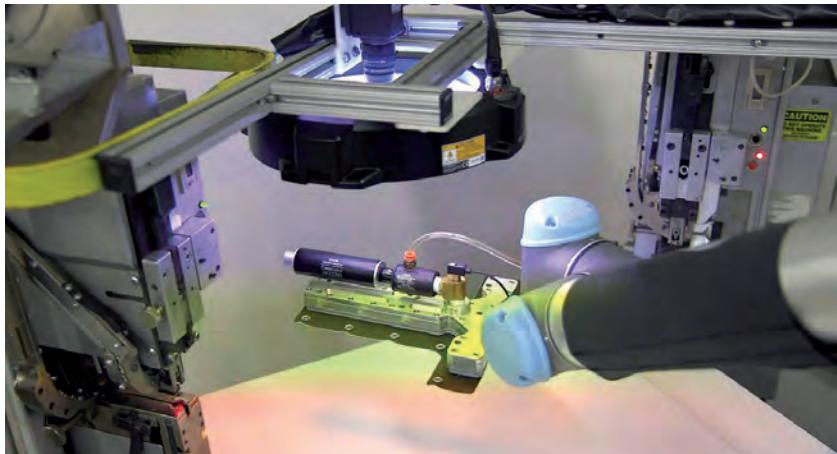


Fuente: Universidad Politécnica de Valencia (2019). Recuperado de: <https://www.evaluan-dosoftware.com/internet-las-cosas-la-cadena-suministro/>.

En el mantenimiento de las instalaciones, la realidad virtual y realidad aumentada son útiles para mejorar los procesos operativos, como agilizar el acceso a la información de cualquier componente o elemento y con ello reducir costos asociados, así como brindar datos en tiempo real de los equipos, entre otros. Con respecto a la administración del mantenimiento, se pueden consultar los registros históricos de mantenimientos de cualquier elemento, lo que permite conocer las incidencias para los correctivos pertinentes. Estas mismas apoyan el acceso a la documentación, identificando el elemento o equipo con conexión a sus propias fuentes de datos y a las de los clientes.

Las aplicaciones permiten realizar simulaciones en realidad aumentada (figura 9) de los equipos, permitiendo a los operarios accionar mecanismos y cambiar variables donde las visualizaciones 3D se encuentran superpuestas para reforzar el modelo *Twin*, que genera tanto un modelo virtual como físico de los componentes de las máquinas.

Figura 8
Control de calidad con robots colaborativos



Fuente: Universal Robots (2019). Recuperado de: <https://blog.universal-robots.com/es/control-de-calidad-con-robots-colaborativos>.

Figura 9
Cómo la Realidad Aumentada está transformando la industria



Fuente: NEOSENTEC (2019). Recuperado de: <https://www.neosentec.com/como-la-realidad-aumentada-esta-transformando-la-industria/>

Otra de las ventajas es el manejo de las incidencias manejadas mediante teleasistencia, a través de la transmisión en directo y conectando al operador con el equipo técnico se brinda información directamente sobre el equipo en cuestión.

Los sensores (figura 10) también son útiles en el mantenimiento para el óptimo funcionamiento de la maquinaria para evitar averías, paros menores y desgastes (como modos de fallos más frecuentes). El mantenimiento constante ayuda a reducir desgastes y los sensores permiten tener una visión completa de las variables críticas, trabajando de manera autónoma y proporcionando monitoreo de temperatura, vibración, amperaje y pulsos de choque llamados rodamientos, entre otros. Para su implementación, es necesario realizar una selección de los sensores, controladores lógicos programables (Programmable Logic Controller, PLC) y de los métodos de comunicación, para enviar los datos a la nube y de ahí a los dispositivos inteligentes como tabletas y celulares, para visualizar de manera constante todas estas variables.

Figura 10
Sensores industriales en Internet de las cosas



Fuente: Interempresas.net (2019). Recuperado de: <http://www.interempresas.net/Mantenimiento/FeriaVirtual/Producto-Sensores-industriales-en-el-Internet-de-las-Cosas-Pepperl-Fuchs-Sensorik-40-158050.html>

IoT es también utilizado para la seguridad en las fábricas mediante sensores que localizan equipos que son peligrosos para el personal y, con respecto a lo ambiental, se utilizan para medir luz, humedad y suciedad, entre otros factores de afectación (figura 11). Los procesos de fabricación más eficientes contribuyen a emplear menos materiales y residuos, con lo que las fábricas inteligentes integran energías renovables para reducir el impacto ambiental.

Figura 11

Las fábricas inteligentes reducen el impacto ambiental



Fuente: Ramírez (2019). Recuperado de: <https://www.the-emag.com/theitmag/blog/2017/03/09/ayuda-iot-medio-ambiente>.

Smart Factory en las Universidades

Tello (2019) identificó los requerimientos competenciales de la manufactura resultante de la cuarta revolución industrial. En su trabajo describió, de forma general, la fábrica inteligente en el contexto de la Industria 4.0 e identificó las principales tecnologías que se emplean, además de sus implicaciones de uso en el desarrollo de los nuevos modelos de negocio y las actividades innovadoras, necesarias actualmente en las empresas. De esa manera, logró identificar las principales competencias, centrándose en las funciones técnicas y de gestión avanzadas que deben desarrollar los nuevos ingenieros industriales. En este sentido, opina que es necesario que estos ingenieros cuenten con los siguientes tipos de competencias:

- *Las tecnológicas*, que están directamente relacionadas con el conocimiento y uso de las nuevas TIC y la producción de bienes y servicios.
- *Las técnicas*, que se relacionan con las capacidades para el diseño y la gestión de los procesos de negocio de la fábrica inteligente.
- *Las personales*, que recogen la dimensión ética y actitudinal del ingeniero en el desarrollo de sus funciones.

Tello (2019) también utilizó la información de la Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación (ANECA), sobre competencias de los “grados de ingeniería en mecánica, electrónica industrial y automática, y organización industrial” para identificar la brecha competencial de los ingenieros que se están formando en las universidades públicas españolas con relación a las competencias técnicas y tecnológicas de la Industria 4.0, necesarias en la gestión de las fábricas inteligentes del futuro.

Por su parte, Rojas (2019) menciona que existen nuevas competencias en la Industria 4.0 enfocadas a aspectos como la programación científica y la comunicación entre ingenieros y las máquinas. Los ingenieros deben tener conocimientos en desarrollo empresarial e innovación para revolucionar las tecnologías, que estará latente en los escenarios de enseñanza y experimentación; finalmente, deben tener habilidad analítica para interpretar las señales digitales de todas las disciplinas involucradas.

Actualmente, en Iberoamérica se ofrecen programas educativos interdisciplinarios como ingenieros en Internet, mecatrónica y en IoT, constituidos de la siguiente manera: “Ciencias básicas entre 20 y 35%, ciencias de la ingeniería o tecnologías básicas entre 20 y 40%, ingeniería o tecnología aplicada en un rango que va de 35 a 40% y ciencias complementarias entre 5 y 20%, en donde la competencia diseñar es preponderante” (Rojas, 2019).

La Universidad de Colima cuenta con cinco programas educativos en esta tónica: la ingeniería en mecatrónica (ofertada en la Facultad de Ingeniería Electromecánica y en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica), la ingeniería en computación inteligente (en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica), la

ingeniería en tecnologías de Internet y la maestría en tecnologías de Internet (en la Facultad de Telemática).

Conclusiones

Hace menos de una década que se conceptualizó la Industria 4.0 como una nueva manera de organizar los medios de producción a través de las fábricas inteligentes, centradas en la digitalización de sus tareas y la automatización de sus procesos; la aplicación de IoT y el uso del *Big Data* marcan una época de progreso, desarrollo tecnológico e innovación. Las fábricas inteligentes traen consigo el temor de remplazar el trabajo humano porque sus funciones pueden ser asumidas por máquinas o robots, y la Industria 4.0, aunque tiene poco tiempo de vida, ya se está apuntalando a la quinta revolución o Industria 5.0. No obstante, la 4.0 de IoT y la automatización son los principales protagonistas de las fábricas inteligentes, en la Industria 5.0 la producción es concebida como la formación de equipos entre robots y seres humanos, trabajando en sincronía para el máximo potencial de ambos; por un lado, los robots realizarán trabajos repetitivos, extenuantes o de alto riesgo, en tanto que las personas ejercerán el trabajo intelectual.

Referencias

- Caballero, A. (2019). *Industria 4.0 a través de realidad virtual y realidad aumentada*. Recuperado de <http://www.innoarea.com>: <http://www.innoarea.com/industria-4-0-a-traves-de-realidad-virtual-y-realidad-aumentada/>
- Camacho, A.C. (2019). *Cómo las plantas inteligentes impulsan competitividad y eficiencia*. Recuperado de www.estrategiaynegocios.net: <https://www.estrategiaynegocios.net/empresasymanagement/1315291-330/c%C3%B3mo-las-plantas-inteligentes-impulsan-competitividad-y-eficiencia>
- Glaessgen, E., and David, S. (2012). *The Digital Twin Paradigm for Future NASA and U.S. Air Force Vehicles*. Recuperado de <https://arc.aiaa.org/doi/abs/10.2514/6.2012-1818>
- Interempresas.net (2019). *Sensores industriales en el Internet de las cosas para obtener los niveles de llenado de los depósitos*. Recuperado de www.interempresas.net: <http://www.interempresas.net/Mantenimiento/FeriaVirtual/Producto-Sensores-industriales-en-el-Internet-de-las-Cosas-Pepperl-Fuchs-Sensorik-40-158050.html>

- Neosentec (2019). <https://www.neosentec.com/como-la-realidad-aumentada-esta-transformando-la-industria/>. Recuperado de www.neosentec.com: <https://www.neosentec.com/como-la-realidad-aumentada-esta-transformando-la-industria/>
- Parker LatinAmerica (2019). *Moduflex IO-Link, el camino a la fábrica inteligente*. Recuperado de blog.parker.com: <http://blog.parker.com/la/moduflex-io-link%2C-el-camino-a-la-fabrica-inteligente>
- Rojas, C.N. (2019). *La cuarta revolución industrial o Industria 4.0 y su impacto en la educación superior en ingeniería en Latinoamérica y el Caribe*. Recuperado de laccei.org: http://www.laccei.org/LACCEI2017-Boca-Raton/work_in_progress/WP386.pdf
- Tello, J.D. (2019). *Carencias formativas de los grados de ingeniería para la industria 4.0 en España. Una propuesta de actuaciones*. J.A. Dyna, Editor. Recuperado de <https://www.revistadyna.com/Articulos/Ficha.aspx?idMenu=a5c9d895-28e0-4f92-b0c2-c0f86f2a940bandCod=8604andcodigoacceso=4589e7ca-ba0f-49c6-98d8-9f82bccb5e8a>
- Universal Robots (2019). *Control de calidad con robots colaborativos*. Recuperado de blog.universal-robots.com: <https://blog.universal-robots.com/es/control-de-calidad-con-robots-colaborativos>
- Universidad Politécnica de Valencia (2019). *Internet de las cosas en la cadena de suministro*. Recuperado de www.evaluandosoftware.com: <https://www.evaluandosoftware.com/internet-las-cosas-la-cadena-suministro/>

Capítulo VII. El Internet de las cosas y la ciencia de datos

José Román Herrera-Morales

Gabriel Peralta Domínguez

Armando Román Gallardo

Alberto Román Herrera-Espinoza

Introducción

En el contexto actual de continuos avances tecnológicos, Internet de las cosas (IoT), *Big Data* e inteligencia artificial (IA), representan tres grandes tendencias que convergen en el panorama de los negocios para darle sentido y significado a los datos que se están generando por innumerables dispositivos conectados a la red. Esta combinación de tecnologías disruptivas está revolucionando la industria y hacen factible la aplicación de métodos y técnicas analíticas y predictivas del campo de la inteligencia artificial que anteriormente se quedaban en el terreno teórico o cuando mucho en el campo experimental.

Es importante conocer los términos tecnológicos y qué relación existe entre ellos, por ejemplo: ¿cómo se conjugan IoT con la IA, con la ciencia de datos (*data science*) y con la analítica de datos (*data analytics*)? De acuerdo con Kelleher y Tierney (2018), la ciencia de datos, el aprendizaje artificial o inteligente (*machine learning*) y la minería de datos (*data mining*) son términos que se utilizan de forma indistinta; pero, particularmente, la ciencia de datos involucra un conjunto de principios, definiciones de problemas, aplicación de métodos y algoritmos para extraer de forma automatizada patrones de información que no son obvios sobre grandes conjuntos de datos heterogéneos (*Big data*) y recopilados por sensores de IoT.

Para clarificar la diferencia entre estos elementos, David Robinson (2018) propone una definición simplificada entre los tres principales conceptos de ciencia de datos, aprendizaje automático e inteligencia artificial: la ciencia de datos nos brinda el entendimiento (*insights*), el aprendizaje automático produce *predicciones* y la inteligencia artificial produce *acciones*. En este sentido, la ciencia de datos se distingue porque su objetivo es especialmente humano (obtener información y comprensión de lo que significa) y puede darse de forma descriptiva, exploratoria o a nivel de causalidad. Aquí entra en escena el científico de datos (*data scientist*), quien hará la interpretación de los hallazgos para obtener las conclusiones.

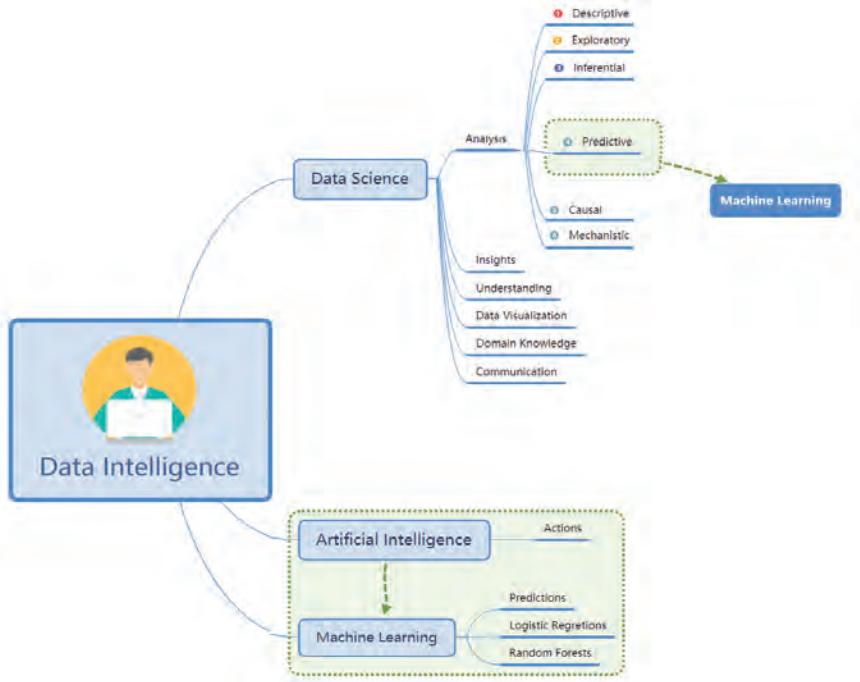
Sin embargo, la diferencia entre la inteligencia artificial y el aprendizaje automático no es del todo clara, ya que existen traslapos entre sus áreas, aunque generalmente es aceptado que la inteligencia artificial es un campo más amplio. Prestigiados académicos, como Russell y Norvig (2020), la definen como agentes autónomos o inteligentes que tienen percepción de su entorno y que son capaces de ejecutar o recomendar acciones que afectarían su mismo entorno. Mientras que al aprendizaje automático tradicionalmente se le ha considerado un subcampo de la inteligencia artificial, se enfoca a que las máquinas tengan la capacidad de ejecutar algoritmos con gran cantidad de datos, aunque en ocasiones los problemas de predicción no necesariamente son tratados como aplicaciones de la IA, sino de la aplicación de métodos estadísticos.

En la figura 1 se presenta un mapa conceptual donde se aprecia la relación de estos términos, agrupados en un concepto más amplio denominado inteligencia de negocios (*data intelligence*).

La inteligencia de datos aplicada en soluciones de IoT en el plano de negocios es útil para diagnosticar las mejores opciones en apoyo a la toma de sus decisiones.

Figura 1

Mapa conceptual de *inteligencia de datos*, agrupa los conceptos de ciencia de datos, inteligencia artificial y aprendizaje automático



Fuente: adaptado de <https://www.xmind.net/m/ANgy/>

La analítica de datos para IoT

La analítica de datos como la conocemos hoy en día, implica el uso de técnicas de consulta, desglose y optimización de los datos generados por diversos elementos o entornos de estudio; su valoración y nivel de importancia en una organización u empresa, determina lo que Andrew Minteer (2017) menciona como “la madurez analítica”, con relación a la capacidad de saber utilizar y habilitar todo lo que requiere una correcta implementación de analítica de datos, donde no se trata de lo que estás haciendo sino de lo que es capaz de realizar para maximizar los procesos empresariales u organizacionales en torno a los resultados de una estrategia, basada en los datos obtenidos de toda esa cantidad de dispositivos y servicios in-

terconectados que representa IoT. Por lo que la analítica de datos es un paso importante a otras estrategias de la ciencia de datos, para ir subiendo el nivel de explotación, y sobre todo de decisiones de inversión de recursos cuando se detecta una oportunidad.

La analítica de datos masivos para IoT plantea desafíos interesantes, ya que los datos son creados por los dispositivos como parte de la infraestructura ordinaria de producción. Cabe mencionar que la incorporación en las economías emergentes no ha avanzado a la misma velocidad de los países desarrollados, ya que éstos utilizan estrategias de competitividad digital para dar impulso a sus economías. El Centro de Estudios de Telecomunicaciones de América Latina (Cet.la) afirma que, en tecnologías, América latina aún está a 2.42 puntos de distancia de los países de la OCDE, donde se ha convertido en la principal fuente de datos y por ende en un catalizador del desarrollo económico e industrial (Cet.la and Deloitte Consulting, 2018).

De tal manera que el *Big Data*, generado por IoT, es la materia prima para cualquier analítica de datos, debido a que estarán distribuidos cada vez más en espacios de interacción, lo que implica un reto mayor en cuanto a control y procesamiento en tiempo real de cantidades masivas en crecimiento. Por ello, lo imperante de aplicar métodos de ciencia de datos y herramientas de control, manipulación y procesamiento de datos, tanto para la construcción de modelos como para el aprendizaje automático, la minería de datos en la salud, en la bioinformática, en modelos predictivos con aprendizaje profundo con o sin refuerzo (supervisado y no supervisado) y con informes en tiempo real, entre otros; por ello la importancia de la correcta explotación y su potencial de los datos para su óptimo aprovechamiento. Se requiere de un entorno de trabajo y herramientas apropiadas para obtener ese valor agregado o elemento de competitividad que los datos aportan en beneficio de las empresas u organizaciones.

El manejo de entornos de trabajo y herramientas de manipulación, con referencia al registro y almacenamiento, se refleja en todos los requisitos de infraestructura, de tal manera que, dado el crecimiento exponencial de los datos generados por IoT, es necesaria la implementación de entornos de analítica en la nube o

híbridos, en este último se requiere del aprovechamiento e integración de los datos locales registrados, así como del potencial del cómputo para algunos procesos de analítica de datos más focalizados, ya que procesar una cantidad exponencial de datos históricos o relacionados se vuelve en una tarea complicada. Todo ello implica costos para la transformación y aprovechamiento de los datos, por ello son cada vez más las plataformas que permiten a las empresas elegir su capacidad y potencia de cómputo con relación a sus necesidades, para reducir costos de mantenimiento y en infraestructura con el licenciamiento de software, hardware y redes, necesarios en la analítica de datos masivos a nivel local.

Plataformas especializadas para analítica de IoT

Hacer un recuento de las mejores plataformas para analítica de datos de IoT resulta una tarea interminable; no obstante, en diversas fuentes (Kosan, 2019; IoT One, 2018; SoftwareTesting, 2019) se pueden encontrar coincidencias e identificar a los nombres de grandes empresas líderes en el área de las TI, cuyas respectivas plataformas representan las mejores opciones valoradas para servicios de analítica de IoT; algunas de las empresas y sus plataformas para son:

- Google. Google Cloud IoT
- Amazon. Amazon Web Services (AWS) IoT Analytics
- Microsoft. Azure IoT y PowerBI
- IBM. Cognos y Watson IoT
- Oracle. IoT Cloud Services
- SAP. Analytics Cloud
- PTC. ThingWorx
- Samsung. Samsung Artik Cloud
- Cisco. IoT Cloud Connect.

Estas empresas líderes están ofreciendo sus plataformas en la nube con una amplia gama de servicios y herramientas integradas para facilitar el análisis de sus propios datos, obtenidos desde dispositivos IoT en múltiples tipos y formatos, tanto estructurados como no estructurados y en flujos en tiempo real. Estas plataformas deben ser capaces de procesarlos directamente para la toma decisiones inteligentes en tiempo real; para ello se está evolu-

cionando el modelo de servicio que va del tradicional modelo de integración de servicios, platform-as-a-service (PaaS), hasta llegar al Insights-as-a-Service (IaaS), que implica pagar únicamente por la obtención de resultados con el procesamiento inteligente de datos específicos de forma integral y automatizada.

La empresa consultora IoT ONE (2019) ha recopilado indicadores e información para comparar a diversos proveedores y empresas del sector y con ello poder orientar a futuros clientes en la selección de la mejor opción para sus necesidades. En la figura 2 se muestra un ejemplo de la comparativa de cuatro empresas influyentes del área.

Figura 2

| Comparativa de cuatro plataformas para analítica de datos IoT | | | | |
|---|--|---|--|---|
| | Supplier Logo | Google | Microsoft | |
| Supplier Logo | | | | |
| Overview | | | | |
| Supplier Slogan | | Empowering Us All. | Easily and Securely Connect Devices to the Cloud. | |
| Snapshot | | | | |
| HQ Location | United States | United States | United States | |
| Year Founded | 1998 | 1975 | 2006 | |
| Company Type | Public | Public | Public | |
| Revenue | > \$10b | > \$10b | > \$10b | |
| Employees | > 50,000 | > 50,000 | > 50,000 | |
| Website | Open website | Open website | Open website | |
| Company Description | Google specializes in internet-related services and products. These include online advertising. | Microsoft develops, manufactures, licenses, supports and sells computer software, consumer... | Amazon Web Services has developed the managed cloud platform AWS IoT to let connected... | IBM is an American multinational technology and consulting corporation that manufactures a... |
| IoT Solutions | There is the potential for 50 billion connected devices by 2020. Google Cloud Platform gives yo... | The Internet of Things (IoT) does not need to be complicated. It doesn't have to be about billions... | AWS IoT is a managed cloud platform that lets connected devices easily and securely... | Nine billion Internet of Things (IoT) devices today, and the number is growing. Organizations must... |

Fuente: IoT ONE (2019). Recuperado de: <https://www.iotone.com/supplier/compare/google,oracle,microsoft,amazon-web-services,ibm/v36,v48,v59,v11,v41>

En los siguientes apartados se incluye una breve descripción de las plataformas más representativas para analítica de datos en la nube.

Google Cloud Platform

Google Datalab es una interfaz de Google Cloud Platform (GCP) que permite explorar, visualizar, analizar y transformar los datos utilizando lenguajes conocidos, como Python y SQL, de forma interactiva, gracias a una imagen modificada por Google para facilitar la integración de sus servicios de Jupyter (antes IPython Notebook), un IDE interactivo para ejecutar SQL, scripts de Python, visualizar resúmenes de datos y gráficos dinámicos dentro de una simple interfaz web, donde cada instancia o archivo de proyecto se denominan Notebooks y que, al estar hospedados como un servicio en la nube, poseen la propiedad de compartirse y colaborar en tiempo real con otros desarrolladores en el mismo proyecto; esto mismo, también es posible con los resultados, que pueden ser distribuidos o publicados (figura 3).

Google Cloud Datalab no tiene costo si lo representa la integración de diversos servicios (o instancias de recursos) del GCP, pero se requiere habilitar la facturación para su implementación. Google, como muchas otras plataformas, aplican el enfoque de pago por tipo, tiempo e infraestructura de servicios consumidos, por lo que depende directamente de la arquitectura del microprocesador elegido, sistema operativo y cantidad de memoria RAM, cantidad de almacenamiento y otros servicios adicionales que se deseen asociar en un instancia privada de máquina virtual (VM, por sus siglas en inglés); por ejemplo, Google BigQuery, de Google Cloud Machine Learning o de Google Cloud Dataflow y otras APIs del entorno de Google Cloud Platform.

También, de forma sencilla y orientada a estudiantes y aprendices, Google ofrece un ambiente virtual de trabajo colaborativo con integración con GitHub para compartir cuadernos de Jupyter y aprovechar la potencia de procesamiento de GPU y TPU en su servicio en la nube, denominado Google Colab (<https://colab.research.google.com/>). Para hacer uso de este servicio, solo se requiere tener una cuenta de Gmail y conexión a Internet.

Figura 3

Google Cloud Datalab integra servicios de analítica, visualización y aprendizaje automático sobre la plataforma de Google Cloud Platform

The screenshot shows the Google Cloud Datalab landing page. At the top, there's a navigation bar with links for Google Cloud, Por qué elegir Google, Soluciones, Productos, Precios, Primeros pasos, a search bar, and links for Documentos, Asistencia, and Language. The main heading is "Cloud Datalab" with the subtitle "Sencilla herramienta interactiva diseñada para explorar, analizar y visualizar datos, y para el aprendizaje automático". Below this, there are four main sections with icons: "Exploración avanzada de datos" (Advanced Data Exploration) with a laptop icon; "Integrado y de código abierto" (Integrated and open source) with a network icon; "Escalable" (Scalable) with a smartphone and laptop icon; and "Gestión y visualización de datos" (Data management and visualization) with a dashboard icon. Each section has a brief description below its respective icon.

Fuente: <https://cloud.google.com/datalab/>

Microsoft Azure IoT Suite

Microsoft, la empresa influyente en el sector, oferta una plataforma especializada denominada Azure IoT. En su portal web señala que IDC MarketScape de 2019 (Subramania, 2019) ha sido reconocido como líder en las evaluaciones de proveedores de plataformas para IoT industrial (IIoT), tanto en los sectores de manufactura (IDC, 2019a) como de energía (IDC, 2019b).

Esta plataforma Azure IoT ofrece un conjunto de servicios en la nube para dispositivos IoT y enlaces entre los dispositivos, aplicando protocolos de seguridad y estándares industriales para facilitar la gestión remota, distribución y centralización de datos concurrentes de telemetría de millones de dispositivos enlazados en tiempo real. Dicha plataforma incorpora soluciones preconfiguradas para que las empresas puedan concentrarse en la búsqueda de valor comercial de sus datos y menos tiempo en la implementación y ajuste de los servicios para mejorar la lógica empresarial y aprovechar las nuevas oportunidades que la analítica de datos de IoT provee como elemento de competitividad.

Azure IoT incluye los servicios de *remote monitoring*, que posibilita el monitoreo en tiempo real y centralizado de la telemetría, IoT Hub, y permite establecer conexiones múltiples entre dispositivos y realizar el procesamiento de datos masivos, gestionando las comunicaciones con protocolos como HTTP, AMPQ y MQTT. También incorpora Stream Analytics para analítica de datos en tiempo real, así como otros servicios de la Suite como los de Event Hubs, Power BI y de almacenamiento como Blob Storage (Sam, 2015).

Figura 4



Fuente: Blinky Thing Blog (2018). Disponible en: <https://theblinkythng.com/index.php/2018/10/02/data-exploration-with-amazon-quicksight-and-iot-analytics/>

Amazon AWS IoT Core

Amazon AWS IoT es una plataforma en la nube de administración de dispositivos y de control de los datos generados en las comunicaciones entre dispositivos para recolectar datos de telemetría y almacenarlos masivamente en diversas opciones; sin embargo, al igual que Azure, la integración con sus propios servicios en la nube simplifica mucho del trabajo de administración, en este caso, son los servicios de Amazon DynamoDB bajo un modelo NoSQL autoescalable (como Azure) con integración a otros servicios muy interesantes como Amazon EMR, que basados en Jupyter Notebooks, permiten la manipulación y la analítica de datos masivos almacenados tanto en Amazon DynamoDB como en Amazon RedShift, con el objetivo de optimizar los tiempos de procesamiento de datos muy breves y con la característica, al igual que Azure, de un costo basado en el consumo del usuario.

Aunque recientemente sus costes se han mantenido competitivos, se posicionan como los más elevados, pero con la mayor integración de todos los servicios con los que cuenta Amazon AWS, como Amazon S3, el ya mencionado Amazon DynamoDB, Amazon CloudWatch, AWS Lambda, Amazon Kinesis, Amazon SageMaker, AWS CloudTrail y Amazon QuickSight. De esta manera, es posible construir aplicaciones, manipular datos y desarrollar modelos para analítica sin un aparente equipo DevOps para administrar toda esta infraestructura, lo que en términos operativos facilita el trabajo de los científicos de datos para generar resultados o interactuar con otros servicios dentro o fuera de este entorno, gracias a sus APIs, servicios web y otros estándares, donde Amazon busca ajustarse a los requerimientos de sus clientes.

IBM Watson IoT Platform

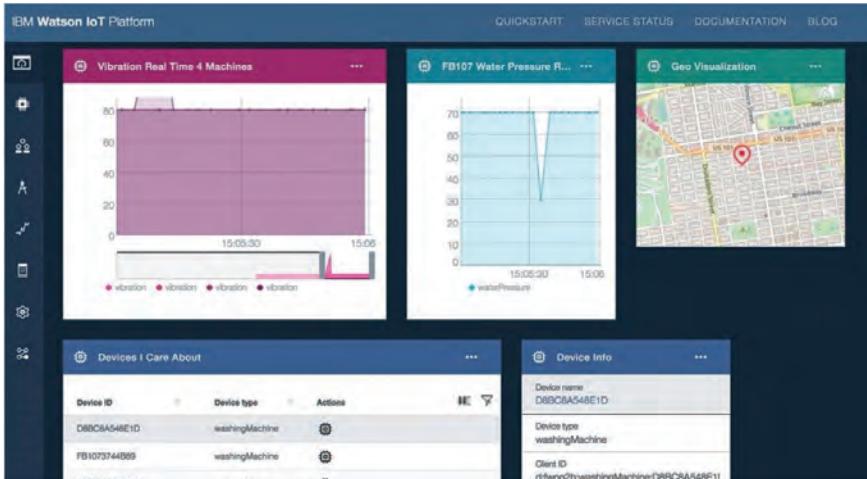
IBM siempre ha mostrado una fuerte integración entre todas tecnologías, por lo que este caso no es la excepción, ya que aprovecha su experiencia como uno de los pioneros en el desarrollo de tecnologías de cómputo cognitivo para vincularlo con servicios de analítica de datos que provienen de IoT, de esta forma se tiene una fuerte integración en tiempo real de la plataforma de analítica de datos conocida como IBM Watson IoT platform, como parte

del ecosistema de servicios en la nube de IBM Cloud (2019). Este servicio le permitirá a una empresa diseñar sus soluciones de IoT para que sean escalables y adaptables a nuevas necesidades, sin poner en riesgo la seguridad, confiabilidad y privacidad de su información.

Otra distinción entre sus principales competidores es la facilidad y transparencia de sus servicios de análisis de datos, con acceso y diseño de sus interfaces simplificadas e intuitivas para facilitar el acceso a casi todo tipo de usuarios (no necesariamente expertos en la ciencia de datos), tal y como se muestra en el *dashboard* de la figura 5, donde se pueden utilizar múltiples funciones estadísticas y de analítica, así como la disposición de integrar más funciones de las precargadas en su consola de administración, en la cual es posible cargar otras funciones propias del usuarios, característica que comparte con Microsoft Azure y Amazon AWS; sin embargo, la personalización de IBM con esta plataforma le añade ese factor de configuración que, si bien puede tomar un tiempo razonable, la integración y disponibilidad de control con aplicaciones es muy transparente y sencilla, gracias a sus API y servicios REST para controlar los dispositivos y vincular sus datos masivos a otras plataformas de Analítica, ya sea dentro de los servicios de IBM Watson Studio o cualquier otro para la creación, por ejemplo, de modelos predictivos u otro de aprendizaje máquina para implementarse en los sistemas propios de las empresas o aplicaciones de análisis comercial en tiempo real, ya que la implementación de este servicio es casi inmediata y los dispositivos vinculados a este servicio de IoT son alcanzados por los usuarios, provistos de funciones de analítica preconfiguradas, si se requiere, sin participación del usuario, ya que todos los datos arrojados por los dispositivos son almacenados y puestos a disposición dentro del entorno de su consola de administración en tiempo real (Santos *et al.*, 2019).

Figura 5

Dashboard de IBM Watson IoT Platform



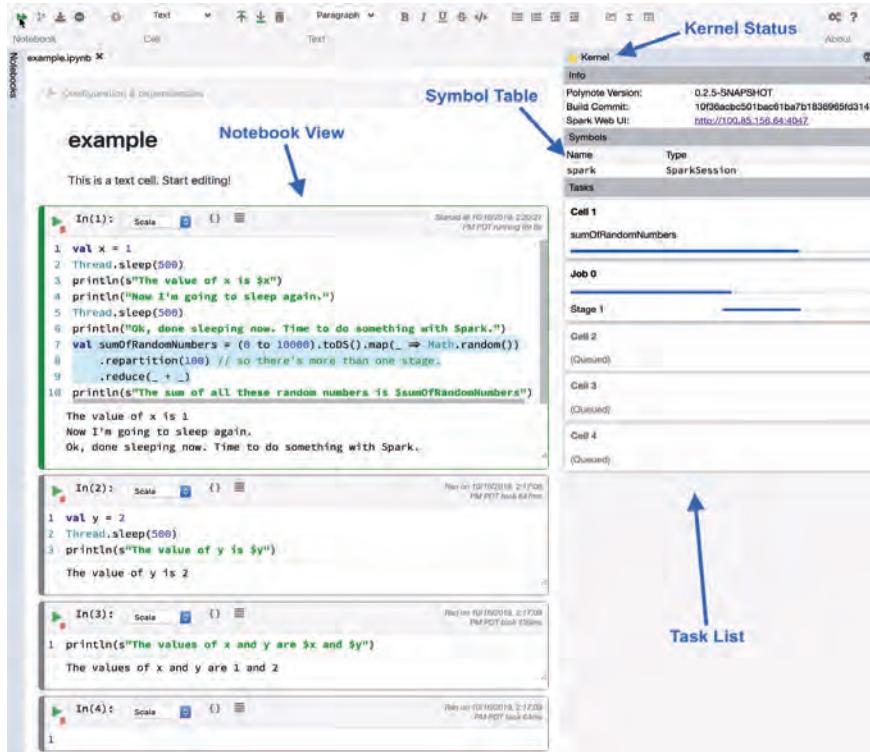
Fuente: IBM Watson IoT Platform. Recuperado de: <https://www.ibm.com/us-en/marketplace/internet-of-things-cloud>

Entornos integrados y lenguajes de programación para analítica de datos

En la actualidad existen diversos entornos computacionales interactivos que facilitan las tareas de analítica de datos y que se están convirtiendo en una interfaz front-end muy popular para la computación en la nube. Estos entornos de desarrollo (IDE) basados en *notebooks* son adoptados por los principales proveedores de la nube, los de mayor tendencia en este contexto del análisis de datos masivos y la ciencia de datos son Jupyter Labs & Notebooks (Jupyter.org, 2019), Apache Zeppelin (Apache Zeppelin, 2019) y el recientemente liberado Netflix Polynote (2019) (Smith *et al.*, 2019).

Figura 6

Interfaz de Polynote basado en entornos de desarrollo integrado con Notebooks



Fuente: Smith *et al.* (2019).

Estas plataformas integran diversas librerías tanto para el análisis de datos masivos como el modelado de servicios de inteligencia artificial, entre otras herramientas, para su distribución y colaboración; sin embargo, existen algunas características comunes que los desarrolladores valoran y asumen como un servicio indispensable o básico en cualquier IDE de escritorio de forma nativa, pero que en dichas plataformas basadas en la web requieren de mayor configuración e implementación, donde en algunos casos es necesario recurrir a extensiones de terceros para tratar de incorporar dichas características de los editores de código, como:

- Autocompletado, sugerencias en parámetros y variables, etcétera.
- Previsualización en tiempo real del estilo de texto con marcaje markdown, así como interpretación de marcas en formato TeX.
- Multiintérprete en tiempo real de lenguajes de programación compatibles, como: Python, Julia, SCALA, R, SQL, entre otros.
- Información sobre el tiempo de ejecución, dentro del propio *notebook*, sin requerir líneas de código para monitorear la compilación y procesos de los objetos.
- Consulta de variables y funciones definidas por el usuario dentro del entorno sin necesidad de desplazamientos.
- Visión simultánea de los errores de compilación o lanzamiento de excepciones en tiempo de ejecución.
- Personalización y previsualización de gráficos de datos.

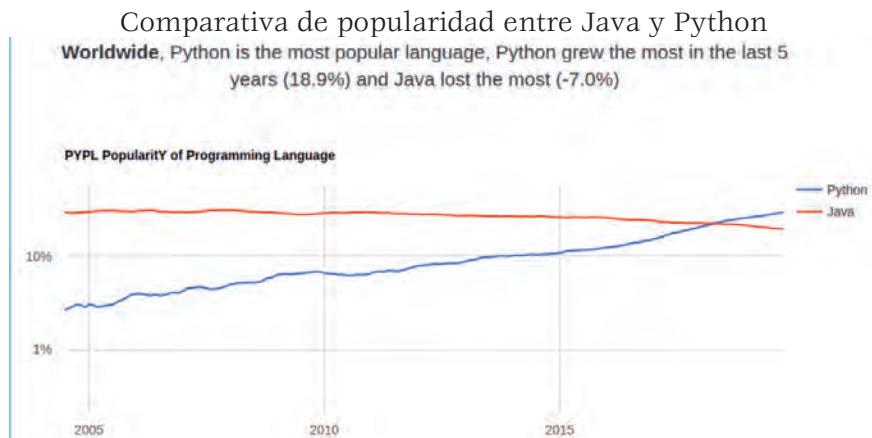
Lenguajes de programación para la ciencia de datos

Una práctica común hasta nuestros días es la utilización, para la investigación y prototipado de proyectos e ideas de desarrollo tecnológico, de lenguajes de programación como Java, Javascript, C#, C++, mientras que R y Python han sido dos soluciones de soporte de desarrollo representativas y líderes en el ámbito de la ciencia de datos, tanto en el entorno privado como en el abierto; sin embargo, Python ha incrementado su implementación, ya que este lenguaje se ajusta no sólo al campo de la investigación y prototipado sino también al desarrollo y producción de *software*, lo que lo convierte en unos de los lenguajes más versátiles para cubrir todas las fases para el desarrollo de cómputo científico, tanto de producción libre como comercial.

El lenguaje Python es de los más prolíficos, elegantes y con la potencia necesaria para el desarrollo de múltiples proyectos, llamando la atención en los ámbitos de la ingeniería y más recientemente como un lenguaje de *scripting* para una extensa y activa comunidad de investigadores en el ámbito del cómputo científico, donde han optado a Python como punto factor en la investigación industrial y la académica. Lo anterior es corroborado por el *Popu-*

larityY of Programming Language (PYPL, 2019), que ubica a Python en el primer lugar de su *ranking*, con una tendencia de crecimiento de 4.5%, superando incluso a Java y Javascript (véase figura 7). Se trata de un lenguaje de programación de alto nivel, con sintaxis clara y una apuesta firme por la legibilidad del código; sin duda es de programación versátil, con alrededor de 72 mil paquetes disponibles por medio de PyPi y más 1 000 incluidos en los paquetes de Continuum Analytics. Anaconda, específicamente para ciencia de datos (Marston, 2019), es fuertemente tipado, imperativo y orientado a objetos, aunque contiene también características que lo convierten en un lenguaje de paradigma funcional.

Figura 7



Fuente: Popularity of Programming Language (PYPL, 2019). Disponible en: <http://pypl.github.io/PYPL.html>

Su popularidad sigue en aumento debido a su extensa comunidad de desarrolladores y organizaciones que contribuyen en él como proyecto Open Source, y se refleja en la extensa cantidad de módulos que permiten extender sus funcionalidades a múltiples tareas de procesamiento. Por lo que para fines del análisis de datos, no ha quedado exento. Python se compara con otros lenguajes de análisis matemático, tanto a nivel comercial como de opciones de software libre, que han dominado por mucho tiempo el mercado y preferencia de la comunidad científica, algunos ejemplos son R, MATLAB, SAS, Stata, Octave, MiniTab y SPSS, entre otros.

Para tareas de análisis y manipulación de datos, Python ha presentado librerías importantes con la capacidad suficiente para el manejo de datos masivos (*Big Data*) y análisis estadísticos, similar al reconocido lenguaje R, pero con la singularidad de que Python es un lenguaje interpretado de propósito general y multi-paradigma, por lo que, agregando la pequeña curva de aprendizaje, lo convierte en un lenguaje de preferencia por algunas comunidades científicas y organizaciones públicas y privadas.

Lo que lo hace aún más interesante es que este lenguaje no es excluyente, por el contrario, con algunas librerías, como la r2py, es posible incrustar y ejecutar el código de R dentro Python para aprovechar la potencia de ambos lenguajes, haciéndolo atractivo, además de que es posible integrar otros módulos de análisis para extender su funcionalidad hacia áreas afines, como el análisis predictivo, el aprendizaje automático, la visión por computadora y la robótica, entre otras áreas de la inteligencia artificial, y provoca que dicho lenguaje se extienda más en la comunidad de desarrolladores de diversas tecnologías.

Librerías de Python para analítica de datos

Aunque Python no fue inicialmente diseñado para fines propiamente científicos, su utilidad y desarrollo en este contexto sigue extendiéndose a más entornos de aplicación, así lo afirma VanderPlas (2016), quien sostiene que la conveniencia de Python para la ciencia de datos proviene principalmente de su enorme y activo ecosistema, así como la creciente disponibilidad de paquetes o librerías de terceros.

A continuación se describen algunas librerías especializadas que aumentan la potencialidad de Python para la generación de soluciones de analítica de datos:

- *Numpy*. Soporta grandes vectores y matrices usando una biblioteca de funciones matemáticas para manipularlos, resulta rápida y eficiente para el manejo de matrices multidimensionales. A través de interfaces de programación de aplicaciones (API, por sus siglas en inglés) implementa de forma interna otras herramientas tales como matplotlib, pandas, Scipy y sympy (Mehta, 2015).

- *Scipy*. Basado en Numpy, integra optimizaciones para el cómputo numérico, estadístico, álgebra lineal y otros a través de submódulos para funciones de cómputo con grandes conjuntos de datos (Scipy.org, 2019).
- *Pandas*. Es una biblioteca que contiene estructuras de alto nivel y herramientas de manipulación de datos masivos, de forma rápida y sencilla; permite indexar, recuperar, ordenar, remodelar, combinar, fragmentar y realizar diversos análisis, tanto individuales como multidimensionales de los datos, incluidas las etiquetas de índice; también provee métodos estadísticos *a priori* para realizar análisis y conclusiones, se apoya en otros paquetes de Python, como SciPy, NumPy, scikit-learn y sobre librerías gráficas, tales como matplotlib y ggvis para la visualización de datos, entre otras que siguen en desarrollo, como Blaze, Bokeh, Conda, PhosphorJS (Anthony, 2015).
- *Matplotlib*. Es una biblioteca de visualización de gráficos en 2D y se utiliza bajo un script de python, ya sea en la consola de python, el shell de Jupyter Netbook o cualquier otro entorno de desarrollo integrado (IDE, por sus siglas en inglés) local o en la nube, tiene características similares al de MATLAB o Mathematica, pero con la particularidad de que, si se publica vía web, incluye seis conjuntos de herramientas de interfaz gráfica de usuario para que el usuario interactúe con los datos y a su vez con la vista de los gráficos generados. Esta librería es una solución moderna y minimalista para el equilibrio entre facilidad de uso y potencia (Devert, 2014).
- *Scikit-Learn*. Es utilizada para minería y análisis de datos; puede reutilizarse en diversos contextos y está desarrollada con base a Numpy, Matplotlib y SciPy. Es popular para las tareas de clasificación, análisis de regresión, predictivo, agrupamiento, reconocimiento de imágenes, selección de modelos, reducción de dimensionalidad y preprocesamiento de datos (Scikit-learn, 2019).
- *TensorFlow*. Creada por Google para tareas de entrenamiento de redes neuronales, algoritmos de Machine Learning, Deep Learning, visión por computadora, entre otras tareas

de clasificación y reconocimiento. Es una librería de alto rendimiento, pero flexible, ya que facilita su integración en diversas arquitecturas de cómputo distribuido.

- *Pytorch*. Una de las librerías más utilizadas por investigadores y científicos de datos para acelerar tareas de modelado gráfico de optimización, aprendizaje máquina y la ejecución de alto rendimiento de librerías como TensorFlow, explotando las actuales capacidades de las unidades de procesamiento gráfico (GPU, por sus siglas en inglés).
- *Pybrain*. Es una librería para tareas de aprendizaje reforzado, supervisado, no supervisado, redes neuronales y evolutivas.
- *NLTK*. Natural Language Toolkit es utilizado en el entorno de Python en el modelado lingüístico y la investigación, en subáreas de la inteligencia artificial, principalmente en el cómputo cognitivo. Esta librería es tendencia por su rendimiento en tareas de reconocimiento de patrones, etiquetado de texto, clasificación, análisis semántico, árboles de decisiones, regresión y otras tareas de inteligencia artificial.
- *OpenCV*. Es una biblioteca creada por Intel para el reconocimiento óptico, incluye funciones para el control gráfico en 2D y 3D, robótica móvil, reconocimiento de gestos, captura de video, realidad aumentada, análisis de regresión, clasificador Naive Bayes, aprendizaje reforzado, segmentación, seguimiento de movimiento, reconocimiento de rostros, algoritmos de identificación de objetos entre otros paquetes incluidos en su API para la integración los diferentes entornos de aplicación.
- *Keras*. Biblioteca especializada en la optimización de tareas complejas con redes neuronales y proyectos de aprendizaje automático y aprendizaje profundo. Su alto rendimiento permite aprovechar las capacidades y soporte de procesamiento distribuido sobre diversos CPU y GPU.

Más sobre IoT y analítica de datos

Existe gran cantidad de recursos de información para conocer más de IoT y la analítica de datos; por ello, presentamos en esta sección una recopilación de diversos cursos, tutoriales, blogs especializa-

dos y profesionales del área sobre los principios, fundamentos, métodos, procesos, herramientas y tecnologías que se conjugan para, que a partir de los datos recopilados con dispositivos IoT, se genere valor y riqueza en los procesos y servicios que empleamos en la cotidianidad.

Cursos y tutoriales

En este apartado se incluye una selección de cursos que se imparten en plataformas digitales como EDX, Coursera y Udemy, donde la principal característica es que ofrecen contenidos de calidad, están actualizados y son preparados por especialistas del área. Otro punto importante para destacar es la accesibilidad en el costo de estos cursos, puesto que la mayoría tiene un precio de alrededor de \$10 dólares americanos, mientras que otros son gratuitos, solamente con costo si se quiere obtener el diploma de certificación.

- IoT Data Analytics and Storage (<https://www.edx.org/es/course/iot-data-analytics-and-storage-4>). Este curso en la plataforma EDX se enfoca en tecnología de Microsoft y enseña a utilizar la nube de Azure como herramienta para analizar los datos recopilados por diversos dispositivos. El curso es de nivel intermedio, calendarizado con una duración de cuatro semanas y dirigido a universidades con convenio (entre ellas la Universidad de Colima), este curso se pueda tomar gratis y sólo se cobra la certificación.
- *Programming with Cloud IoT Platforms* (<https://es.coursera.org/learn/cloud-iot-platform>). Este curso se imparte en el prestigiado portal coursera.org y sus instructores de la son de la Universidad de Ciencia y Tecnología de Pohang (Corea del Sur). Se enfoca en las plataformas de IoT en la nube más populares, como Samsung Artik, Microsoft Azure, Amazon AWS IoT, IBM Watson IoT y Google Cloud IoT. Se puede tomar el curso de forma gratuita o registrarse con certificado incluido por menos de 600 pesos mexicanos.
- *IoT Masterclass y 5G. Preparándonos para la gran revolución* (<https://www.udemy.com/course/iot-masterclass/>). En este curso de Udemy, impartido por Pablo Sanz, se

pretende que el estudiante pueda crear y manejar sus propios *broker* en servidores virtuales privados (VPS, por sus siglas en inglés) para que no dependan de las plataformas en la nube de los grandes consorcios. Se basa en la experimentación con protocolos MQTT, placas de IoT basadas en ESP32 y Arduino, construcción de aplicaciones con NodeJS y PHP. Es un curso que va desde nivel principiante hasta avanzado, en español, a un precio accesible (menor a 200 pesos mexicanos).

- Big data, Cloud, Data Science, IoT, ML-iSMAC-All in One (<https://www.udemy.com/course/big-data-cloud-data-science-iot-ml-executive-summary/>). Este curso ofrecido en la plataforma Udemy, cubre una amplia gama de tecnologías que están interrelacionadas en las aplicaciones modernas y que requieren del procesamiento de grandes volúmenes para agregar valor a cualquier empresa. Se abordan como iSMAC (IoT, Social, Mobility, Analytics y Cloud). Es un buen recurso para la introducción a todas estas tecnologías emergentes, está en inglés y su precio no excede los 200 pesos mexicanos.

Mención aparte tienen los siguientes programas de formación, cuyo enfoque es más tradicional y son impartidos en instituciones de prestigio internacional; sí implican pago:

- *Artificial Intelligence. Cloud and Edge Implementations* (<https://www.conted.ox.ac.uk/courses/artificial-intelligence-cloud-and-edge-implementations>). Se imparte en la Universidad de Oxford, Reino Unido, es presencial, en dos periodos de aproximadamente un mes. Costo de 4 995 libras esterlinas (aproximadamente 123 000 pesos mexicanos).
- *Data Science Essential online short course* (<https://www.getsmarter.com/courses/us/berkeley-data-science-essentials-online-short-course>). Se imparte en la plataforma digital de la Escuela de Información de la Universidad de California en Berkeley, Estados Unidos. Es un curso en línea con duración de seis semanas. Su costo es de 1 900 dólares americanos (aproximadamente 36 500 pesos mexicanos).

Foros y portales especializados

Otra gran opción para aprender y mantenerse al tanto de los nuevos avances son los foros de discusión, *blogs* y portales especializados, entre ellos:

- *Towards Data Science* (<https://towardsdatascience.com/>). Es uno de los mejores portales especializados del área, administrado por una corporación de origen canadiense y es un espacio virtual donde expertos de distintas áreas, relacionadas con la ciencia de datos, comparten sus conocimientos y crean discusiones sobre el tema. El portal destaca por la variedad y actualidad de los artículos que publica.
- *Kaggle.com* (<https://www.kaggle.com/>). Es una entusiasta comunidad *online* de expertos e interesados en la ciencia de datos, inteligencia artificial y el *Big Data*. Es un gran recurso para compartir, participar en competencias, utilizar *datasets* públicos, emplear *kernels* (para interpretar *scripts* en Python, R o Julia) y aprender con tutoriales, paso a paso, usando cuadernos de Jupyter Notebook. Fue adquirido por Google en 2017, por lo que muchas de sus tecnologías como BigQuery y TensorFlow tienen gran integración en esta plataforma.
- *Hackernoon.com* (<https://hackernoon.com/>). El portal se autodefine como un sitio independiente de medios tecnológicos, es un espacio para compartir y aprender sobre las nuevas tendencias tecnológicas, además de contar con gran cantidad de *posts* acerca de IoT, Data Science y temas relacionados.
- *Medium* (<https://medium.com/>). Es una plataforma para publicación y difusión de historias de varios temas, particularmente sobre Data Science e IoT; además cuenta con comunidades especializadas sobre estos temas.
- *Open Data Science* (<https://odsc.com/>). Es una comunidad abierta que busca reunir a los mejores y más brillantes científicos de datos bajo un mismo techo para una increíble experiencia de aprendizaje y trabajo en red. Mediante una serie de encuentros y conferencias internacionales en

las diferentes regiones del planeta, integran esfuerzos que favorezcan el intercambio de ideas innovadoras y permitan el crecimiento de plataformas de software de código abierto especializadas en la ciencia de datos.

- *Data Science Central* (<https://www.datasciencecentral.com/>). Es un recurso en línea sobre la industria de la ciencia de datos para profesionales de la información, desde estadísticas hasta análisis, desde aprendizaje automático hasta inteligencia artificial. Proporciona una experiencia comunitaria que incluye una rica plataforma editorial, interacción social, soporte basado en foros, incluyendo la información más reciente sobre tecnología, herramientas, tendencias y carreras. Esta comunidad cuenta con una amplia gama de contenidos y publicaciones de índole científica sobre los nuevos avances en cada una de las ramas relacionadas con la ciencia de datos.
- *Harvard Data Science Review* (<https://hdsr.mitpress.mit.edu/>). Es una revista digital de acceso abierto que salió a la luz en julio de 2019, es editada por la Harvard Data Science Initiative y publicada por el MIT Press. En esta revista especializada en ciencia de datos se abordan temas como debates, investigación teórica y metodológica, avances y desafíos de la educación. Tiende a ser un referente académico de calidad.
- *People to Follow* (Personas a seguir). Se incluye una compilación de enlaces a los perfiles de diversos profesionales que son *influencers* en el mundo de IoT y *data science*. Para la selección de estos especialistas se ha considerado su presencia en redes sociales como Twitter o Linkedin, la cantidad de seguidores que tienen, así como la temática y frecuencia de sus publicaciones.
- *Kirk Borne* (<https://twitter.com/KirkDBorne>). Es un científico de datos que expone en diversos foros internacionales temas de *Big Data*, Inteligencia artificial e IoT, y utiliza su cuenta de Twitter para divulgarlos. Tiene más de 240 000 seguidores.

- *Tamara McCleary* (<https://twitter.com/TamaraMcCleary>). Es una experta en *branding* internacional, futurista tecnológica, consultora de marketing digital y CEO de Thulium. Se ubica en diversas listas de personas destacadas: la número 5 en inteligencia artificial, robótica e IoT; en la posición 15 en Machine to Machine (M2M) y en el lugar 50 de *Big Data, Blockchain* y como *influencer* de transformación digital. Tiene más de 300 000 seguidores.
- *Ronald van Loon* (https://twitter.com/Ronald_vanLoon). Es director de Adversitement, una empresa consultora en innovación de negocios digitales. Está dentro del lugar 10 de *influencers* del área de *Big Data, Data Science, Data Analytics* IoT e inteligencia de negocios. Cuenta con más de 200 000 seguidores en Twitter.
- *Mike Quindazzi* (<https://twitter.com/MikeQuindazzi>). Es líder de desarrollo empresarial innovador para las alianzas y servicios digitales de la empresa PwC en Estados Unidos. Dentro de su contenido en Twitter se pueden destacar temas como inteligencia artificial, IoT y robótica. Cuenta con más de 130 000 seguidores.
- *Evan Kirstel* (<https://twitter.com/evankirstel>). Es líder de pensamiento B2B e *influencers* de alta tecnología con seguimiento directo en las redes sociales, con más de 260 000 seguidores en Twitter. Dentro los temas de interés están el *blockchain*, la nube, 5G, HealthTech, IoT, AI, salud digital, criptografía, AR, VR, *Big Data*, analítica de datos y ciberseguridad.
- *Rob Tiffany* (<https://twitter.com/RobTiffany>). Es director de tecnología y gerente de producto global de la plataforma Lumada IoT de Hitachi. Se describe como un empresario, ejecutivo, arquitecto, desarrollador, estratega y escritor de libros sobre tecnologías móviles e inalámbricas. Los temas que divulga en su cuenta de Twitter abarcan IoT y la inteligencia artificial.

Otros perfiles interesantes para seguir también en Twitter son:

- @IDC - IDC.com
- @kaggle - Kaggle.com
- @kdnuggets - KDNuggets
- @DataScienceCtrl - DataScience Central
- @TDataScience - Towards Data Science
- @iotbusinessnews - IoT Business News
- @jblefevre60 - Jean-Baptiste Lefevre
- @MxDatalab - Data Lab Mx
- @moaimx - Irving MA
- @HasselFallas - Hassel Fallas.

Conclusiones

Diversas empresas consultoras dan cifras que evidencian un franco crecimiento en la inversión y adopción de tecnologías de IoT, así como del número de dispositivos conectados a Internet. Mark Hung (Gartner, 2017), vicepresidente de investigación de Gartner, proyectaba que para el año 2020 se tendrán 20 billones¹¹ de cosas conectadas a Internet. La empresa Oracle (2015) pronosticaba en 2015 que para este mismo 2020 se estarían generando 4.4 Zettabytes (ZB)¹² de datos en el mundo.

En otro estudio, la influyente consultora IDC (2019c) señaló que para el año 2025 se tendrían 41.6 billones de dispositivos IoT, mismos que estarían generando la impresionante cantidad de 79.4 Zettabytes (ZB) de datos; es decir, en tan sólo cinco años (de 2020 a 2025) la cantidad de dispositivos se estarían duplicando y los datos que se generarían se estaría multiplicando un poco más de 18 veces. Estas predicciones de crecimiento son espectaculares, lo cual reafirma que IoT, la inteligencia artificial y el *Big Data* son tendencias que van de la mano, que los datos son el combustible que alimenta IoT y esta percepción se extiende aún más si considera-

¹¹ Estas cifras son para Estados Unidos, donde un billón equivale a mil millones: 1 000 000 000 (nueve ceros), mientras que un trillón es 1 000 000 000 000 (doce ceros).

¹² Un Zettabyte es equivalente a 1 000 Exabytes, a un millón de Petabytes o a un trillón de GB; es decir, 1 000 000 000 000 GB. Para mayor información consúltese <https://whatsabyte.com/P1/byteconverter.htm> para equivalencias de bytes.

mos la frase incluida en el libro de Amita Kappor (2019): “Si la IA es la nueva electricidad, los datos son el nuevo carbón y IoT representa las nuevas minas de carbón”.

Para finalizar, cabe mencionar que las expectativas son grandes y que la popularidad de IoT va creciendo a lo largo del mundo de los negocios y de la industria, y a la vez va permeando diferentes esferas de nuestra vida, como los servicios del gobierno, la educación, la salud e incluso en nuestros hogares, donde ya es común tener varios dispositivos conectados a Internet. Como profesionales e interesados en estas áreas de estudio, nos motiva a seguirnos preparando y actualizando, puesto que se desprenderán nuevos roles y profesiones, necesarias en el ámbito profesional.

Referencias

- Kelleher, J.D., and Tierney, B. (2018) *Datascience*. The MIT Press Essential Knowledge Series. ISBN 0262535432. 280 pp.
- Robinson, D. (2018). *What's the Difference Between Data Science, Machine Learning, and Artificial Intelligence?* Blog VarianceExplained.org. Recuperado de: <http://varianceexplained.org/r/ds-ml-ai/>
- Rusell, S., and Norvig, P. (2020). *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. 4ta ed. Editorial Pearson. ISBN 0134610997.
- Minter, A. (2017). *Defining IoT Analytics and Challenges*. In *Analytics for the Internet of Things (IoT)*. Packt Publishing Ltd.
- Kosan, L. (2019). *Top IoT Data Analytics Platforms*. Recuperado de: <https://www.iotworldtoday.com/2019/07/10/top-iot-data-analytics-platforms/>
- Centro de Estudios de Telecomunicaciones de América Latina (Cet.la) and Deloitte Consulting (2018). *IoT para el sector empresarial en América Latina*. Cet.la.
- SoftwareTesting (2019). *10 Best IoT Platforms to Watch Out in 2019*. Recuperado de: <https://www.softwaretestinghelp.com/best-iot-platforms/>
- IoT One (2018). *Top 500 Industrial IoT Companies en IoT One Report 2018*. Recuperado de: [https://www.iotone.com/files/pdf/newhome/IoT ONE 500 and IoT ONE 10 \(2018\) - Top Industrial IoT companies.pdf](https://www.iotone.com/files/pdf/newhome/IoT ONE 500 and IoT ONE 10 (2018) - Top Industrial IoT companies.pdf)
- IoT One (2019). *Comparativa de los 4 grandes de la industria: Google, Microsoft, Amazon e IBM*. Recuperado de: <https://www.iotone.com/supplier/compare/google,oracle,microsoft,amazon-web-services,ibm/v36,v48,v59,v11,v41>
- Subramania, J. (2019). *IDC MarketScape: Microsoft a Leader in IIoT Platforms for Manufacturing and Energy*. Microsoft Industry Blogs. Recuperado de: <https://cloudblogs.microsoft.com/industry-blog/>

- manufacturing/2019/07/10/idc-marketscape-microsoft-a-leader-in-iiot-platforms-for-manufacturing-and-energy/
- IDC (2019a). *IDC MarketScape: Worldwide Industrial IoT Platforms in Manufacturing 2019 Vendor Assessment*. Excerpt Features Microsoft. Recuperado de: http://idcdocserv.com/US45116819e_Microsoft
- IDC (2019b). *IDC MarketScape: Worldwide Industrial IoT Platforms in Energy 2019 Vendor Assessment*. Excerpt Features Microsoft. Recuperado de: http://idcdocserv.com/US45116919e_Microsoft
- Sam, G. (2015). *Microsoft Azure IoT Suite-Connecting Your Things to the Cloud*. Blog de Microsoft Azure. Recuperado de: <https://azure.microsoft.com/es-mx/blog/microsoft-azure-iot-suite-connecting-your-things-to-the-cloud/>
- IBM Cloud (2019). IBM Cloud y Watson IoT Platform. Recuperado de: <https://cloud.ibm.com/docs/services/IoT?topic=iot-platform-iot-cloud-index>
- Santos, M., and Moura, E. (2019). *Understanding IoT and Developing Devices on the IBM Watson IoT Platform*. Hands-On IoT Solutions with Blockchain. Packt Publishing Ltd.
- PopularitY of Programming Language Index (PYPL) (2019). Recuperado de: <http://pypl.github.io/PYPL.html>
- Marston E. (2019). Use of Python in Data Science. In: *Python for Data Analysis: Tutorial for Beginners*. Python Series. ISBN 1077024274.
- VanderPlas, J. (2016). *Python Data Science Handbook. Essential Tools for Working with Data*. O'Reilly Media.
- Mehta, H. (2015). Chapter2: Beginning with NumPy Fundamentals. In: *Mastering Python Scientific Computing a Complete Guide for Python Programmers to Master Scientific Computing Using Python APIs and Tools* (pp. 30-32). Birmingham, UK: Packt Publishing.
- Scipy.org (2019). *SciPy-SciPy v1.3.1 Reference Guide*. Recuperado de: <https://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/>.
- Anthony, F. (2015). Chapter 1. A Tour of Pandas. Pandas and why it is Important. In: *Mastering Pandas: Master the Features and Capabilities of Pandas, a Data Analysis Toolkit for Python*. Birmingham, UK: Packt Publishing.
- Devert, A. (2014). Chapter 1. First Steps. Introduction. In: *Matplotlib Plotting Cookbook Learn How to Create Professional Scientific Plots Using Matplotlib, with More than 60 Recipes that Cover Common Use Cases*. Birmingham, UK: Packt Pub.
- Scikit-learn (2019). *Scikit-Learn Tutorials - Scikit-Learn 0.21.3 Documentation*. Recuperado de: <http://scikit-learn.org/stable/tutorial/index.html>.
- Gartner. (2017). *Leading the IoT. Gartner Insights on How to Lead in a Connected World*. Gartner Research. Recuperado de: https://www.gartner.com/imagesrv/books/iot/iotEbook_digital.pdf

- Oracle (2015). *Energize Your Business with IoT Enabled Applications*. Oracle Internet of Things Cloud Service. Recuperado de: <http://www.oracle.com/us/dm/oracle-iot-cloud-service-2625351.pdf>
- IDC (2019c, junio 18). *The Growth in Connected IoT Devices Is Expected to Generate 79.4ZB of Data in 2025, According to a New IDC Forecast*. En: IDC.com. Recuperado de: <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS45213219>
- Kapoor, A. (2019). Principles and Foundations of IoT and AR. En: *Hands-On Artificial Intelligence for IoT*. Pack-Publishing Ltd. ISBN-13: 978-1788836067
- Jupyter.org (2019). Project Jupyter. Portal web oficial de Jupyter Lab y Jupyter Notebooks. Recuperado de: <https://jupyter.org/index.html>
- Apache Zeppelin (2019). Portal web oficial del proyecto Apache Zeppelin. Recuperado de: <https://zeppelin.apache.org/>
- Polynote. (2019). Polynote Notebook. Repositorio oficial en GitHub. Recuperado de: <https://github.com/polynote/polynote>
- Smith, J.; Indig, J., and Siddiqi, F. (2019). *Open-Sourcing Polynote: an IDE-Inspired Polyglot Notebook*. Netflix Technology Blog. Recuperado de: <https://medium.com/netflix-techblog/open-sourcing-polynote-an-ide-inspired-polyglot-notebook-7f929d3f447>

Capítulo VIII. Más allá de IoT: La ciencia de datos y su poder predictivo aplicado a la educación

Osval Antonio Montesinos-López
Francisco Javier Luna-Vázquez
Raymundo Buenrostro Mariscal
Carlos Alberto Flores Cortés
Josaphat Salinas-Ruiz

Introducción

Día con día, consciente o inconscientemente, generamos gran cantidad de información debido al desarrollo tecnológico de los últimos años, donde el costo de producción es cada vez más accesible, permitiendo incrementar las velocidades de cómputo y de transmisión de los datos, así como el desarrollo de aplicaciones de IoT; dichos datos se almacenan al momento y es aquí donde la ciencia de los datos toma relevancia para extraer conocimiento útil para ayudar en la toma de decisiones.

La ciencia de los datos es una disciplina en auge, permite manejar la información para conocer más de un fenómeno en particular, facilitando la toma de decisiones. La ciencia de los datos integra los campos de la estadística, *machine learning* (aprendizaje automático) y minería de datos (Kozyrkov, 2018). El objetivo de este capítulo es dar a conocer las herramientas disponibles en el software estadístico *R*, que permiten realizar ciencia con los datos desde ambas perspectivas: asociativa y predictiva.

Molina (2002) menciona que los datos tienen que verse como la materia prima bruta, y la ciencia de los datos como una herramienta para extraer de ellos la esencia de los patrones que dan significado, y usarlos para poder ver más de lo que asimile vis-

ta no se puede ver, y de esta manera reducir las probabilidades de error en la toma de decisiones. Por ello, la ciencia de datos es una herramienta que da valor agregado a la información.

En esencia, la ciencia de los datos trabaja con ciertos patrones, comportamientos o secuencias (también conocidas como asociaciones) que puedan ser modeladas por una metodología para comprender mejor la magnitud de los datos para la adecuada toma de decisiones. Esta disciplina es importante en áreas de la educación, ciencia e industria, astronomía y agronomía, entre otras. A continuación, se muestran algunos ejemplos donde la ciencia de los datos puede ser aplicada:

- Predecir el comportamiento del precio de una criptomoneda en los próximos seis meses con base en los datos del mercado actual y su comportamiento histórico.
- Identificar números o letras escritas en una imagen digitalizada.
- Estimar la cantidad de glucosa en la sangre de una persona diabética utilizando luz infrarroja.
- Identificar el factor de riesgo de un edificio por impacto de un fenómeno natural (terremotos, huracanes, etcétera).
- Estimar la eficiencia educativa de una escuela, sector o municipio basándose en datos demográficos y socioeconómicos.
- Predecir el rezago educativo nacional basándose en datos demográficos y socioeconómicos, así como su comportamiento pasado.
- Identificar los factores de riesgo para contraer cáncer.
- Clasificar tipos de cáncer con la información de imágenes tomadas en cientos de pacientes.
- Identificar los factores que afectan significativamente la falta de precipitación pluvial en una región determinada.
- Clasificar estrellas como planetas o no planetas con base en la información de cientos de imágenes.
- Clasificar los tipos de cerveza con base en variables sensoriales e imágenes tomadas en una muestra de cervezas.
- Predecir el estado del tiempo con base en información medioambiental.

Sin embargo, para que las aplicaciones sean exitosas deben tomarse en consideración diversos factores, como la calidad y cantidad de datos disponibles para entrenar una máquina predictiva, el ruido en las mediciones de la muestra de entrenamiento, el tipo de variable-respuesta (binaria, ordinal, de conteo o continua) y el entendimiento del problema que se desea estudiar para la elección correcta de las variables predictivas o independientes; también está el factor del algoritmo, utilizado para realizar la tarea de asociación y predicción. Cuidando todos estos factores, en teoría es factible predecir cualquier fenómeno con un margen de certeza muy alto; sin embargo, en la realidad, en la mayoría de los casos no es fácil tener control de dichos factores y, por lo tanto, en ocasiones no es factible desarrollar máquinas predictivas o asociativas eficaces, pero cabe mencionar que, pese a que muchos de estos factores no son siempre fáciles de controlar, es posible desarrollar máquinas predictivas en algunas áreas del conocimiento, que superan la capacidad de los humanos.

El tipo de aplicaciones no sólo es en las ciencias básicas, sino también en áreas de las ciencias sociales y económicas; por ejemplo, en el área de los negocios sirve para detectar errores o fraudes de manera rápida y eficiente, y así mitigar pérdidas, lo cual ayuda a que la empresa sea más competitiva desarrollando mejores estrategias contra competidores en tiempos más cortos ofreciendo un conocimiento profundo sobre las tendencias de compra entre los consumidores. Además, los datos recolectados y usados adecuadamente permiten ofrecer mejores y mayores servicios al cliente logrando un beneficio mutuo. Por otra parte, en el área de las ciencias sociales, como el área educativa, permite encontrar factores de riesgo en los estudiantes que pueden desertar del sistema educativo, lo cual es fundamental para poder diseñar estrategias que permitan corregir estos factores y de esta manera disminuir la deserción escolar. También sirve para desarrollar máquinas predictivas que pueden ayudar a identificar de manera anticipada cuáles y cuántos estudiantes desertarán en una cierta institución, para de esta manera intervenir a tiempo o identificar desde el proceso de admisión a aquellos estudiantes con alto riesgo de deserción.

Es importante mencionar que para aquellos no familiarizados con la ciencia de los datos, no es fácil extraer conocimiento útil de los datos recolectados para mejorar la toma de decisiones, pero la buena noticia es que cada vez es más sencillo hacerlo gracias al avance en el desarrollo de herramientas de *software* para el procesamiento, análisis e interpretación de los resultados. En este capítulo a través de una aplicación para el área de educación desde el enfoque descriptivo, asociativo y predictivo, se muestra cómo algunas herramientas de ciencia de datos pueden ser utilizadas para describir, asociar (identificación de factores de riesgo) y predecir el desempeño de los estudiantes de nivel básico.

Clasificación de métodos para el análisis de datos

Descriptiva

Los métodos en la parte descriptiva o análisis exploratorio ayudan a presentar los datos de manera que resalte su estructura. Existen varias maneras sencillas de presentarlos, muchas de ellas se pueden mostrar en formas de gráficos que permitan encontrar las características más sobresalientes, así como los eventos raros (*outliers*); además, existen algunos métodos —como el análisis factorial exploratorio— que permiten agrupar las variables (o ítems) de un conjunto de datos para resaltar las correlaciones en su estructura.

Orellana (2001) menciona que explorar los datos debe de ser la primera etapa de todo análisis. Esto se debe a que las computadoras trabajan con los datos en la manera que han sido programadas, si existen datos erróneos, perdidos o mal presentados, serán procesados y en ocasiones será difícil detectar el error. Mucho del análisis descriptivo consiste en calcular medidas de tendencia central (media, mediana y moda) y de dispersión (varianza, desviación estándar, mínimo, máximo, rango, coeficiente de dispersión) a nivel poblacional o de grupos.

Asociativa

La tarea de la parte asociativa es encontrar los atributos (variables independientes) que se encuentran relacionados a la variable dependiente. En muchos casos se utiliza para identificar aquellos factores que más influyen en el fenómeno de interés (variable res-

puesta); por ejemplo, para la identificación de los factores que se asocian al padecimiento de cáncer de algún tipo o para identificar qué variables se asocian con la pobreza. Una vez identificadas, se pueden desarrollar estrategias para la disminución o control del fenómeno bajo estudio (Molina y García, 2008) o para desarrollar modelos predictivos.

Predictiva

Va en aumento este tipo de métodos que persiguen desarrollar máquinas predictivas eficaces a partir de una muestra de entrenamiento, que consiste en tener un vector de variable dependiente (y =salida) y una matriz de variables predictoras o independientes (x) que resulta de medir en cada uno de los individuos de la muestra, tanto las variables independientes (x) como las variables dependientes (y). Por ello, estos métodos son clave para probar hipótesis científicas en todas las áreas de la ciencia. Los métodos predictivos modelan los datos, de tal manera que se pueda pronosticar la característica de un evento a futuro, utilizando únicamente las observaciones obtenidas anteriormente (de entrenamiento) con cierto grado de confianza, que por supuesto tiene que ser mejor que el azar.

Evaluación de la eficiencia predictiva

Para evaluar la capacidad predictiva de los modelos, sin necesidad de recurrir a la realidad, existen diversos métodos, como la comparación de los parámetros obtenidos con los de un modelo físico-teórico o a través de simulaciones; sin embargo, también existen métodos más sencillos y útiles, como la validación cruzada que, de manera general, consiste en: dividir en k -grupos similares a la muestra bajo estudio y utilizar $k-1$ grupos para entrenar el modelo y predecir el grupo restante, cuidando que a cada grupo le toque exactamente una vez como entrenamiento y *testing* (prueba), y reportar el promedio de los k grupos de prueba como una forma de predecir nuevas observaciones no usadas para entregar a los datos. La ventaja de este método, para evaluar la capacidad predictiva, radica en que se aplica sobre los datos de entrenamiento que se tienen (Orellana, 2001). Es importante resaltar que existan va-

rios métodos para evaluar la capacidad predictiva de los modelos, pero el de validación cruzada es de los mejores y más populares.

Clasificación de los tipos de variables

Existen dos métodos para la clasificación de las variables medidas:

- *Mediciones discretas.* La variable sólo puede tomar un cierto conjunto de valores posibles dentro de los números enteros. Por ejemplo, el número de accidentes automovilísticos por año, la cantidad de asaltos por municipio o estado, el ingreso o gasto familiar, etcétera; es decir se tratan de conteos para una unidad específica.
- *Mediciones continuas.* La variable puede tomar (teóricamente) un conjunto infinito de valores posibles dentro de un rango, aunque en la realidad estos valores se ven limitados por la precisión del método de medición. Por ejemplo, la altura de un individuo, la temperatura de una región, el voltaje de cierto sistema, la presión arterial, etcétera.

Orellana (2001) menciona la importancia de la distinción entre estas dos categorías para decidir cuál análisis se deberá de implementar, debido a que existen métodos que suponen que los datos son continuos; sin embargo, si las mediciones discretas se encuentran entre un amplio rango de valores, estas pueden considerarse como continúas debido a que el número de valores posibles es grande. Por ejemplo, en cuestiones de edad, si la edad va de los 18 años a los 80 años, entonces puede ser tratada como continua; sin embargo, si la edad es de un grupo muy específico como los jóvenes entre 15 y 19 años, entonces esta variable deberá de ser tratada como discreta, excepto si se registra en meses, entonces nuevamente puede tratarse como continua.

Las variables categóricas, a diferencia de las variables numéricas, registran una cantidad muy reducida de respuestas. Estas deben de cumplir con una serie de requisitos: ser claras, es decir, que no exista ambigüedad entre las propias respuestas; deben de ser mutuamente excluyentes, es decir, que responder una de estas categorías implique que únicamente puede ser esa y solo esa la respuesta dentro de las respuestas posibles; y finalmente, debe de existir una categoría para clasificar a todo individuo.

Mencionado lo anterior, es importante contemplar todas las posibles respuestas por parte de los individuos que se planean medir, así como incluir una categoría donde se puedan registrar los eventos atípicos. Por ejemplo, supongamos que se desea aplicar una encuesta de intención de voto por uno de los 4 candidatos a la presidencia de la República, el nombre de cada candidato y el partido al que representan forma parte de la respuesta, de esta manera, las respuestas a registrar serían: candidato 1-Partido A, candidato 2-Partido B, candidato 3-Partido C, candidato 4-Partido D, y una respuesta extra para considerar cualquier evento atípico: No sabe/otros. De esta forma, logramos considerar todas las opciones posibles del individuo, si el individuo no sabe el nombre del candidato, pero sí al partido por el que quieren votar, entonces será más sencillo ubicar su respuesta, así como si el individuo desconoce por quién votar o desea votar por otro candidato que no se haya registrado, entonces tenemos claro donde contar su respuesta. Si queremos separar al grupo de indecisos del grupo de que desea votar por otro candidato, entonces se deberá de separar la respuesta en dos, teniendo en total seis categorías para la encuesta.

También dentro de las variables categóricas existe distinción entre la cantidad de respuestas y su orden, y se clasifican de la siguiente manera:

- *Mediciones con dos categorías (binarias o dicotómicas).* La respuesta consta de dos posibles valores, en general se trata de presencia-ausencia de la respuesta que se desea considerar y se recomienda usar un código para distinguir las respuestas; por ejemplo, No o 0 para la ausencia y Sí o 1 para la presencia, de esta manera se facilita la captura de la información. Algunos ejemplos de este tipo de mediciones pueden ser: enfermo o no enfermo; estudia o no estudia; masculino o femenino, entre otros.
- *Mediciones con más de dos categorías.* Este tipo de respuestas se divide según el orden de las respuestas. *Categorías nominales:* no existe un orden entre las categorías; por ejemplo, nombres de los candidatos a un puesto, estado civil, nacionalidad, etcétera. *Categorías ordinales:* existe un orden entre las categorías; por ejemplo, nivel satis-

facción: nada satisfecho, poco satisfecho, satisfecho, muy satisfecho, completamente satisfecho; jerarquía militar: soldado raso < soldado de primera < cabo < sargento segundo < sargento primero < subteniente, etcétera. Algo muy importante a considerar en las categorías ordinales es que, aunque los datos puedan ser codificados como números —por ejemplo, en el tipo de diabetes (diabetes I, II y III)—, es importante que al momento de presentar los resultados se eviten frases como la diabetes III es dos veces más grave que la diabetes I o que la diferencia entre diabetes tipo I y tipo II es la misma que entre diabetes tipo II y tipo III. A diferencia de las categorías numéricas donde podemos decir que la edad de una persona es doble o triple de otra y la diferencia de un año es la misma a través del rango de edades. Por ello se debe de tener mucho cuidado al tratar con este tipo de variables, así como la presentación de este tipo de información.

Importancia del análisis predictivo en la educación

El análisis predictivo es todo un reto, ya que dependiendo del investigador y sus metodologías los resultados pueden variar (un poco o mucho), por lo que este tipo de investigaciones en ocasiones se vuelven complicadas. Ahora, respecto a las evaluaciones educativas, se supone que se encuentran estandarizadas de tal manera que todos los estudiantes tengan las mismas oportunidades de obtener buenas notas; sin embargo, en la realidad ¿es esto verdad? ¿Realmente estamos mejorando en el ámbito educativo? Responder estas preguntas puede resultar complicado, ya que sería necesario realizar una investigación amplia y monitoreada a través del tiempo, que nos arroje mejores indicadores acerca de lo que pasa en las aulas en sus diferentes niveles; sin embargo, la ciencia de datos es una aliada importante para resolver, de mejor manera, este tipo de preguntas. Por ello, para ilustrar el uso de la ciencia de datos en el ámbito educativo, se presenta el siguiente caso de investigación, donde se estudian las evaluaciones en dos años y se aborda el estudio desde el ámbito descriptivo, asociativo y predictivo. Para el caso predictivo se analizan varios modelos

para demostrar que no existe un modelo universal que produzca las mejores capacidades predictivas.

DATOS DE LA EVALUACIÓN ESTANDARIZADA PLANEA COLIMA 2015-2016

La muestra para esta investigación se obtuvo de los resultados del examen PLANEA para los años 2015 y 2016 de los niveles de primaria y secundaria para el estado de Colima, disponibles en la página web del Plan Nacional para la Evaluación de los Aprendizajes.^{13,14}

Para primaria, la base de datos con la que se trabajó contiene la siguiente información: en el año 2015 se evaluaron para la asignatura de matemáticas un total de 11 414 alumnos en 455 planteles. Las escuelas se encuentran divididas en cuatro turnos; de los cuales, en el matutino son 104 escuelas con 3 364 alumnos, en el vespertino son 106 escuelas con 2 883 alumnos, de tiempo completo son 244 escuelas con 5 161 alumnos y en el nocturno sólo es una escuela con seis alumnos. El tipo al que pertenecen las escuelas evaluadas son tres; de los cuales, 404 son escuelas públicas con 10 572 alumnos, 38 son escuelas privadas con 824 alumnos y 13 son escuelas comunitarias con 18 alumnos. Por otro lado, el grado de marginación es bajo en 110 escuelas con 3 538 alumnos, medio en 89 escuelas con 2 968 alumnos, alto o muy alto en 61 escuelas con 1 310 alumnos y quedaron sin identificar 195 escuelas con 3 598 alumnos.

Mientras que en el año 2016 se evaluaron para la asignatura de matemáticas un total de 12 312 alumnos en 440 planteles, las escuelas divididas en cuatro turnos: en el matutino son 102 escuelas y con 3 248 alumnos, el vespertino son 95 escuelas con 2 923 alumnos, de tiempo completo son 241 escuelas con 6 121 alumnos y en el nocturno son dos escuelas con 20 alumnos. El tipo al que pertenecen son tres: 384 son escuelas públicas con 11 382 alumnos, 41 son privadas con 904 alumnos y 15 son comunitarias con 26 alumnos. Por otro lado, el grado de marginación es muy bajo en 233 escuelas con 8 181 alumnos, bajo en 97 escuelas con 2 895 alumnos, medio en 70 escuelas con 951 alumnos, alto en 39 escuelas con 281 alumnos y muy alto en una escuela con cuatro alumnos.

13 http://planea.sep.gob.mx/ba/base_de_datos_2016/

14 http://planea.sep.gob.mx/ba/base_de_datos_2015/

A nivel secundaria, en el año 2015 se evaluaron para la asignatura de matemáticas un total de 5 847 alumnos en 169 planteles, las escuelas se encuentran divididas en cinco turnos: en el matutino son 78 escuelas con 3 364 alumnos, el turno vespertino son 27 escuelas con 1 404 alumnos, de tiempo completo son 56 escuelas con 911 alumnos, de turno discontinuo es una escuela con 70 alumnos y las de turno nocturno son siete escuelas con 98 alumnos. El tipo al que pertenecen las escuelas evaluadas son cinco: 52 son escuelas generales públicas con 2 891 alumnos, 30 son escuelas técnicas públicas con 1 547 alumnos, 24 son escuelas privadas con 592 alumnos, ocho son escuelas comunitarias con 14 alumnos y finalmente son 55 escuelas telesecundarias con 803 alumnos. Por otro lado, el grado de marginación es bajo en 55 escuelas con 55 alumnos, medio en 29 escuelas con 1 302 alumnos, alto o muy alto en 18 escuelas con 749 alumnos y quedaron sin identificar 67 escuelas con 1 178 alumnos.

Mientras que en el año 2016 se evaluaron para la asignatura de matemáticas un total de 9 763 alumnos en 167 planteles, las escuelas se encuentran divididas en cinco turnos: 75 del matutino con 6 380 alumnos, en el vespertino son 26 escuelas con 2 043 alumnos, de tiempo completo son 61 escuelas con 1 186 alumnos, del turno discontinuo es una escuela con 85 alumnos y las del nocturno son cuatro escuelas con 69 alumnos. El tipo al que pertenecen son cinco, de las cuales 47 son escuelas generales públicas con 5 349 alumnos, 30 son técnicas públicas con 2 726 alumnos, 25 son privadas con 744 alumnos, cuatro son escuelas comunitarias con seis alumnos y finalmente, 61 son telesecundarias con 938 alumnos. Por otro lado, el grado de marginación es muy bajo en 78 escuelas con 78 alumnos, bajo en 39 escuelas con 2 100 alumnos, medio en 39 escuelas con 827 alumnos y alto en 11 escuelas con 211 alumnos.

La variable respuesta es el nivel de logro, la cual se trata de una variable ordinal con las siguientes opciones de respuesta: insuficiente, elemental, satisfactorio y sobresaliente; es decir, cada alumno recibe una calificación en uno de estos cuatro niveles de logro para la asignatura de matemáticas. Los niveles seleccionados para el análisis son sexto grado a nivel primaria y en tercer grado a nivel secundaria.

Análisis

La variable respuesta estudiada fue el nivel de logro en la asignatura de matemáticas, con alumnos de primaria y secundaria, misma que se reduce a las cuatro categorías ya mencionadas: I = insuficiente, II = elemental, III = satisfactorio y IV = sobresaliente. Primeramente, se realizó un análisis descriptivo basado en las frecuencias absolutas y relativas, y frecuencias acumuladas y relativas acumuladas para cada una de las categorías, para la combinación del tipo de escuela (primaria o secundaria) y año de evaluación (2015 y 2016). Después se implementó un análisis asociativo para identificar cuáles factores (tipo de escuela, grado evaluado, nivel de marginación, turno, municipio, número de alumnos evaluados y año) son los que más influyen en el desempeño escolar, esto se realizó a través de la regresión multinomial.

Finalmente, se implementó un análisis predictivo para determinar si es posible predecir el nivel de logro de los alumnos en matemáticas, mediante una validación cruzada con 20 particiones aleatorias. Se evaluaron varios tipos de máquinas predictivas: (a) un modelo Bayesiano llamado *Genomic Best Linear Unbiased Predictor* (GBLUP); (b) *Support Vector Machines* (SVM), que se implementó en la librería e1071, y *Caret*, bajo tres tipos de *kernels* (lineal, polinomial y gaussiano); (c) el método K-vecinos cercanos, que se implementó usando la librería *Caret*; y (d) *Diagonal Linear Discriminant Analysis* (DLDA). Los detalles de cada uno de estos métodos pueden ser encontrados en libros clásicos de aprendizaje automatizado y estadística.

Resultados

Análisis descriptivo

Para conocer un poco más a detalle los resultados de la evaluación PLANEA en el estado de Colima, en el cuadro 1 se muestra que en el nivel de primaria, en el año 2015, la categoría I (conocimiento insuficiente) ha sido la más alta con 367 instituciones; por otro lado, la categoría más baja es la III (conocimiento satisfactorio) con 22 instituciones. Para el año 2016, la categoría I nuevamente obtuvo la mayor cantidad de instituciones con este desempeño,

con un total de 337 instituciones, aunque al ser comparada con el año anterior se redujo un 8.17%; mientras que la menor cantidad de instituciones se concentran en la categoría II (conocimiento elemental) con 29 instituciones. Por otro lado, para la secundaria, en 2015, la categoría III obtuvo la menor concentración de instituciones con cuatro instituciones y la categoría I fue la mayor con un total de 146 instituciones. Finalmente, para el año 2016, se puede observar que la categoría con la mayor concentración de instituciones es nuevamente la categoría I con un total de 109 instituciones (25% menos que el año anterior), mientras que la categoría con menor concentración de instituciones es también (por segundo año consecutivo) la categoría III con 8 instituciones (el doble en comparación que el año anterior).

Cuadro 1. Frecuencias de las categorías obtenidas como resultado de la evaluación PLANEA

| Nivel | Año | Categoría | Frecuencia | | | |
|------------|------|-----------|------------|-----------|----------|--------------------|
| | | | Absoluta | Acumulada | Relativa | Relativa acumulada |
| Primaria | 2015 | I | 367 | 367 | 0.298 | 0.298 |
| | | II | 28 | 395 | 0.023 | 0.321 |
| | | III | 22 | 417 | 0.018 | 0.339 |
| | | IV | 38 | 455 | 0.031 | 0.370 |
| | 2016 | I | 337 | 792 | 0.274 | 0.643 |
| | | II | 29 | 821 | 0.024 | 0.667 |
| | | III | 34 | 855 | 0.028 | 0.695 |
| | | IV | 40 | 895 | 0.032 | 0.727 |
| Secundaria | 2015 | I | 146 | 1041 | 0.119 | 0.846 |
| | | II | 12 | 1053 | 0.010 | 0.855 |
| | | III | 4 | 1057 | 0.003 | 0.859 |
| | | IV | 7 | 1064 | 0.006 | 0.864 |
| | 2016 | I | 109 | 1173 | 0.089 | 0.953 |
| | | II | 30 | 1203 | 0.024 | 0.977 |
| | | III | 8 | 1211 | 0.006 | 0.984 |
| | | IV | 20 | 1231 | 0.016 | 1.000 |

Nota: I = insuficiente, II = elemental, III = satisfactorio y IV = sobresaliente.

En el cuadro 2 podemos observar la cantidad de escuelas evaluadas según el tipo, por año y nivel educativo. Para el nivel primaria, en el año 2015, la mayor cantidad de instituciones evaluadas pertenecen al tipo público (404 escuelas) y la menor al comunitaria (13 escuelas). Por otro lado, en 2016 la mayor cantidad nuevamente pertenecen al tipo público (384 escuelas) y la menor al comunitaria (15 escuelas). Para el nivel secundaria, en 2015 la mayor cantidad de escuelas evaluadas pertenecen al tipo telesecundaria (55 escuelas), mientras que la menor es al tipo comunitaria (8 escuelas); para 2016 la mayor cantidad nuevamente han sido las del tipo telesecundaria (61 escuelas) y la menor cantidad al comunitaria (4 escuelas).

Cuadro 2. Frecuencias de los tipos de escuela
donde se aplicó la evaluación PLANEA

| Grado | Año | Tipo de escuela | Frecuencia | | | |
|------------|------|-----------------|------------|-----------|----------|--------------------|
| | | | Absoluta | Acumulada | Relativa | Relativa acumulada |
| Primaria | 2015 | Comunitaria | 13 | 13 | 0.011 | 0.011 |
| | | Privada | 38 | 51 | 0.031 | 0.041 |
| | | Pública | 404 | 455 | 0.328 | 0.370 |
| | 2016 | Comunitaria | 15 | 470 | 0.012 | 0.382 |
| | | Privada | 41 | 511 | 0.033 | 0.415 |
| | | Pública | 384 | 895 | 0.312 | 0.727 |
| Secundaria | 2015 | Comunitaria | 13 | 13 | 0.011 | 0.011 |
| | | Privada | 38 | 51 | 0.031 | 0.041 |
| | | Pública | 404 | 455 | 0.328 | 0.370 |
| | 2016 | Comunitaria | 15 | 470 | 0.012 | 0.382 |
| | | Privada | 41 | 511 | 0.033 | 0.415 |
| | | Pública | 384 | 895 | 0.312 | 0.727 |

Continuando con el análisis descriptivo, en la figura 1 se puede observar cuatro círculos, en cada uno de ellos se muestran las relaciones entre los anillos exteriores que representan el tipo de escuela evaluada en un año y el nivel educativo específico, a través de conexiones que muestran el conocimiento educativo alcanzado. Para el primer círculo (2015-Primaria), lo más abundante está

relacionado con el nivel de conocimiento I, donde la mayoría de las instituciones de tipo públicas tienden a alcanzar un desempeño insuficiente en el examen PLANEA, mientras que un pequeño porcentaje se divide entre el resto de los tres niveles de conocimiento. Por otro lado, para las instituciones del tipo privado, gran parte del porcentaje se divide entre un desempeño insuficiente y sobresaliente; mientras que las del tipo comunitario alcanzan, en su mayoría, un nivel insuficiente con unas pequeñas brechas entre los niveles II y IV.

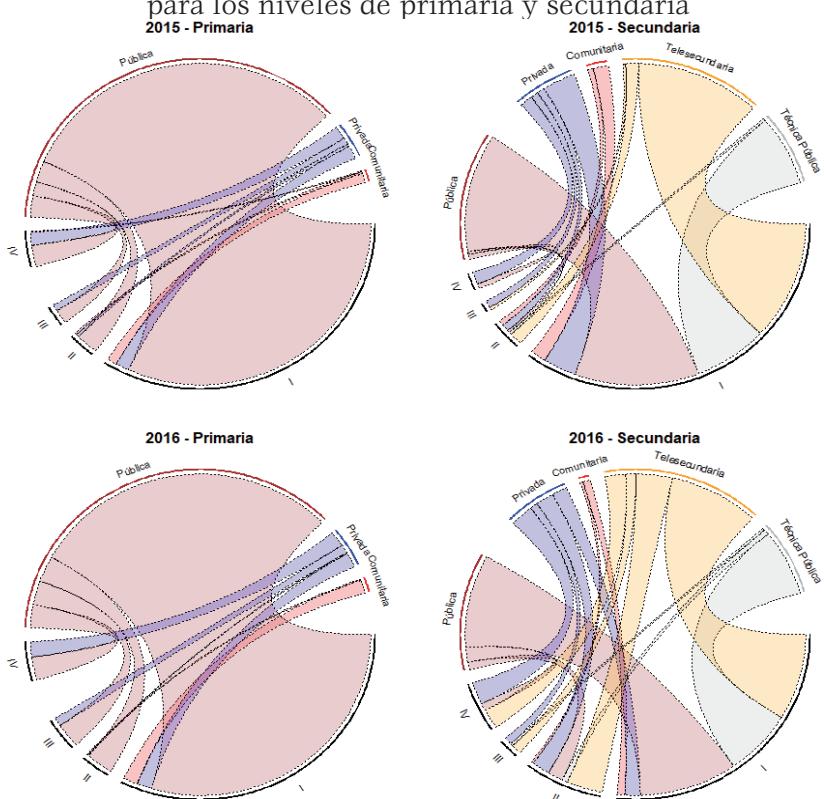
Para el segundo círculo (2016-Primaria), las instituciones de tipo público también tienen gran relación con el nivel de conocimiento I, mientras que para las instituciones del tipo privado se ve una relación más gruesa con el nivel IV, en comparación al año anterior. Por su parte, en las instituciones del tipo comunitario se observa que las brechas con los niveles III y IV han desaparecido, concentrando la mayor relación con el nivel de conocimiento I.

Al respecto del tercer círculo (2015-Secundaria), hay una tendencia hacia el nivel de conocimiento I (insuficiente) por parte de los cinco diferentes tipos de instituciones evaluadas, donde un pequeño porcentaje del tipo público alcanzan niveles superiores a este; mientras que en el tipo privado, menos de la mitad logra obtener un desempeño en el conocimiento a nivel elemental o superior. Cabe resaltar que las instituciones telesecundarias y las técnicas públicas no logran alcanzar un desempeño sobresaliente, donde un pequeño porcentaje de ellas se ubican en un nivel elemental.

Finalmente, en el cuarto círculo (2016-Secundaria) podemos observar que a pesar de que el desempeño sigue siendo insuficiente (nivel I), este se ha reducido notoriamente a comparación del año anterior; por otro lado, los niveles II, III y IV se han incrementado. Para las instituciones públicas la brecha que se relaciona con el nivel II se ha incrementado en comparación al año anterior, mientras que las instituciones del tipo privado son de las que más han logrado mejorar, junto con las telesecundarias, reduciendo la cantidad de instituciones que obtienen un nivel insuficiente y desplazándose a niveles de conocimiento elemental o superiores. Por su parte, las instituciones comunitarias no han cambiado

la tendencia, aunque sí se redujo la cantidad de instituciones evaluadas y, por último, en las instituciones técnicas públicas hay un pequeño porcentaje que logra alcanzar el nivel de conocimiento satisfactorio (nivel III) en comparación del año anterior donde ninguna lo había logrado.

Figura 1. Diagrama de cuerdas que muestra la relación entre el tipo de escuela evaluado y la categoría para los niveles de primaria y secundaria



Nota: Obtenida a través del examen PLANEA anuales.

Análisis asociativo

Se debe considerar que es común la existencia de escuelas con más probabilidades de obtener ciertos indicadores que le otorguen ni-

veles favorables o desfavorables, sujetas a un número de variables explicativas. Por ello, se ha realizado un análisis basado en la razón de probabilidades (*Odds ratio*), para dar una interpretación eficaz y adecuada de los resultados del análisis de regresión multinomial.

- *Tipo de escuela.* El tipo de escuela tiene un nivel significativo en el desempeño de los estudiantes, manteniendo constante el grado evaluado, el nivel de marginación, el turno, el municipio, el número de alumnos evaluados (alumnos evaluados) y el año. Un cambio de tipo de escuela comunitaria a privada produce un incremento en 245% en la razón de momios (RM) de elemental *versus* insuficiente; es decir, por cada 345 niños de tipo elemental se encontrarán 100 niños de tipo insuficiente; mientras que un cambio de tipo de escuela comunitaria a técnica pública produce una disminución en 73.1% en la RM de elemental *versus* insuficiente, esto significa que por cada 100 niños de tipo insuficiente se encontrarán 26.9 niños de tipo elemental. Por otro lado, un cambio de tipo de escuela comunitaria a telesecundaria, produce un aumento en 9 400% en la RM de satisfactorio *versus* insuficiente, lo que significa que por cada 10 niños de tipo insuficiente se encontrarán 950 niños de tipo elemental; mientras que por un cambio de tipo de escuela comunitaria a técnica pública, se produce un aumento de 1 000% en la RM de satisfactorio *versus* insuficiente; es decir, por cada 10 niños de tipo insuficiente se encontrarán 110 de tipo elemental. En la misma línea, por un cambio de tipo de escuela comunitaria a privada, produce un aumento en 6 996.4% en la RM de sobresaliente *versus* insuficiente, lo que significa que por cada 100 niños de tipo insuficiente se encontrarán 7 096.4 niños de tipo sobresaliente. Mientras que un cambio de tipo de escuela comunitaria a técnica pública, produce una disminución en 99.6% en la RM de sobresaliente *versus* insuficiente, lo que significa que por cada 1 000 niños de tipo insuficiente se encontrarán cuatro de tipo sobresaliente.

- *Grado evaluado.* El rendimiento académico de estudiantes varía significativamente entre los dos grados evaluados. En el cuadro 3 se puede observar que un cambiar el grado de primaria a secundaria produce un aumento de 99.7% en la RM de elemental *versus* insuficiente; esto significa que por cada niño de tipo insuficiente se encontrarán 99.7 niños de tipo elemental. Mientras que cambiar el grado de primaria a secundaria produce una disminución de 70.7% en la RM de satisfactorio *versus* insuficiente; esto significa que por cada 100 niños de tipo insuficiente se encontrarán 29.3 niños de tipo satisfactorio. De igual forma, cambiar el grado de primaria a secundaria produce una disminución de 68.3% en la RM de sobresaliente *versus* insuficiente, lo que significa que por cada 100 niños de tipo insuficiente se encontrarán 31.7 niños de tipo sobresaliente.
- *Nivel de marginación.* El nivel de marginación es importante en el aprovechamiento escolar, en el cuadro 3 se puede observar que afecta significativamente el rendimiento de los alumnos y que al cambiar el grado de marginación de muy alto a muy bajo, produce una disminución de 66.3% en la RM de elemental *versus* insuficiente, lo que significa que por cada 100 niños de tipo insuficiente se encontrarán 36.7 niños de tipo elemental. De igual manera, al cambiar el grado de marginación de muy alto a alto, produce un incremento de 314.1% en la RM de elemental *versus* insuficiente, esto es que por cada 100 niños de tipo insuficiente se encontrarán 414.1 de tipo elemental. También, al cambiar el grado de marginación de muy alto a muy bajo, produce un aumento de 113.8% en la RM de satisfactorio *versus* insuficiente, es decir que por cada 100 niños de tipo insuficiente se encontrarán 213.8 de tipo satisfactorio; de igual manera, al cambiar el grado de marginación de muy alto a medio, produce un incremento de 215.1% en la RM de satisfactorio *versus* insuficiente, es decir que por cada 100 niños de tipo insuficiente se encontrarán 315.1 de tipo satisfactorio. Asimismo, al cambiar el grado de marginación de muy alto a muy

bajo se produce una disminución de 58.3% en la RM de sobresaliente *versus* insuficiente, lo que significa que por cada 100 niños de tipo insuficiente se encontrará 41.3 de tipo sobresaliente. Finalmente, al cambiar el grado de marginación de muy alto a alto, produce un incremento de 169.7% en la RM de sobresaliente *versus* insuficiente, esto es que por cada 100 niños de tipo insuficiente se encontrarán 269.7 de tipo sobresaliente.

- **Turno.** También es importante en el aprovechamiento escolar, como es de esperarse, los del matutino obtienen mejores resultados que en el vespertino, y aun mejor que en el nocturno. En el cuadro 3 se puede observar que al cambiar el turno de tiempo completo a nocturno produce una disminución de 5.4% en la RM de elemental *versus* insuficiente, esto significa que por cada 100 niños de tipo insuficiente se encontrarán 94.6 de tipo elemental; mientras que al cambiar de tiempo completo a vespertino produce una disminución de 34.2% en la RM de elemental *versus* insuficiente, es decir que por cada 100 niños de tipo insuficiente se encontrarán 65.8 de tipo elemental. Por otro lado, al cambiar de tiempo completo a nocturno, produce un aumento de 60.6% en la RM de satisfactorio *versus* insuficiente, esto es que por cada 100 niños de tipo insuficiente se encontrarán 160.6 de tipo satisfactorio, y al cambiar de tiempo completo a vespertino, produce una disminución de 58.3% en la RM de satisfactorio *versus* insuficiente, que es igual a que por cada 100 niños de tipo insuficiente se encontrarán 41.7 de tipo satisfactorio. Asimismo, al cambiar de tiempo completo a matutino, produce una disminución de 7.4% en la RM de sobresaliente *versus* insuficiente, es decir que por cada 100 niños de tipo insuficiente se encontrarán 92.6 de tipo sobresaliente. Finalmente, al cambiar de tiempo completo a matutino, produce una disminución de 99.6% en la RM de sobresaliente *versus* insuficiente, esto es que por cada 1000 niños de tipo insuficiente se encontraron cuatro de tipo sobresaliente.

- *Municipio*. En lo que respecta a los municipios que integran el estado de Colima, Ixtlahuacán tiene los más altos indicadores de aprovechamiento académico y, por supuesto, afecta significativamente el nivel de desempeño. En el cuadro 3 se aprecia que al cambiar de Armería a Comala se produce un aumento de 629.4% en la RM de elemental *versus* insuficiente, esto significa que por cada niño de tipo insuficiente se encontrarán 7.294 de tipo elemental; mientras que al cambiar del municipio de Armería a Tecolomán se produce un aumento de 88.0% en la RM de elemental *versus* insuficiente, esto es que por cada 10 niños de tipo insuficiente se encontrarán 18.80 de tipo elemental. Por otro lado, al cambiar del municipio de Armería a Minatitlán se produce un aumento de 126.8% en la RM de satisfactorio *versus* insuficiente, es decir que por cada 100 niños de tipo insuficiente se encontrarán 226.8 de tipo satisfactorio; mientras que al cambiar de Armería a Cuauhtémoc se produce una disminución de 99.1% en la RM de satisfactorio *versus* insuficiente, que es igual a que por cada 1 000 niños de tipo insuficiente se encontrarán 9 de tipo satisfactorio. En forma similar, al cambiar de Armería a Ixtlahuacán se produce un aumento de 1 715.3% en la RM de sobresaliente *versus* insuficiente, que significa que por cada niño de tipo insuficiente se encontrarán 18.153 de tipo sobresaliente; mientras que al cambiar del municipio de Armería a Coquimatlán se produce una disminución de 13.0% en la RM de sobresaliente *versus* insuficiente, esto es que por cada 100 niños de tipo insuficiente se encontrarán 87 de tipo sobresaliente.
- *Número de alumnos evaluados*. El número de alumnos evaluados no fue significativo; es decir, no impacta significativamente el desempeño escolar de los estudiantes.
- *Año*. El año juega es importante en el aprovechamiento escolar, y en el cuadro 3 se puede observar que afecta significativamente el rendimiento de los alumnos al cambiar de 2015 a 2016 se produce un aumento de 396.9% en la RM de elemental *versus* insuficiente, esto significa que

por cada niño de tipo insuficiente se encontrarán 4.969 de tipo elemental; mientras que al cambiar de 2015 a 2016 se produjo un aumento de 96.4% en la RM de satisfactorio *versus* insuficiente, que es igual a que por cada niño de tipo insuficiente se encontrarán 1.964 de tipo satisfactorio. Finalmente, al cambiar de 2015 a 2016 produjo un aumento de 245.38% en la RM de sobresaliente *versus* insuficiente, es decir que por cada niño de tipo insuficiente se encontrarán 3.453 de tipo sobresaliente.

Análisis predictivo

Implementación de los modelos predictivos utilizando el *software* estadístico *R* debido a las libertades y ventajas que ofrece, al ser código abierto, gratuito y contar con el respaldo de miles de científicos en el mundo. A continuación, se muestra el código para implementar los modelos predictivos con los datos de PLANEA.

- *Librerías.* Para realizar el análisis de datos, se ha utilizado el *software R* en su versión 3.5.0 (R Core Team, 2018), así como los paquetes externos *Caret* versión 6.0.80 (desarrollado por Jed Wing *et al.*, 2018), *e1071* versión 1.6.8 (desarrollado por Meyer *et al.*, 2017), *randomForest* versión 4.6.14 (desarrollado por Liaw and Wiener, 2002), *sparsediscrim* versión 0.2.4 (desarrollado por Ramey, 2017) para los modelos implementados, y el paquete *dplyr* versión 0.7.4 (desarrollado por Wickham *et al.*, 2017) para el tratamiento de los datos.

Cuadro 3. Estimación y significancia de las razones de momio (RM) para las escuelas estudiadas, usando regresión multinomial para la asignatura de matemáticas

| | | Elemental | | | Satisfactorio | | | Sobresaliente | | |
|----------------------|------------------|-----------|------|-------|---------------|------|-------|---------------|------|--------|
| | | Coef. | Sig. | RM | Coef. | Sig. | RM | Coef. | Sig. | RM |
| (Intercept) | | -4.869 | * | 0.008 | -147.114 | * | 0.000 | -5.839 | * | 0.003 |
| Escuela | Privada | 1.238 | *** | 3.450 | 4.025 | * | 56 | 4.262 | * | 70.964 |
| | Pública | -0.304 | *** | 0.738 | 3.713 | * | 41 | 1.026 | *** | 2.789 |
| | Técnica pública | -1.314 | *** | 0.269 | 2.397 | * | 11 | -5.45 | * | 0.004 |
| | Telesecundaria | -0.346 | *** | 0.707 | 4.553 | * | 95 | 2.416 | *** | 11.205 |
| Grado evaluado | Secundaria | 0.692 | *** | 1.997 | -1.226 | ** | 0.293 | -1.149 | * | 0.317 |
| Nivel de marginación | Muy bajo | -1.003 | *** | 0.367 | 0.760 | *** | 2.138 | -0.884 | *** | 0.413 |
| | Bajo | 0.226 | *** | 1.253 | 0.936 | *** | 2.550 | -0.137 | *** | 0.872 |
| | Medio | 0.978 | *** | 2.660 | 1.148 | *** | 3.151 | -0.279 | *** | 0.757 |
| | Alto | 1.421 | *** | 4.141 | 0.930 | *** | 2.534 | 0.992 | *** | 2.697 |
| Turno | Matutino | -0.115 | *** | 0.891 | -0.282 | *** | 0.754 | -0.076 | *** | 0.926 |
| | Vespertino | -0.419 | *** | 0.658 | -0.876 | *** | 0.417 | -1.006 | ** | 0.366 |
| | Nocturno | -0.056 | *** | 0.946 | 0.474 | *** | 1.606 | -5.504 | *** | 0.004 |
| Municipio | Colima | 1.786 | ** | 5.966 | -0.196 | *** | 0.822 | 2.046 | *** | 7.736 |
| | Comala | 1.968 | ** | 7.159 | -0.568 | *** | 0.567 | 1.249 | *** | 3.488 |
| | Coquimatlán | 0.986 | *** | 2.681 | -0.661 | *** | 0.516 | -0.139 | *** | 0.870 |
| | Cuauhtémoc | 1.416 | *** | 4.121 | -4.611 | *** | 0.009 | 0.531 | *** | 1.701 |
| | Ixtlahuacán | 1.987 | ** | 7.294 | -0.523 | *** | 0.593 | 2.899 | ** | 18.153 |
| | Manzanillo | 1.210 | *** | 3.354 | -1.083 | *** | 0.339 | 0.703 | *** | 2.020 |
| | Minatitlán | 1.648 | *** | 5.197 | 0.819 | *** | 2.268 | 1.727 | *** | 5.623 |
| | Tecomán | 0.631 | *** | 1.880 | -0.039 | *** | 0.961 | 1.240 | *** | 3.457 |
| | Villa de Álvarez | 1.686 | ** | 5.400 | -0.099 | *** | 0.906 | 1.618 | *** | 5.043 |
| Alumnos evaluados | | 0.003 | NS | 1.003 | -0.020 | NS | 0.981 | 0.014 | NS | 1.014 |
| Año | 2016 | 1.603 | * | 4.969 | 0.675 | *** | 1.964 | 1.239 | ** | 3.453 |

Nota: NS = no significativo, *significativo a 5%, **significativo a 1% y ***significativo a 0.1%.

Importación de los datos

Antes de comenzar con las demostraciones, es necesario importar los datos al *software R* desde donde se encuentran almacenados, ya sea en un archivo, base de datos o una API, y cargarlos como un objeto a *R*.

Debido al formato del conjunto de datos, se utiliza la función `readRDS()` y se añade la ruta (física o relativa), así como el nombre y extensión del archivo (en este caso, `rds`), como se muestra a continuación, donde se hace uso de una ruta relativa para cargar el archivo `PLANEA_MAT`:

```
PLANEA <- readRDS('RAW/PLANEA_MAT.rds') #Cargar los
datos
```

Una vez cargado el conjunto de datos para la validación cruzada, se realiza la separación de los datos en 20 grupos aleatorios para entrenar y probar los modelos. En este análisis se realizan particiones aleatorias:

```
Dataset <- data.frame(Env = PLANEA$Grado_Evaluado,
ID = seq_len(dim(PLANEA)[1]),
Response = factor(PLANEA$Categoria))
```

```
library(dplyr)
```

```
Dataset %>%
group_by(Env) %>%
summarise(n = n()) %>%
as.data.frame() -> ngroup
```

```
nCV <- 20 #Número de validaciones cruzadas
```

```
### Semilla para generar siempre las mismas particiones alea-
torias
set.seed(1)
```

```
matrizPosicionesTstCV <- matrix(TRUE, nrow = dim(PLA-
NEA)[1], ncol = nCV)
for (i in seq_len(nCV)) {
  pos <- c(sample(seq_len(ngroup[2, 2]), ceiling(ngroup[2, 2]
* 0.8)),
sample(seq(ngroup[2, 2] + 1L, sum(ngroup[, 2])),
```

```

ceiling(ngroup[1, 2]*0.8)))
matrizPosicionesTstCV[pos, i] <- FALSE
}

```

El objeto matrizPosicionesTstCV es una matriz de dimensiones $n \times m$ donde n es la cantidad de observaciones (1 231 escuelas a analizar) y m la cantidad de validaciones cruzadas a realizar (20 validaciones cruzadas). Se ha almacenado en cada columna un valor lógico o booleano, que indica que si es cierto (TRUE), dicha posición será utilizada como parte del grupo de prueba; es decir, que toda posición que se encuentre como falso (FALSE) en la columna n , será utilizado en la validación cruzada n como parte del grupo de entrenamiento.

Para observar cómo se encuentra la distribución de una columna en cuanto al grupo de entrenamiento y prueba, se puede utilizar la función table() para contar la cantidad de elementos que se encuentran; en este caso en la columna 1, en el grupo de prueba.

```

table(matrizPosicionesTstCV[,1])
## FALSE TRUE
## 985 246

```

Observamos que la cantidad de elementos para el grupo de prueba en la columna 1 son 246 observaciones; es decir, 24.97% de los datos es utilizado para la validación del modelo.

Para la construcción de los modelos, será necesario generar las matrices-diseño con las variables independientes que se van a analizar, tal como se muestra a continuación:

```

Anio <- model.matrix(~ 0 + factor(PLANEA$ANIO))
Escuela <- model.matrix(~ 0 + factor(PLANEA$Tipo_Escuela))
Evaluado <- model.matrix(~ 0 + factor(PLANEA$Grado_Evaluado))
Marginacion <- model.matrix(~ 0 + factor(PLANEA$Grado_Marginacion))
Turno <- model.matrix(~ 0 + factor(PLANEA$Turno))
Municipio <- model.matrix(~ 0 + factor(PLANEA$Municipio))
Evaluados <- model.matrix(~ 0 + PLANEA$N_Eval)

```

Predicciones a través del modelo GBLUP

Para realizar las predicciones con el modelo GBLUP, iniciaremos generando el predictor lineal utilizando las matrices-diseño que generamos anteriormente y la vamos a guardar en una lista de listas, donde cada lista anidada representa un terminó a analizar; todas ellas serán analizadas con el modelo *Bayes Ridge Regression*.

```
ETA <- list(Ambiente = list(X = Evaluado, model = 'FIXED'),
Anio = list(X = Anio, model = 'BRR'),
Escuela = list(X = Escuela, model = 'BRR'),
Evaluado = list(X = Evaluado, model = 'BRR'),
Marginacion = list(X = Marginacion, model = 'BRR'),
Turno = list(X = Turno, model = 'BRR'),
Municipio = list(X = Municipio, model = 'BRR'),
Evaluados = list(X = Evaluados, model = 'BRR'))
```

Posteriormente cargamos la librería GFR, que es el paquete que incluye la función BFR, encargada de realizar los análisis bayesianos. Una vez cargada la librería, seleccionaremos cuantas iteraciones deberá de realizar el modelo y cuantas iteraciones deberá de ignorar antes de ajustarse, así como un objeto data.frame vacío que será el objeto donde posteriormente almacenaremos los resultados.

```
library(GFR)
Iter <- 20000
Burn <- 15000
resultados <- data.frame() ### Variable para almacenar los resultados
```

Ahora, para ajustar el modelo GBLUP, como dicho ajuste se deberá de realizar en 20 ocasiones utilizando las diferentes particiones aleatorias generadas y que se encuentran almacenadas en el objeto matrizPosicionesTstCV, se realizará a través de un ciclo for, donde en cada ciclo recuperaremos las posiciones de una columna determinada; dichas posiciones se eliminarán de la variable respuesta y posteriormente se ajustará el modelo utilizando la función BFR(). Una vez ajustado el modelo, se extraen las predicciones y estas se almacenan en el objeto de resultados.

```

for (val in seq_len(nCV)) {
  posicionesTST <- which(matrizPosicionesTstCV[, val] == TRUE)

  DatasetNA <- Dataset
  DatasetNA[posicionesTST, 'Respuesta'] <- NA

  modeloBayesiano <- BFR(DatasetNA, datasetID = 'ID', ETA = ETA,
  nIter = Iter, burnIn = Burn, verbose = FALSE)

  predicciones <- as.integer(colnames(modeloBayesiano$probs)[apply(modeloBayesiano$probs, 1, which.max)])
}

resultados <- rbind(resultados, data.frame(Model = 'G-BLUP',
Env = DatasetNA$Env[posicionesTST],
Fold = val,
y_p = predicciones[posicionesTST],
y_o = DatasetNA$Response[posicionesTST]))
}

```

Finalmente, eliminaremos los archivos que ha generado la función y que no serán necesarios para este análisis a través de la siguiente función,

`cleanDat(T)`

Predicciones a través del modelo SVM

Para realizar las predicciones a través de este modelo, las matrices diseño deberán de unirse con la variable respuesta en un solo objeto, esto se realizará de la siguiente manera:

`BD <- cbind(Anio, Escuela, Evaluado, Marginacion, Turno, Municipio, Evaluados)`

Ahora eliminaremos el factor que no aporta nada al modelo, debido a que es únicamente una observación y presenta gran cantidad de advertencias al correr los códigos si dicha columna no se elimina, esto es opcional.

`BD <- BD[, which(colnames(BD) != 'factor(PLANEAS$Turno) Discontinuo')]`

Finalmente, el objeto BD pertenece a la clase matriz; sin embargo, para facilitar el trabajo de manipulación de datos, modificaremos el tipo del objeto a un objeto del tipo data.frame, y posteriormente añadiremos la variable respuesta:

```
BD <- as.data.frame(BD)
BD$Categoria <- PLANEA$Categoria
```

Una vez preparado el objeto, procedemos a realizar el ajuste del modelo, en esta ocasión se hará en tres distintas versiones del modelo. Primeramente, ajustaremos el modelo tradicional utilizando la librería e1071 y nuevamente se realizará a través de un ciclo for; dentro del mismo se deberán de extraer las posiciones, que serán utilizados como entrenamiento, y luego se divide el conjunto de datos en dos: uno que será para entrenar el modelo y otro para probar las estimaciones del modelo. Una vez realizada la división de los grupos, se ajusta el modelo utilizando la función svm() e indicamos la variable respuesta, así como las variables independientes, que para este análisis se puede representar utilizando un punto para que se incluya el resto de los datos como variables independientes del conjunto de datos que se especifica en el segundo parámetro. Posteriormente, se extraen las predicciones utilizando el grupo de prueba, también conocido como grupo de validación, y se almacenan los resultados en el mismo objeto que se utilizó para el modelo anterior.

```
for (val in seq_len(nCV)) {
  print(paste('Running CV', val))
  posicionesTST <- which(matrizPosicionesTstCV[, val] == TRUE)

  training <- BD[-posicionesTST, ]
  testing <- BD[posicionesTST, ]

  modelo_svm <- svm(Categoría ~ ., data = training)
  predicciones <- predict(modelo_svm, testing)

  resultados <- rbind(resultados, data.frame(Model = 'SVM',
method = "gaussprRadial",
Env = PLANEA$Grado_Evaluado[posicionesTST],
Fold = val,
```

```

y_p = predicciones,
y_o = PLANEA$Categoria[posicionesTST])
}

```

Para el segundo modelo de SVM, utilizaremos la misma librería y sigue con igual metodología que el modelo anterior; es decir, se extraen las posiciones para el grupo de prueba, se divide el conjunto de datos en entrenamiento y prueba, se ajusta el modelo, se extraen las predicciones y se almacenan los resultados.

```

for (val in seq_len(nCV)) {
  print(paste('Running CV', val))
  posicionesTST <- which(matrizPosicionesTstCV[, val] == TRUE)

  training <- BD[-posicionesTST, ]
  testing <- BD[posicionesTST, ]

  modelo_svm2 <- train(Categoría ~ ., data = training, method = "svmLinear2",
                        preProcess = c("center", "scale"))

  predicciones <- predict(modelo_svm2, testing)

  resultados <- rbind(resultados, data.frame(Model = 'SVM with Linear Kernel',
                                                Env = PLANEA$Grado_Evaluado[posicionesTST],
                                                Fold = val,
                                                y_p = predicciones,
                                                y_o = PLANEA$Categoria[posicionesTST]))
}

```

Finalmente, para el tercer modelo SVM, utilizando la misma librería anterior y misma metodología, se ajustará el tercer modelo. Observe que en este caso el único cambio que se realiza es el método con el que se ajusta el modelo dentro de la función train().

```

for (val in seq_len(nCV)) {
  print(paste('Running CV', val))
  posicionesTST <- which(matrizPosicionesTstCV[, val] == TRUE)
}

```

```

training <- BD[-posicionesTST, ]
testing <- BD[posicionesTST, ]

modelo_svm3 <- train(Categoría ~ ., data = training, method = "svmPoly",
                      preProcess = c("center", "scale"))

predicciones <- predict(modelo_svm3, testing)

resultados <- rbind(resultados, data.frame(Model = 'SVM with Polynomial Kernel',
                                              Env = PLANEA$Grado_Evaluado[posicionesTST],
                                              Fold = val,
                                              y_p = predicciones,
                                              y_o = PLANEA$Categoría[posicionesTST]))
}

```

Predicciones a través del modelo k vecinos cercanos

Para realizar las predicciones a través de este modelo, utilizaremos el objeto BD que se creó en el análisis anterior y se utilizará nuevamente la librería Caret, lo que permite reutilizar bloques de código anteriores. Gracias a lo anterior, lo único que se deberá de modificar es el parámetro *method* por *knn*, así como el nombre del modelo que se va a almacenar en los resultados, como se muestra a continuación:

```

for (val in seq_len(nCV)) {
  print(paste('Running CV', val))
  posicionesTST <- which(matrizPosicionesTstCV[, val] == TRUE)

  training <- BD[-posicionesTST, ]
  testing <- BD[posicionesTST, ]

  modelo_knn <- train(Categoría ~ ., data = training, method = "knn",
                        preProcess = c("center", "scale"), tuneLength = 20)

  predicciones <- predict(modelo_knn, testing)
}

```

```

resultados <- rbind(resultados, data.frame(Model = 'k-Near-
est Neighbors',
Env = PLANEA$Grado_Evaluado[posicionesTST],
Fold = val,
y_p = predicciones,
y_o = PLANEA$Categoria[posicionesTST]))
}

```

Predicciones a través del modelo Diagonal Linear Discriminant Analysis (DLDA)

Para realizar las predicciones a través de este modelo utilizaremos el objeto BD que se creó en el análisis anterior y la librería Hi-DimDA, debido a que el funcionamiento de la librería es similar, únicamente será necesario modificar la función de la predicción por la función dlda(), así como el nombre del modelo que se va a almacenar en los resultados, como se muestra a continuación:

```

for (val in seq_len(nCV)) {
print(paste('Running CV', val))
posicionesTST <- which(matrizPosicionesTstCV[, val] ==
TRUE)

training <- BD[-posicionesTST, ]
testing <- BD[posicionesTST, ]
modelo_dlda <- dlda(Categoría ~ ., data = training)

predicciones <- predict(modelo_dlda, testing[, which(names(-
testing) != 'Categoria')])$class

resultados <- rbind(resultados, data.frame(Model = 'DLDA',
Env = PLANEA$Grado_Evaluado[posicionesTST],
Fold = val,
y_p = predicciones,
y_o = PLANEA$Categoria[posicionesTST]))
}

```

Procesamiento de los resultados

Para obtener los resultados finales se realizan dos procesamientos: en el primero se obtienen los valores predichos y observados para cada partición de la validación cruzada implementada, y con estos

se calculan tanto la proporción de casos correctamente clasificados (PCCC) como el MSEP para cada modelo en cada ambiente; mientras que en el segundo procesamiento se obtienen los resultados finales, que corresponden a los promedios y errores de las dos métricas utilizadas.

```
library(dplyr)

resultados$y_p <- as.numeric(resultados$y_p)
resultados$y_o <- as.numeric(resultados$y_o)

resultadosPreliminares <- resultados %>% group_by(Model,
Env, Fold) %>% 
  summarise(CC = sum(diag(prop.table(table(factor(y_p, levels =
sort(unique(y_o))), as.factor(y_o))))), MSEP = mean((y_p - y_o)**2, na.rm = T))

resultadosPreliminares %>% group_by(Model, Env) %>% 
  summarise(SE_MSEP = sd(MSEP, na.rm = T), MSEP = mean(MSEP, na.rm = T),
CC = mean(CC, na.rm = T), SE_CC = sqrt((CC*(1 - CC))/n())))
%>% 
  select(Model, Env, CC, SE_CC, MSEP, SE_MSEP) -> resultadosFinales
```

Resultados análisis predictivo

En el cuadro 4 se presentan los resultados de la capacidad predictiva de los seis modelos implementados usando 20 particiones de la validación cruzada y se reporta el promedio de la PCCC en cada una de las 20 pruebas (*testings*). Bajo esta métrica, valores cercanos a cero (0) indican total ineeficiencia para predecir y valores cercanos a uno (1) indican predicción correcta. Se puede apreciar que existe diferencias significativas en la capacidad predictiva de los primeros seis modelos con respecto al modelo Diagonal Linear Discriminant Analysis (DLDA). Por su parte, se aprecia que la capacidad predictiva es de al menos 75.2% de casos correctamente clasificados. Por otro lado, las predicciones fueron significativamente diferentes entre tercero de secundaria y sexto de primaria, observándose mejores capacidades predictivas en nivel primaria que en secundaria; sin embargo, la diferencia entre ambos nive-

les educativos es pequeña. Finalmente, vale la pena resaltar que el modelo DLDA muestra muy mala capacidad predictiva, ya que pudo predecir correctamente sólo 35.5% de los casos (cuadro 4). Las letras a y b marcan diferencias entre modelos (columnas) del cuadro 4, mientras que las letras A y B marcan diferencias entre los niveles educativos.

Cuadro 4. Resultados de la capacidad por parte de los seis modelos implementados en los niveles educativos evaluados

| Modelo | 3º Secundaria | | | 6º Primaria | | |
|----------------------------|---------------|----|--|-------------|----|--|
| | PCCC | | | PCCC | | |
| G-BLUP | 0.767 | aB | | 0.796 | aA | |
| SVM with radial kernel | 0.761 | aA | | 0.785 | aA | |
| k-Nearest Neighbors | 0.759 | aB | | 0.784 | aA | |
| SVM with Linear Kernel | 0.753 | aB | | 0.780 | aA | |
| SVM with Polynomial Kernel | 0.752 | aB | | 0.780 | aA | |
| DLDA | 0.186 | bB | | 0.356 | bA | |

Nota: PCCC es la proporción de casos correctamente clasificados por parte de los modelos.

Discusiones

Los instrumentos de evaluación que actualmente se utilizan para el desempeño educativo no son perfectos; sin embargo, son cruciales para medir el desempeño académico y tener una radiografía confiable del aprovechamiento escolar. Por ello, a pesar de sus imperfecciones, el examen PLANEA es de suma importancia para monitorear los avances en el aprendizaje de los alumnos en educación básica en México.

En el presente trabajo se realizó, bajo la disciplina de la ciencia de los datos, un análisis descriptivo, asociativo y predictivo con distintos modelos, haciendo uso del método de validación cruzada para estimar los errores en la predicción de cada modelo. De acuerdo con los resultados del análisis descriptivo, es claro que el conocimiento sobresaliente es muy bajo, mayor en primaria que en secundaria; mientras que los porcentajes de alumnos con un nivel de conocimiento insuficiente son alarmantes, con porcentajes menores en primaria que en secundaria.

Por otro lado, se observa que la mayoría de los modelos utilizados producen buenas capacidades predictivas, pero no existe uno considerablemente superior a los demás, lo cual es congruente con el *Free Lunch Theorem*, que dice que no existen máquinas predictivas universalmente superiores, ya que algunas son mejores en datos particulares; sin embargo, si se observa que, para estos datos en particular, el modelo basado en diagonal discriminant análisis (DLDA, por sus siglas en inglés) fue el que más baja capacidad predictiva presentó.

Ante el incremento de información almacenada en grandes servidores, crece la necesidad del uso de la ciencia de datos para dar un sentido a la información y tener argumentos para la óptima toma de decisiones, por ello la importancia de entrenar a los profesionales en formación y en acción para aprovechar los datos al máximo.

Conclusiones

Este capítulo demuestra la importancia de aplicar la ciencia de datos en el sector educativo, pues su potencial para describir, asociar y predecir información útil es significativa y contundente. Con el análisis descriptivo se puede conocer el estado o situación de un fenómeno a nivel muestral o poblacional a través de la estimación de parámetros, como son el promedio, porcentaje, valores mínimos y máximos, rango, varianza, desviación estándar, coeficiente de variación e intervalos de confianza, entre otros. Mientras que a través del análisis asociativo es factible identificar aquellas variables independientes (o predictivas) que influyen en forma significativa en la variable respuesta y de esta manera uno puede diseñar estrategias para poder mejorar la variable respuesta de interés. Finalmente, bajo el enfoque predictivo es factible predecir fenómenos futuros a partir de información histórica, medida tanto en la variable dependiente como en muchas otras independientes o predictivas.

A través de la aplicación, para el caso de estudio se encontró que la mayoría de las escuelas de Colima tienen un nivel insuficiente (categoría I) en el desempeño escolar, además de que dentro de las variables independientes medidas, la que más influye en el

desempeño escolar es el tipo de escuela (comunitaria, privada, pública, técnica pública y telesecundaria).

Finalmente, con el estudio predictivo se pudo determinar el nivel de desempeño escolar a nivel básico con alto grado de exactitud. Por ello podemos deducir que quizá no es necesario hacer censos en todas las escuelas, ya que sólo basta una muestra representativa para predecir el comportamiento de las escuelas no incluidas en la muestra, generando ahorros significativos de tiempo, recursos humanos y materiales.

Referencias

- Jed Wing, M.K.C.; Weston, S.; Williams, A.; Keefer, C. *et al.* (2018). *Caret: Classification and Regression Training*. Recuperado a partir de <https://cran.r-project.org/package=caret>
- Liaw, A., and Wiener, M. (2002). Classification and Regression by randomForest. *R News*, 2(3): 18-22. Recuperado a partir de <https://cran.r-project.org/doc/Rnews/>
- Meyer, D.; Dimitriadou, E.; Hornik, K.; Weingessel, A., and Leisch, F. (2017). *e1071: Misc Functions of the Department of Statistics, Probability Theory Group (Formerly: E1071)*, TU Wien. Recuperado a partir de <https://cran.r-project.org/package=e1071>
- Molina, J. y García, J. (2008). Técnicas de minería de datos basadas en aprendizaje automático. *Técnicas de Análisis de Datos*, 96-266.
- Molina, L.C. (2002). *Data mining: Torturando a los datos hasta que confiesen*. Fuoc, 1-11. Recuperado a partir de <http://www.uoc.edu/web/esp/art/uoc/molina1102/molina1102.html>
- Orellana, L. (2001). *Estadística descriptiva*. Buenos Aires, Argentina. Recuperado a partir de http://www.dm.uba.ar/materias/estadistica_Q/2011/1/modulo_descriptiva.pdf
- R Core Team (2018). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna, Austria. Recuperado a partir de <https://www.r-project.org/>
- Ramey, J.A. (2017). *Sparsediscrim: Sparse and Regularized Discriminant Analysis*. Recuperado a partir de <https://cran.r-project.org/package=sparsediscrim>
- Wickham, H.; Francois, R.; Henry, L., and Müller, K. (2017). *dplyr: A Grammar of Data Manipulation*. Recuperado a partir de <https://cran.r-project.org/package=dplyr>

Autores

Coordinadores

ARMANDO ROMÁN GALLARDO. Doctor en educación por la Universidad de Baja California. Es profesor-investigador de tiempo completo en la Facultad de Telemática de la Universidad de Colima. Sus líneas de investigación son los procesos de desarrollo de software.

JOSÉ ROMÁN HERRERA MORALES. Doctor en tecnologías de la información en la Universidad de Guadalajara. Es profesor-investigador de tiempo completo en la Facultad de Telemática de la Universidad de Colima. Sus líneas de investigación incluyen los sistemas de búsqueda y recuperación de información, los sistemas inteligentes, la tecnología web, minería y las bases de datos.

SARA SANDOVAL CARRILLO. Maestra en telemática por la Universidad de Colima. Es profesora-investigadora de tiempo completo en la Facultad de Telemática de la Universidad de Colima. Sus líneas de investigación son el desarrollo de software dirigido por modelos y las tecnologías de la información.

MARÍA EUGENIA CABELLO ESPINOSA. Doctora en programación declarativa e ingeniería de la programación por la Universitat Politècnica de Valencia, España. Es profesora-investigadora de tiempo completo en la Facultad de Telemática de la Universidad de Colima. Sus líneas de investigación son los sistemas expertos, el dominio del diagnóstico, las líneas de productos software, el desarrollo de software dirigido por modelos, la transformación de modelos y las ontologías.

Colaboradores

RICARDO ACOSTA DÍAZ. Doctor en educación y realiza un postdoctorado en currículum, innovación pedagógica y formación con enfoque en desarrollo de aplicaciones móviles que utilizan la gamificación como estrategia didáctica. Es profesor-investigador de

AUTORES

tiempo completo en la Facultad de Telemática de la Universidad de Colima. Su línea de investigación es sobre ambientes inteligentes.

OMAR ÁLVAREZ CÁRDENAS. Doctor en educación. Es profesor-investigador de tiempo completo en la Facultad de Telemática en la Universidad de Colima. Sus líneas de investigación están relacionadas con las redes inalámbricas, redes de sensores, laboratorios remotos, cómputo móvil y tecnología educativa.

MARÍA ANDRADE ARÉCHIGA. Doctora en ciencias de la computación por el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), Baja California. Es profesora-investigadora de tiempo completo en la Facultad de Telemática de la Universidad de Colima y pertenece al SNI (nivel I). Sus líneas de investigación son el desarrollo, implementación y evaluación de ambientes de aprendizaje, tecnología educativa y matemáticas.

NORMA ANGÉLICA BARÓN RAMÍREZ. Maestra en ciencias, área tecnología y educación en la Facultad de Telemática de la Universidad de Colima. Es investigadora, docente y gestora en el área educativa.

RAYMUNDO BUENROSTRO MARISCAL. Doctor en ciencias área computación por la Universidad Autónoma de Baja California. Es profesor-investigador de tiempo completo en la Facultad de Telemática de la Universidad de Colima. Sus líneas de investigación se enfocan en las redes inalámbricas de sensores (WSNs), el paradigma del Internet de las cosas (IoT), los sistemas embebidos y la evaluación del desempeño de sistemas de comunicaciones.

JUAN JOSÉ CONTRERAS CASTILLO. Doctor en electrónica y telecomunicaciones por el Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada (CICESE), Baja California. Es profesor-investigador de tiempo completo en la Facultad de Telemática de la Universidad de Colima. Sus líneas de investigación son las telecomunicaciones, la tecnología aplicada a la educación y la educación a distancia.

PEDRO DAMIÁN REYES. Doctor en ciencias de la computación por el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), Baja California. Es profesor-investigador de

tiempo completo en la Facultad de Telemática de la Universidad de Colima. Sus líneas de investigación se encuentran enfocadas a la aplicación de conscientes del contexto y realidad aumentada.

SILVIA BERENICE FAJARDO FLORES. Doctora en ciencias computacionales por la Universidad París VIII Vincennes-Saint-Denis, Francia. Es profesora-investigadora de tiempo completo en la Facultad de Telemática de la Universidad de Colima. Sus líneas de investigación son la tecnología para la educación, HCI, accesibilidad e interfaces no visuales.

CARLOS ALBERTO FLORES CORTÉS. Doctor en computación por la Universidad de Lancaster (Inglaterra). Es profesor-investigador de la Facultad de Telemática de la Universidad de Colima. Sus líneas de investigación son los sistemas distribuidos.

JUAN ANTONIO GUERRERO IBÁÑEZ. Doctor en ingeniería telemática por la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) en Barcelona, España. Es profesor-investigador de tiempo completo en la Facultad de Telemática de la Universidad de Colima. Sus líneas de investigación son la gestión de redes móviles, la gestión de calidad de servicio en redes vehiculares y el desarrollo de protocolos de comunicación en redes inalámbricas de sensores.

JORGE RAFAEL GUTIÉRREZ PULIDO. Doctor en ciencias computacionales por la Universidad de Nottingham, Reino Unido. Es profesor-investigador de tiempo completo en la Facultad de Telemática de la Universidad de Colima. Sus líneas de investigación son el web semántico, el aprendizaje artificial de ontologías, el minado de datos, el descubrimiento del conocimiento, Self-Organizing Maps, la recuperación semántica de la información, la visualización de datos, las bibliotecas digitales y la vulcanología sísmica.

ALBERTO ROMÁN HERRERA ESPINOZA. Es estudiante en la carrera de ingeniería en software en la Universidad de Colima. Tiene experiencia como desarrollador *full stack* involucrando tecnologías emergentes como: Node.js, Express.js, React, Meteor.js y pruebas automatizadas con Cypress.js; también se interesa en el área de inteligencia artificial, el data science y particularmente en el área de DataViz.

AUTORES

MARGARITA GLENDA MAYORAL BALDIVIA. Maestra en ciencias área telemática por la Universidad de Colima. Es profesora-investigadora de tiempo completo en la Facultad de Telemática. Sus líneas de investigación son el cómputo móvil, las redes y las telecomunicaciones.

OSVAL ANTONIO MONTESINOS LÓPEZ. Doctor en ciencias en estadística y biometría por la Universidad de Nebraska, Estados Unidos. Es profesor-investigador de tiempo completo en la Facultad de Telemática de la Universidad de Colima y pertenece al SNI (nivel I). Sus líneas de investigación incluyen los análisis de datos de alta dimensión, *Statistical machine learning*, predicción genómica, modelos lineales generalizados y multivariados y diseño de experimentos.

GABRIEL PERALTA DOMÍNGUEZ. Profesional del área de ingeniería por la Universidad de Guadalajara y máster en tecnologías de la información por la Universidad de Colima. Es asesor de tecnologías de la información en la educación superior, en las áreas de tecnologías aplicadas y en temas de gestión de proyectos de tecnologías de información e inteligencia de negocios basados en analítica de datos. Ha participado en proyectos académicos basados principalmente en Python, en plataformas de aprendizaje automático y entusiasta de los proyectos de código abierto.

JUAN MANUEL RAMÍREZ ALCARAZ. Doctor en ciencias de la computación por el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), Baja California. Es profesor-investigador de tiempo completo en la Facultad de Telemática de la Universidad de Colima. Sus líneas de investigación son el *Cluster*, *Grid* y *Cloud Computing*; calendarización, paralelismo y virtualización.

ERIKA MARGARITA RAMOS MICHEL. Doctora en ciencias de la computación por el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada-Baja California (CICESE). Es profesora-investigadora de tiempo completo en la Facultad de Telemática de la Universidad de Colima. Sus líneas de investigación son el procesamiento de señales e imágenes, tecnología educativa e inteligencia computacional aplicada.

PEDRO CÉSAR SANTANA MANCILLA. Maestro en ingeniería área ciencias de la computación por la Universidad Autónoma de Baja California y cursa el doctorado en tecnologías de la información y comunicaciones en la Universidad de Vigo, España. Es profesor-investigador de tiempo completo de la Facultad de Telemática de la Universidad de Colima. Sus líneas de investigación se enfocan a la interacción humano-computadora y las tecnologías para el aprendizaje.

Internet de las cosas y su impacto en la educación, por *Armando Román Gallardo, José Román Herrera Morales, Sara Sandoval Carrillo y María Eugenia Cabello Espinosa* (coordinadores), fue editado en la Dirección General de Publicaciones de la Universidad de Colima, avenida Universidad 333, Colima, Colima, México, www.ucol.mx. La edición digital se terminó en diciembre de 2020. En la composición tipográfica se utilizó la familia ITC Veljovick Book. El tamaño del libro es de 22.5 cm de alto por 15 cm de ancho. Diseño de portada: Guillermo Campanur. Diseño de interiores y cuidado de la edición: Myriam Cruz Calvario.

Internet de las cosas o *Internet of Things* (IoT), incorpora identificadores de radiofrecuencia (RFID) y permite conectar objetos digitales para mayor eficiencia, adicionándoles atributos que perfeccionan sus funciones. En este libro se amplia definición de este concepto y ofrece análisis de su impacto en la educación, así como sus componentes y las tecnologías que lo hacen posible. Se emiten recomendaciones para incrementar la efectividad de las operaciones tanto en las escuelas como en diversas áreas, y se describen los dispositivos de IoT educativo para mejorar la participación y resultados en el aprendizaje. Asimismo, se presentan dos casos de estudio que argumentan la aceptación que tienen las nuevas tecnologías, como pizarrones interactivos, impresoras 3D y sensores de temperatura, entre otros. También se expone información respecto a las *Smart Factory*, a la aplicación del IoT en la ciencia de datos y los lenguajes de programación más viables. Finalmente, se resalta la importancia de aplicar la ciencia de datos en el sector educativo.

ISBN: 978-607-8549-88-7



9 786078 549887



UNIVERSIDAD DE COLIMA