

Tecnologías disruptivas de información

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

UNIVERSIDAD DE COLIMA

Armando Román Gallardo

Actualmente se desempeña como profesor-investigador de tiempo completo en la Facultad de Telemática de la Universidad de Colima. Su formación académica reside en la ingeniería en sistemas computacionales y la maestría en ciencias computacionales por la Universidad de Colima; y el doctorado en educación por la Universidad de Baja California. Sus intereses de investigación se centran en los procesos de desarrollo de software.

Sara Sandoval Carrillo

Actualmente se desempeña como profesora-investigadora de tiempo completo en la Facultad de Telemática de la Universidad de Colima. Su formación académica reside en la ingeniería en telemática y la maestría en telemática por la Universidad de Colima. Sus intereses de investigación se basan en el desarrollo de software dirigido por modelos y las tecnologías de la información.

María Eugenia Cabello Espinosa

Actualmente se desempeña como profesora-investigadora de tiempo completo en la Facultad de Telemática de la Universidad de Colima. Su formación académica reside en la licenciatura en física por la Universidad Nacional Autónoma de México, la maestría en ciencias de la computación por la Fundación Arturo *Rosenblueth*, así como varios títulos otorgados por la Universitat Politècnica de València (España): la maestría en ingeniería de software, métodos formales y sistemas de información, y el doctorado en programación declarativa e ingeniería de la programación, entre otros. Sus intereses de investigación se centran en 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.

José Román Herrera Morales

Es profesor-investigador de tiempo completo en la Facultad de Telemática de la Universidad de Colima. Su formación doctoral fue en el área de gestión de la información y extracción del conocimiento obteniendo el grado de doctor en tecnologías de la información en la Universidad de Guadalajara. Tiene más de veinte años de experiencia docente y sus áreas de interés son los sistemas de búsqueda y recuperación semántica de información, inteligencia artificial, gestión del conocimiento, minería de datos y redes sociales, repositorios digitales y metadatos, aplicaciones para internet, el internet de las cosas, entre otras.

Tecnologías disruptivas de información

enfoque académico

UNIVERSIDAD DE COLIMA

Mtro. José Eduardo Hernández Nava, Rector

Mtro. Christian Jorge Torres Ortiz Zermeño, Secretario General

Mtra. Vianey Amezcua Barajas, Coordinadora General de Comunicación Social

Mtra. Gloria Guillermina Araiza Torres, Directora General de Publicaciones

Tecnologías disruptivas de información

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



UNIVERSIDAD DE COLIMA

© UNIVERSIDAD DE COLIMA, 2018
Avenida Universidad 333
Colima, Colima, México
Dirección General de Publicaciones
Teléfonos: (312) 316 10 81 y 316 10 00, extensión 35004
Correo electrónico: publicaciones@ucol.mx
www.ucol.mx

ISBN: 978-607-8549-39-9

Derechos reservados conforme a la ley

Proceso editorial certificado con normas ISO desde 2005
Dictaminación y edición registradas en el Sistema Editorial Electrónico PRED
Registro: LI-010-17
Recibido: Noviembre de 2017
Publicado: Diciembre de 2018

Libro realizado con recursos PFCE 2017.

Índice

Introducción	7
<i>Big data</i> , NoSQL y tendencias en sistemas de bases de datos	11
<i>José Román Herrera-Morales</i>	
<i>Salvador Macías Elizarrarás</i>	
<i>Armando Román Gallardo</i>	
El internet de las cosas	45
<i>Carlos Alberto Flores Cortés</i>	
<i>Raymundo Buenrostro Mariscal</i>	
<i>Fermín Estrada González</i>	
Inteligencia artificial y aprendizaje máquina: aplicaciones y tendencias	69
<i>Jorge Rafael Gutiérrez Pulido</i>	
<i>Érika Margarita Ramos Michel</i>	
<i>Ricardo Acosta Díaz</i>	
La era del cómputo cognitivo	81
<i>Ricardo Acosta Díaz</i>	
<i>Pedro Damián Reyes</i>	
<i>Silvia Berenice Fajardo Flores</i>	

La voz como interfaz natural de usuario ideal para el mundo digital...	91
<i>Pedro Damián Reyes</i>	
<i>María Andrade Aréchiga</i>	
<i>Jorge Rafael Gutiérrez Pulido</i>	
Los <i>chatbots</i> : robots inteligentes conversacionales.....	113
<i>María Eugenia Cabello Espinosa</i>	
<i>Armando Román Gallardo</i>	
<i>José Román Herrera-Morales</i>	
Realidad virtual y aumentada.....	129
<i>Armando Román Gallardo</i>	
<i>María Eugenia Cabello Espinosa</i>	
<i>Sara Sandoval Carrillo</i>	
Vehículos autónomos, el futuro cercano: retos y oportunidades.....	161
<i>Juan Antonio Guerrero Ibáñez</i>	
<i>Juan Contreras Castillo</i>	
<i>Ma. Guadalupe Rivera Gutiérrez</i>	
Autores/as.....	177

Introducción

En los tiempos que corren, la tecnología tiende a renovarse. Regularmente son cambios pequeños o meras adaptaciones, pero en ocasiones aparece una innovación que deja obsoletos los mecanismos anteriores. Puede pensarse que es una tecnología cuya aplicación rompe con la que existía hasta el momento, conduciendo a la aparición de productos y servicios que utilizan preferiblemente una estrategia que produce una ruptura brusca o disruptiva. De ahí el término de tecnologías disruptivas.

Actualmente este tipo de tecnologías comienzan a tener mucha importancia a la hora de plantear estrategias de desarrollo en los departamentos de I + D (investigación y desarrollo) de muchas compañías. Asimismo, su impacto en nuestras vidas y en la sociedad son obvias, como por ejemplo la computadora personal, la computadora portátil, el correo electrónico, los teléfonos celulares, los teléfonos inteligentes, la computación móvil, la computación en nube, el *WhatsApp* y las redes sociales, entre otros.

Por otro lado, la tecnología de la información —entendida como el conjunto de procesos y productos que comprenden todo lo que está vinculado con el almacenamiento, protección, procesamiento, monitoreo, recuperación y transmisión digitalizada de la información— ha penetrado, en el presente siglo, en casi todos los ámbitos del ser humano.

La relevancia del desarrollo de las tecnologías de información, aunada a las tecnologías disruptivas, conlleva a que los autores de este libro expongan brevemente al lector un panorama diverso de información relacionada con las tecnologías disruptivas de información. Para ello, se ha estructurado este libro en ocho capítulos.

El capítulo uno aborda la temática del *big data*, el cual ha venido a transformar las tecnologías de las bases de datos para poder hacer frente a la necesidad de procesar grandes volúmenes de datos, situación que ha dado pie al surgimiento de los sistemas de bases de datos NoSQL, así como las principales tendencias en los sistemas de bases de datos.

En el capítulo dos se presenta un panorama general de la arquitectura que caracteriza a los sistemas basados en el internet de las cosas (IoT), mismo que ha despertado un gran interés en la industria por lo que hoy en día existe en el mercado un número importante de productos comerciales que basan su diseño y funcionamiento en esta tecnología.

En el capítulo tres se hace un recuento detallado de las aplicaciones más comunes en los ámbitos de la inteligencia artificial y el aprendizaje-máquina, así como un repaso de los aspectos más relevantes sobre estas áreas a manera de tendencias, por el impacto que representan.

En el capítulo cuatro se visualiza la era del cómputo cognitivo, considerado como una disciplina en la que cada componente contribuye con una metodología específica para tratar problemas en su dominio de aplicación que de otra forma sería imposible resolver. Asimismo, en este capítulo se analizan algunos aspectos básicos de las tecnologías disruptivas y emergentes.

En el capítulo cinco se exhiben las interfaces naturales de usuario para el mundo digital y se aprecia la perfecta unión de la inteligencia artificial y los sistemas de reconocimiento de voz, considerando al poder de la voz como interfaz natural de usuario, en los asistentes personales inteligentes más poderosos hasta el momento.

En el capítulo seis se comenta acerca de los *chatbots*: robots inteligentes conversacionales, ofreciendo una pincelada sobre lo que son, para qué sirven, cuáles existen, para qué se usan, así como algunos consejos para crear tu propio sistema inteligente que pueda interactuar en una conversación con una persona utilizando lenguaje natural y de forma automatizada.

El capítulo siete se enfoca en los entornos que permiten que las distancias entre el mundo digital y el mundo físico se es-

tén achicando, creando una gran expectativa en el que el mundo digital se parezca y se integre cada vez más al mundo físico, por lo que el mundo digital será cada día, en mayor medida, un espejo de este último. Dichos entornos son: la realidad virtual —donde la tecnología hace creer al cerebro que se está dentro del entorno virtual, sintiéndose en la realidad, aunque no sea así— y la realidad aumentada —que brinda la posibilidad de estar presente y comunicarse, agregando elementos virtuales a una realidad existente, en lugar de crear la realidad desde cero.

El capítulo ocho trata sobre los vehículos autónomos, como una de las tecnologías que representan un impacto potencialmente disruptivo y un cambio benéfico en la forma en la cual la gente se desplaza, siendo visualizados como una forma de mejorar los sistemas de transporte con un enorme impacto en la seguridad, el control de tráfico y el comportamiento de los conductores. Sin embargo, existen algunas barreras que se deben de resolver para su implementación y penetración en el mercado. Dentro de este marco, en este capítulo se hace referencia a la tendencia sobre los vehículos autónomos, analizando algunas de las tecnologías usadas para su desarrollo, así como los retos y oportunidades que enfrentan.

Big data, NoSQL y tendencias en sistemas de bases de datos

José Román Herrera-Morales
Salvador Macías Elizarrarás
Armando Román Gallardo

Introducción

Quienes trabajamos todos los días con las tecnologías de la información (TI) estamos familiarizados con el *big data* y nos referimos a este término como una manifestación cotidiana de la explosión de información ocasionada gracias a las redes sociales, el internet y la infinidad de dispositivos electrónicos que actúan como sensores en lo que se conoce como el internet de las cosas (IoT). Sin embargo, cuando nos preguntan como: ¿qué es?, ¿para qué sirve?, ¿cuáles son sus aplicaciones?, ¿qué herramientas tecnológicas podemos utilizar?, ¿los nuevos sistemas llamados NoSQL reemplazarán a los tradicionales?, es entonces cuando nos cuesta trabajo ofrecer una explicación clara y sobre todo que pueda ser entendible para un público que no sea especialista en TI; es cuando nos sentamos a reflexionar y sentimos la necesidad de investigar sobre estas nuevas tecnologías. Por ello, nos hemos dado a la tarea de presentar en este texto estas temáticas para tratar de dar respuesta a las inquietudes anteriores. En la siguiente sección nos enfocamos en presentar los orígenes y diversas definiciones del término *big data*. Enseguida, abordamos la relación que tiene el *big data* con la revolución en las tecnologías de bases de datos y en el surgimiento de los sistemas NoSQL. Después, hacemos un análisis del impacto que están teniendo estos nuevos sistemas NoSQL comparados con los tradicionales sistemas de bases de datos relacionales. Por último, presentamos nuestros comentarios finales.

Big data: Orígenes y definiciones

Las primeras alusiones a este concepto de *big data* ya figuran desde hace algunos años, pero no es muy claro a quieén darle el crédito por haberlo utilizado por primera vez con el significado actual. Diebold (2012) le ha seguido la pista a los orígenes de este término y menciona que a mediados de los noventa ya se habían generado más de 2,000 referencias, tanto en el plano académico como en publicaciones informales o de corte comercial, que hacían uso del mismo. Sin embargo, sería en 1998 en una charla de John Mashey (1998) de la empresa Silicon Graphics (SGI) cuando la conceptualización de *big data* fue asociada como un gran fenómeno de generación masiva de información y que tendría fuertes implicaciones en la industria de las TI.

Si se trata de dar una definición formal de *big data*, habitualmente se toma como referencia la que ofrece la empresa Gartner¹ en su glosario de términos, quien describe *big data* como:

Big data es un activo de información de gran volumen, de alta velocidad y de alta variedad que demanda formas rentables e innovadoras de procesamiento de información para mejorar su comprensión e interpretación para la toma de decisiones.

También se encuentra la definición que apenas en junio de 2013 fue agregada en el *Diccionario Oxford*² y que dice:

Big data son datos informáticos de un tamaño considerable, tan grandes que presentan retos logísticos importantes para llevar a cabo su manipulación y gestión. También se refiere a una rama de la informática que implica el procesamiento de dichos datos.

¹ Gartner IT Glossary. Definición de *big data* en el glosario de Gartner. Disponible en: <http://www.gartner.com/it-glossary/big-data/>.

² Blog del portal de Oxford Dictionaries, donde se da a conocer la entrada del término *big data* a su vocablo. Disponible en: <http://blog.oxforddictionaries.com/2013/06/oed-june-2013-update/> | Referencia directa al término *big data* en el Diccionario Oxford. Disponible en: <http://www.oed.com/view/Entry/18833#eid301162177>.

Un recuento de más 40 definiciones sobre *big data* expresadas por un grupo de líderes de opinión y especialistas de reconocidas empresas como: *The New York Times*, Google, DataGov, LinkedIn, UC Berkeley, entre otras, fue compilado en el blog de DataScience de la Escuela de Información de la Universidad de Berkeley (UC Berkeley) (Dutcher, 2014), de las cuales podemos destacar:

Big data se refiere a aquellos datos que no pueden encajar fácilmente en una tradicional base de datos relacional. | *Hal Varian, economista en jefe en Google.*

Antes nos referíamos a *big data* como aquellos datos que una sola máquina no podía procesar. Hoy en día, *big data* se ha convertido en una palabra de moda para referirnos a cualquier tema relacionado con el procesamiento analítico y la visualización de los datos. | *Ryan Swanson, data science blogger en Data Science 101.*

Big data son aquellos datos que no se pueden procesar con las bases de datos tradicionales (relacionales) porque son demasiado grandes, están actualizándose constantemente o son demasiado complejos para las herramientas tradicionales de procesamiento de datos. | *AnnaLee Saxenian, decana de la Escuela de Información de la UC Berkeley.*

Big data se refiere al nuevo paradigma basado en datos (*data-driven*) para los negocios, la ciencia y tecnología, donde el enorme tamaño y alcance de los datos permite mejores y nuevos servicios, productos y plataformas. | *Gregory Piatetsky-Shapiro, presidente y editor de KDnuggets.com*

Big data no es más que una herramienta para capturar la realidad. | *David Leonhardt, editor de la columna "The Upshot External link" en The New York Times.*

Big data se refiere a aquellos *datasets* que son tan grandes, tan complejos o que cambian tan rápidamente, que empujan los límites de nuestra capacidad analítica. | *Joel Gurin, autor del blog Open Data Now.*

Big data representa un cambio cultural en el cual cada vez más decisiones se toman con la ayuda de algoritmos que trabajan sobre una evidencia documentada inmutable, y el término "big" se refiere más bien a la naturaleza omnipresente de este cambio, en lugar de a una cantidad particular de datos. | *Daniel Gillick, senior research scientist en Google.*

Big data se refiere al análisis de datos que están realmente desordenados o donde no sabemos cuáles son las preguntas correctas que debemos hacer. Se trata de un análisis que nos puede ayudar a encontrar patrones, detectar anomalías o encontrar nuevas estructuras en medio de puntos de datos por otra parte caóticos o incluso demasiado complejos. | Philip Ashlock, arquitecto en jefe de Data.gov

Y así podemos encontrar en la revisión de la literatura muchas más definiciones para el *big data*, estas definiciones han evolucionado rápidamente y se van adaptando según su aplicación permea a más campos de aplicación. A principios de esta década se utilizaba como un marco de referencia común las “tres dimensiones de los desafíos para la gestión de datos”, las denominadas 3 “v”, con las que se describen las características de los datos de acuerdo con su *volumen* (la cantidad de datos), *variedad* (diversidad y naturaleza) y *velocidad* con la que éstos se están generando o transmitiendo. Pero de forma más reciente (Gandomi & Haider, 2014) se han estado añadido más “v” a estas descripciones del *big data* llegando a utilizarse hasta 6, agregándose a las anteriores la *veracidad*, la *variabilidad* y sobre todo el *valor*, que pueden entregar un adecuado procesamiento de los datos. En la tabla 1 se pueden apreciar más detalles de las características de estas 6 “v” del *big data*.

Tabla 1
Las seis “v” del *big data*

Volumen	Variedad	Velocidad	Variabilidad	Veracidad	Valor
Gran cantidad de información generada continuamente.	Los datos pueden tener una estructura definida o no tener una estructura conocida.	Transmisión de datos por <i>streaming</i> .	Datos en constante cambio y distribuidos.	No todos los datos son confiables.	Mejor entendimiento de la información.
Procesamiento de terabytes, exabytes de información.	Diversidad de archivos multimedia, variedad de señales de sensores, dispositivos IoT, trazas y blogs de aplicaciones.	Tiempos de procesamiento cercanos al tiempo real.	Cambio de requerimientos, necesidades y resultados existentes.	Existe incertidumbre debido a incoherencia de los datos y ambigüedades.	Se toman decisiones sustentadas.
Cantidad de datos en incremento masivo.		Tiempos de respuestas de milisegundos y segundos.	Necesidad de adaptar o cambiar los modelos de datos para aplicar un procesamiento.	No siempre están disponibles los datos.	Permiten aplicar técnicas para automatización y optimización de procesos.
					Se comprueban hipótesis y correlaciones.

Fuente: Adaptado de Moura & Serrao, 2015

¿Qué tanta información es *big data*?

Comentamos que en las primeras definiciones de *big data* siempre ha estado presente la *v* de *volumen*, en términos del tamaño, de la gran cantidad de datos que deben ser procesados, pero ¿qué tanto volumen de datos debe ser para realmente considerarse como *big data*? Se habla de terabytes, petabytes o incluso de yottabytes. Todas estas cifras son una cantidad exorbitante de información, de la tabla 2 se desprende que mientras un 1 MB (2^{20} o 10^6) es igual a 1,048,576 bytes, si hablamos de tan sólo un yottabyte sería una cifra impronunciable de bytes con 24 ceros (2^{80} o 10^{24} o $1,000^8$). 1 yottabyte = 1 208 925 819 614 629 174 706 176 bytes.

Tabla 2
Equivalencias entre unidades de medida
para la información digital.

Símbolo	Medida	Equivalencia	En binario
B	byte	8 bits	$2^0 = 1$ byte
kB	kilobyte	1024 bytes	2^{10} bytes
MB	megabyte	1024 KB	2^{20} bytes
GB	gigabyte	1024 MB	2^{30} bytes
TB	terabyte	1024 GB	2^{40} bytes
PB	petabyte	1024 TB	2^{50} bytes
EB	exabyte	1024 PB	2^{60} bytes
ZB	zettabyte	1024 EB	2^{70} bytes
YB	yottabyte	1024 ZB	2^{80} bytes

Fuente: Basada en <https://es.wikipedia.org/wiki/Zettabyte>.

Ahora, es necesario aclarar que, para este fenómeno del *big data*, independientemente del gran volumen que puedan tener sus datos, es muy importante analizar la naturaleza de su contenido, la estructura y el tipo de datos que se generan y también considerar las fuentes generadoras de estos datos. Pero ¿de dónde proviene tanta información?, ¿cómo procesar la inmensa cantidad de información que se genera a cada momento? Es increíble la cantidad de información que se genera hoy en día gracias a las tecnologías de información y el internet. El auge de las redes sociales, donde cada uno de nosotros nos podemos convertir en generadores de contenido, han hecho que este fenómeno del *big data* sea cada vez más evidente.

Para darnos una idea del inmenso contenido que se genera tan sólo en las redes sociales, podemos analizar una infografía que ofrece *SmartInsights.com*, un portal orientado al *marketing* digital. En la figura 1 se muestra la información que abarca los años 2014, 2015 y 2016 en forma de un gráfico de tipo radial donde se refleja el número de búsquedas en Google, los mensajes posteados en Facebook, los mensajes de *WhatsApp* enviados o las horas de videos subidos a *YouTube* en tan sólo 60 segundos.

Figura 1
¿Qué tanta información se genera en internet
en tan sólo un minuto?



Fuente: Infografía de *SmartInsights*. <http://www.smartinsights.com/internet-marketing-statistics/happens-online-60-seconds/>.

También, en el portal web de *coupofy.com*, se incluye un marco de visualización dinámica donde despliegan datos sobre el comportamiento de las principales fuentes de redes sociales en tiempo real, incluyendo *Facebook*, *Twitter*, *YouTube*, *Tumblr*, *Google +*, *Instagram*, *Pinterest*, *Reddit* y *LinkedIn*. En la figura 2 se muestra una estimación del contenido generado en tan sólo un minuto.

Figura 2

Visualización de la estimación del contenido digital que se estaría generando en tiempo real en las principales redes sociales



Fuente: <http://www.coupofy.com/social-media-in-realtime/>

Fuente: <http://www.coupofy.com/social-media-in-realtime/>.

Otra referencia relacionada es el portal *InternetLiveStats*³ que también ofrece aproximaciones del tráfico que se genera en tan sólo un segundo y en tiempo real para las principales fuentes de contenido: *Twitter, Instagram, Tumblr, Skype, Google, YouTube*, correos electrónicos.

Big data y su relación con los sistemas de bases de datos

Guy Harrison, un experto con más de 30 años de experiencia en bases de datos, menciona que en esta área de las bases de datos, a partir de 2010 se han producido más cambios significativos y fundamentales que los que se registraron en los 25 años anteriores y plantea *cinco tendencias clave en las tecnologías de bases de datos* (Harrison, 2015) que están revolucionando los sistemas de bases de datos actuales y los del futuro. Estas tendencias son las siguientes:

- *El fin de la hegemonía del modelo relacional de datos.* Esto es el fin de una era donde una sola tecnología de datos se utilizaba como la única solución viable que encajaba para todo tipo de problemática.
- *El surgimiento de tecnologías de soporte para big data*, citando particularmente el aporte que realizó Google con su sistema distribuido de archivos *GFS (Google File System)*, su algoritmo *MapReduce* y *BigTable* como su sistema de base de datos no relacional. Estos tres componentes fueron la base para el surgimiento de *Hadoop*, quien hoy en día es el soporte para la mayoría de proyectos de *big data* (Harrison, 2015b).
- *La explosión creciente de sistemas de bases de datos no-relacionales* (conocidos generalmente como NoSQL), como es el caso de MongoDB, Cassandra, Hbase, entre otras.
- La creciente posibilidad y *capacidad de almacenar datos en formato de columnas*, en lugar del tradicional método relacional que está orientado a filas, lo cual propicia considerables ventajas para el procesamiento analítico de datos.

³ <http://www.internetlivestats.com/>.

- *La disminución en la dependencia de medios de almacenamiento magnético*, como la única tecnología viable para almacenar datos de forma persistente, gracias al surgimiento de dispositivos de estado sólido como los discos SSD y la posibilidad de almacenar bases de datos completas en memoria (*in-memory databases*) (Harrison, 2015b).

Los sistemas de bases de datos NoSQL

Las bases de datos NoSQL han ido tomando mucha fuerza e importancia en los últimos años. Fue en 2009 durante un evento acerca de las bases de datos distribuidas donde se presentaron nuevas plataformas de bases de datos no relacionales propuestas por Google con su *BigTable* y Amazon con su motor *DynamoDB* (Lourenço *et al.*, 2015) y donde el término NoSQL fue empleado como *Not-Only-SQL* para expresar estas nuevas tecnologías de bases de datos que extienden las capacidades del modelo relacional y que se empleaban para almacenar y gestionar grandes cantidades de datos.

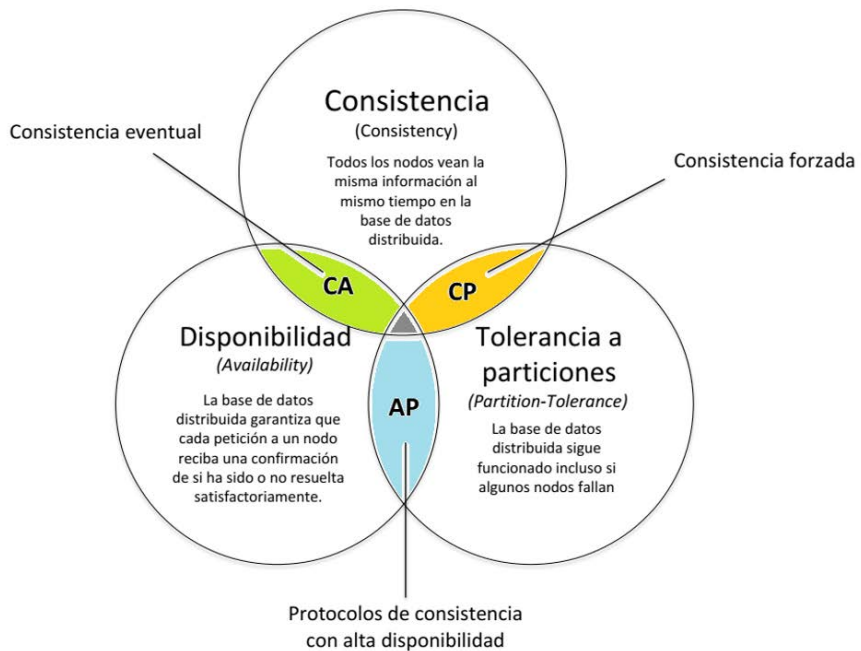
Es en los escenarios de bases de datos distribuidas y de grandes sistemas web que tienen que escalar en grandes proporciones, cuando los sistemas tradicionales de bases de datos basados en el modelo relacional de Codd (Codd, 1970) quedan fuera de la jugada, y donde ya no son aplicables las características inherentes a los motores relacionales conocidas como ACID (acrónimo en inglés de *atomicity, consistency, isolation y durability*), así es como surgen propuestas como la de Brewer con su teorema de CAP (Brewer, 2000) en la que se empieza a hablar de posturas intermedias como el *BASE* (*basic available-soft estate*) que sugieren que los sistemas distribuidos puedan tener fases de transición hasta tener estados de eventual consistencia en sus datos.

En este teorema de CAP (Brewer, 2000) se establece que ningún sistema distribuido puede garantizar simultáneamente al 100% la consistencia de sus datos (*consistency*), la disponibilidad de su servicio (*availability*) y la tolerancia a la partición de sus nodos (*partition-tolerance*). Es decir, no se pueden tener estos tres atributos a la vez, porque en su lugar se tendrá que escoger entre las combinaciones de dos de estos tres elementos:

- La combinación de “CA” es en la que los sistemas de BD (base de datos) optarán por tener una alta disponibilidad y una *eventual consistencia* de datos, lo cual implica sacrificar la distribución de sus datos, en esta zona cae la mayoría de los sistemas tradicionales (relacionales) y una gama de sistemas NoSQL que están más orientados a operaciones de lectura.
- La combinación “CP”, que es considerada una zona de *consistencia forzada*, es en la cual se sacrificaría en ciertos momentos el rasgo de la disponibilidad dando lugar a que en ciertos momentos los nodos tarden en tener los mismos datos ya sincronizados.
- La combinación “AP” es el escenario que da lugar a los sistemas NoSQL que requieren forzosamente un gran escalamiento y una mayor distribución de sus datos, por lo que el criterio de la tolerancia a la partición es una propiedad irrenunciable, siendo entonces en la disponibilidad y en la consistencia donde se hacen malabarismos, sacrificando más la consistencia que la disponibilidad (Wada *et al.*, 2011).

En la figura 3 se muestra una representación del teorema de CAP de la forma de un diagrama de conjuntos que se intersectan en ciertas zonas, dando lugar a estas combinaciones de “CA”, “CP” y “AP”.

Figura 3
Representación del teorema de CAP de Brewer
y ejemplificación de la zona (CA, AP y CP) en la que radican
algunos sistemas NoSQL



CA	AP	CP
CouchDB	Aerospike	Cassandra
Postgres	Cassandra	Couchbase
MySQL	Voldemort	Hbase
Vertica	Dynamo	MongoDB
Aster Data	Tokyo Cabinet	BigTable
Greenplum	KAI	Hypertable
	CouchDB	Terrastore
	SimpleDB	Scalaris
	Riak	MemcacheDB
		Berkeley DB

Fuente: Basado en Brewer, E.A. (2000).

Es importante mencionar que esta clasificación basada en la intersección de zonas del teorema de CAP para los sistemas NoSQL, no debe ser tomada de una forma inflexible ni mutuamente excluyente, dado que esto se ha utilizado como justificación para que ciertos desarrollos de sistemas NoSQL no garanticen una total consistencia en los datos (Stonebraker, 2010). Es aquí donde la oferta de sistemas NoSQL debe esmerarse y ofrecer diversos esquemas de configuración que puedan personalizarse para adaptarse al escenario más conveniente según las necesidades de su implementación y entonces permitir que se realice un tipo de *tunning* para mejorar sus prestaciones. Para ilustrar este punto, se aprecia en la parte inferior de la figura 3 que algunos sistemas como el Cassandra pueden aparecer tanto en la región de AP como en la de CP y también CouchDB está tanto en CA como en la región de AP dependiendo de la configuración que se realice con ellos.

Clasificación de los sistemas de base de datos NoSQL

A diferencia de los sistemas de bases de datos relacionales que tienen un modelo base y al lenguaje SQL como pautas directas de implementación, los sistemas de bases de datos NoSQL tienen muchas variantes y son de diferentes tipos, porque dependen del objetivo para el cual están diseñados, de su arquitectura y del modelo de datos sobre el que se hayan desarrollado. Entonces, para clasificar a los sistemas NoSQL podemos considerar una clasificación muy difundida en la que se dividen en cuatro grupos de acuerdo con su modelo de datos (Hetch & Jablonski, 2011)

- *Almacén de documentos (document store)*: En este modelo, la base de datos es una colección de documentos en formatos de texto estructurado como XML o JSON y más recientemente el BSON (JSON binario). Cada documento incluye varios campos de datos y se asocian con un identificador de documento. Este modelo es el más popular dentro de los sistemas NoSQL, ya que está orientado a evitar operaciones complejas de unión, permitir modificaciones de su esquema (estructura de datos), ofrecer un amplio conjunto de capacidades de consulta (mediante interfaz de programación de aplicaciones) y como punto

más fuerte el tener una alta escalabilidad. Los sistemas NoSQL más populares en esta categoría son MongoDB, Amazon DynamoDB, Couchbase, CouchDB, FireBase, RavenDB, entre otros.

- *Almacén de clave-valor (key-value store)*: Los datos se almacenan siempre en parejas de clave y valor. El valor es un bloque de datos y se usa la clave para acceder directamente a los datos. Es fácil de construir, proporciona escalabilidad fácil y ofrece un buen rendimiento. Los sistemas NoSQL que destacan son: Redis, Memcached, Riak KV, Aerospike, entre otros.
- *Almacén tabular u orientado a columnas (column oriented store)*. Este modelo de almacenamiento extensible está basado en la disposición de la información en forma de columnas (vertical) a diferencia de la tradicional orientación en filas (horizontal) de las bases de datos relacionales. Este modelo se describe como un mapa de datos multidimensional ordenado, que es persistente, está distribuido, con baja densidad en sus elementos (*sparsity*), pero que resulta muy apropiado para gestionar sistemas que puedan escalar con grandes cantidades de datos. Los sistemas NoSQL más representativos de esta categoría son Cassandra, HBase, Accumulo, Google Cloud BigTable, entre otros.
- *Almacén basado en grafos (graph databases)*: Los nodos y los enlaces entre nodos son el concepto principal en las bases de datos basadas en grafos. Los nodos corresponden a entidades tales como un usuario o cualquier objeto y los enlaces representan las relaciones existentes entre los nodos. Ejemplos de sistemas NoSQL basados en grafos son: Neo4j, Titan, Giraph, Gremlin, InfiniteGraph, FlockDB, entre otros.

En la tabla 3 se muestran algunas de las principales características que se pueden utilizar para describir a los sistemas de bases de datos NoSQL. En esta tabla se incluye la comparación de los sistemas NoSQL más representativos y populares de la actualidad.

Tabla 3

Características principales de sistemas de BD NoSQL

	<i>MongoDB</i>	<i>Cassandra</i>	<i>Couchbase</i>	<i>Neo4j</i>	<i>Hbase</i>
<i>Descripción</i>	Uno de los almacenes de documentos más populares	Almacén tabular basado en ideas del BigTable y DynamoDB	Almacén de documentos basado en JSON derivado de CouchDB con interfaz compatible con Memcached	Almacén de grafos nativo para aplicaciones inteligentes y en tiempo real a nivel empresarial	Almacén tabular basado en Apache Hadoop y conceptos de BigTable
<i>Modelo de datos</i>	Almacén de documentos	Almacén tabular	Almacén de documentos	Almacén de grafos	Almacén tabular
<i>Desarrollador</i>	MongoDB, Inc.	Apache Software Foundation	Couchbase, Inc.	Neo4j, Inc.	Apache Software Foundation
<i>Lanzamiento</i>	2009	2008	2011	2007	2008
<i>Lenguaje de implementación</i>	C + +	Java	C, C + + y Erlang	Java, Scala, Cypher	Java
<i>Script del lado del servidor</i>	JavaScript	No	Funciones de vista en JavaScript	Sí	Sí
<i>Método de replicación</i>	Replicación maestro-esclavo	Factor de replicación seleccionable	Replicación maestro-maestro y maestro-esclavo	<i>Clustering</i> casual utilizando el protocolo Raft	Factor de replicación seleccionable
<i>Mejor uso</i>	Si los datos cambian constantemente y se necesitan consultas dinámicas. Si se necesita buen desempeño con una BD grande	Cuando los datos necesarios no caben en el servidor, pero se requiere una interfaz amigable y familiar para ello	Cualquier aplicación que requiera acceso a los datos de baja latencia, soporte de alta concurrencia y alta disponibilidad	Cuando se necesita recorrer una gran cantidad de relaciones y adyacencias libres de índices	Si la aplicación tiene un esquema variable en el que cada fila es ligeramente diferente / Se necesita acceso a datos basados en claves

Fuente: Basado en Shaleynikov, 2017.

A continuación se muestra en la tabla 4 una comparativa de los 10 motores de datos NoSQL más populares, de acuerdo con el *ranking* que ofrece el portal web *db-engines.com*.

Tabla 4
Los 10 sistemas NoSQL más populares de la actualidad

Nombre del DBMS	Empresa fabricante	Fecha de la 1ª versión	Tipo de licenciamiento	Tipo de DBMS NoSQL
MongoDB	MongoDB, Inc	2009	Comercial, AGPL3	Document store
Cassandra	Apache Software Foundation	2008	Open source - Apache v2	Wide column store
Redis	Salvatore Sanfilippo	2009	Comercial, BSD 3	Key-value store
Elasticsearch	Elastic	2010	Open source - Apache v2	Search engine
Solr	Apache Software Foundation	2004	Open source - Apache v2	Search engine
HBase	Apache Software Foundation	2008	Open source - Apache v2	Wide column store
Splunk	Splunk, Inc	2003	Comercial	Search engine
Neo4j	Neo4j, Inc.	2007	Comercial, GPL3	Graph DBMS
Amazon DynamoDB	Amazon	2012	Comercial, free tier	Document store
Couchbase	Couchbase, Inc	2011	Open source - Apache v2	Document store

Fuente: Basado en el *ranking* de septiembre de 2017 del portal *db-engines.com*.

Atributos de calidad para sistemas de BD NoSQL

En el estudio de Lourenço, *et al.* (2015) se dieron a la tarea de identificar y proponer una serie atributos de calidad que todo sistema de base de datos NoSQL debería de ofrecer. Estos atributos de calidad fueron: disponibilidad, consistencia, durabilidad, sostenibilidad, desempeño, tiempos de estabilización y recuperación, confiabilidad, robustez y escalabilidad.

En la tabla 5 se muestra una síntesis de estos atributos de calidad.

Tabla 5
Atributos de la calidad para sistemas de base de datos NoSQL

Atributo	Descripción
Disponibilidad	Métrica empleada para medir la disponibilidad, es el porcentaje de tiempo en que un sistema es capaz de realizar las funciones para las que está diseñado. La mayoría de los sistemas NoSQL proveen mejor disponibilidad que los sistemas relacionales.
Consistencia	Se define como el requerimiento de que cualquier transacción de la base de datos debe alterar los datos solamente en un escenario permitido. Cualquier dato escrito en la base de datos debe ser válido según las reglas establecidas. La consistencia es un aspecto variable en los sistemas NoSQL.
Durabilidad	La durabilidad significa que una vez que una transacción es confirmada, ésta quedará persistida, incluso ante eventos como pérdida de alimentación eléctrica, errores y caídas del sistema. Los sistemas NoSQL con menor desempeño tienden a tener mayor durabilidad debido a la prioridad respecto a la velocidad de las transacciones frente a la permanencia de datos. En la mayoría de sistemas NoSQL, este aspecto es configurable.
Mantenibilidad	Trata de las herramientas, procesos y prácticas que permiten mantener el sistema de base de datos. Comúnmente se utilizan <i>logs</i> o bitácoras. Los sistemas con más componentes representan mayor complejidad respecto al mantenimiento.
Desempeño	El desempeño en sistemas NoSQL depende completamente de la arquitectura del sistema de base de datos. Los sistemas basados en columnas se orientan a operaciones de escritura, mientras que los sistemas basados en documentos se orientan a operaciones de lectura.
Confiabilidad	Probabilidad de que se produzca un error en un único componente de la solución. La confiabilidad se sustenta en la capacidad de los sistemas de realizar cierta cantidad de operaciones sin cometer errores. Las bases de datos NoSQL contemplan minoritariamente el aspecto de confiabilidad, debido a su pronta actualización de los datos.
Robustez	Se define como la capacidad de los sistemas de lidiar con errores de ejecución. Al igual que la confiabilidad, la robustez es un aspecto poco atendido en los sistemas NoSQL.
Escalabilidad	Medida de la capacidad de crecimiento de un servicio o de una aplicación para satisfacer demandas de rendimiento cada vez mayores. Los sistemas NoSQL son escalables en el rendimiento, en cuanto a la adición de nodos o mejoras en el hardware.

Fuente: Basado en Lourenço, *et al.*, 2015.

La idea de contar con estos atributos de calidad es que las personas que tienen que decidir cuál sistema de BD NoSQL van a utilizar, puedan contar con una mayor cantidad de parámetros y métricas para mejorar la evaluación de la tecnología NoSQL aplicable en un escenario o sistema específico y con ello tomar la mejor decisión desde una perspectiva más cualitativa.

Tendencias actuales en sistemas de bases de datos y big data

Como se ha mencionado en las secciones anteriores, existe una gran cantidad de sistemas NoSQL que han emergido en la última década, cada uno de ellos con una cierta orientación y finalidad muy específica para atender los retos del *big data* y de los ambientes distribuidos. Por esto es muy importante conocer estas nuevas tecnologías y estar al pendiente de las nuevas tendencias ya sea para conocerlas, aprender a utilizarlas, evaluarlas o poder recomendar su mejor uso. En este sentido, mostraremos el análisis de la popularidad y de la penetración de los sistemas de bases de datos desde diferentes perspectivas: 1) de *rankings* de popularidad de estos sistemas manejadores de bases de datos, 2) de la opinión de los desarrolladores de software, 3) desde un análisis de la oferta y la demanda en el mercado laboral y, finalmente, 4) con un análisis de cómo se están moviendo los niveles de salario para especialistas de estas áreas.

Sistemas de bases de datos más populares

El portal especializado en bases de datos *DB-Engines.com* genera un *ranking* de popularidad que actualiza cada mes, donde además de ofrecer públicamente este *ranking*, muestra una enciclopedia muy completa con los datos técnicos de más de 300 diferentes sistemas de gestión de bases de datos (DBMS, por sus siglas en inglés), también permite seleccionar la información de acuerdo con el tipo de modelo de datos, visualizar diagramas de tendencias en la popularidad de los mismos y mucha información adicional.

La forma en que *DB-engines.com* define la “popularidad” de los DBMS para este *ranking*⁴ no está basada en cifras oficiales ni en el volumen de ventas que las empresas fabricantes han facturado, sino que consiste en un algoritmo propio que incluye información que se puede recopilar de la web y que considera: las menciones relevantes en los resultados de buscadores como *Google*, *Bing* y *Yandex*; la frecuencia de búsquedas en *Google Trends*; la frecuencia de discusiones técnicas, *post* y *blogs* en sitios especializados como *StackOverflow* y *DBA Stack Exchange*; las ofertas de empleo en portales especializados como *Indeed* y *Simply Hired*; los perfiles profesionales localizados en sitios como *LinkedIn* y *Upwork*; así como el análisis de contenido en redes sociales como *Twitter*.

El top 30 de sistemas de bases de datos relacionales y NoSQL

Utilizando este *ranking* de popularidad junto con la información de la enciclopedia disponible en *DB-engines.com*, generamos un listado de los 30 sistemas de bases de datos (DBMS) más populares. En este listado que se incluye en la tabla 6 se muestra un gran predominio de los motores relacionales por encima de los NoSQL. De hecho, *MongoDB*, siendo el motor NoSQL más popular, aparece en este *ranking* global hasta la quinta posición. Otro dato muy interesante es la gran diferencia en el puntaje que se tiene entre los tres primeros lugares comparados contra el cuarto y quinto lugar, esta diferencia es de casi 4 veces: mientras que el primer lugar (Oracle) tiene 1,359 puntos, el quinto lugar (MongoDB) tiene solo 332.73 puntos.

⁴ https://db-engines.com/en/ranking_definition/

Tabla 6
Top 30 de sistemas de bases de datos (DBMS) más populares
en septiembre de 2017

No.	Nombre del DBMS	Empresa fabricante	1ª versión	Tipo de licencia	Tipo DBMS	Puntaje	Variación Sep2016	#Sep 2016
1	Oracle	Oracle	1980	Comercial	Relational DBMS	1,359.09	-66.47	1
2	MySQL	Oracle	1995	Comercial, GPL2	Relational DBMS	1,312.61	-41.41	2
3	Microsoft SQL Server	Microsoft	1989	Comercial	Relational DBMS	1,212.54	0.99	3
4	PostgreSQL	PostgreSQL Global Development Group	1989	Open source - BSD	Relational DBMS	372.36	56.01	4
5	MongoDB	MongoDB, Inc	2009	Comercial, AGPL3	Document store	332.73	16.74	5
6	DB2	IBM	1983	Comercial	Relational DBMS	198.34	17.15	6
7	Microsoft Access	Microsoft	1992	Comercial	Relational DBMS	128.81	5.50	8
8	Cassandra	Apache Software Foundation	2008	Open source - Apache v2	Wide column store	126.20	-4.29	7
9	Redis	Salvatore Sanfilippo	2009	Comercial, BSD 3	Key-value store	120.41	12.61	10
10	Elasticsearch	Elastic	2010	Open source - Apache v2	Search engine	120.00	23.52	11
11	SQLite	Dwayne Richard Hipp	2000	Open source - public domain	Relational DBMS	112.04	3.41	9
12	Teradata	Teradata	1979	Comercial	Relational DBMS	80.91	7.84	12
13	Solr	Apache Software Foundation	2004	Open source - Apache v2	Search engine	69.91	2.95	14
14	SAP Adaptive Server	SAP, Sybase	1987	Comercial	Relational DBMS	66.75	-2.41	13
15	HBase	Apache Software Foundation	2008	Open source - Apache v2	Wide column store	64.34	6.53	15
16	Splunk	Splunk, Inc	2003	Comercial	Search engine	62.57	11.28	17
17	FileMaker	Filemaker, Inc (Apple)	1983	Comercial	Relational DBMS	61.00	5.64	16
18	MariaDB	MariaDB Foundation	2009	Comercial, GPL2	Relational DBMS	55.47	16.94	20

Continúa en la página siguiente.

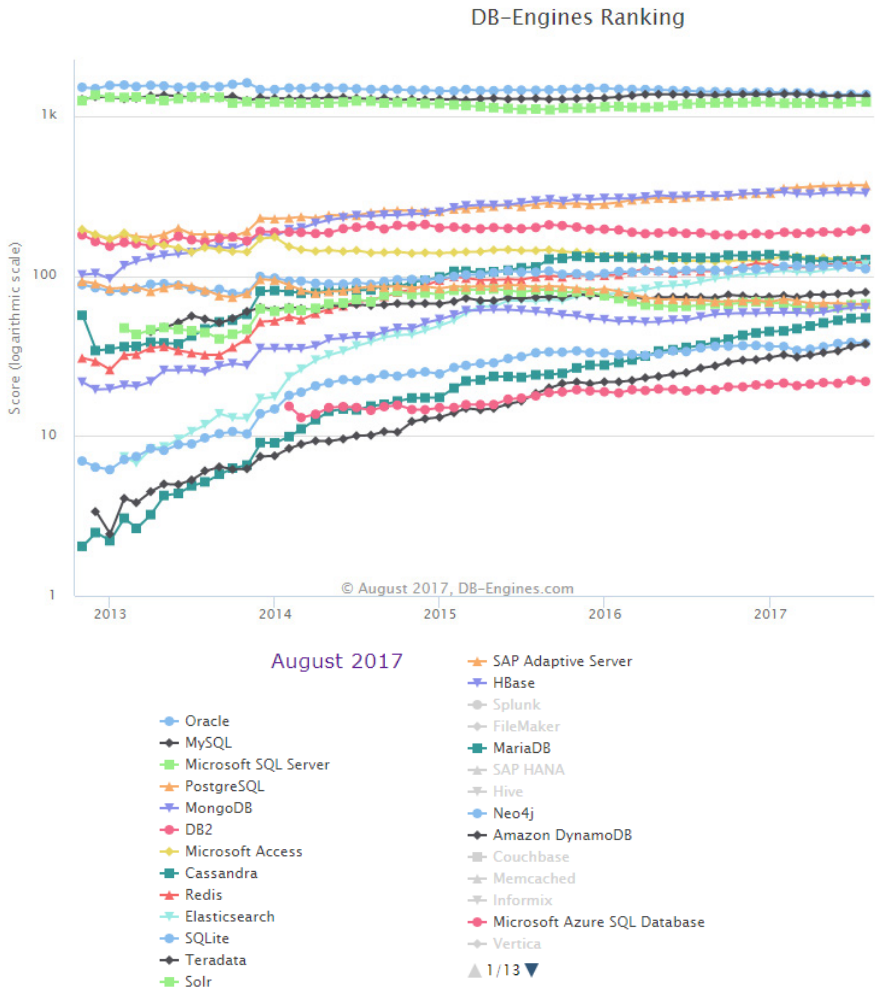
Viene de la página anterior.

#	Nombre del DBMS	Empresa fabricante	1ª versión	Tipo de licencia	Tipo DBMS	Puntaje	Variación Sep2016	#Sep 2016
19	Hive	Apache Software Foundation	2012	Open source - Apache v2	Relational DBMS	48.62	-0.21	18
20	SAP HANA	SAP	2010	Comercial	Relational DBMS	48.33	4.91	19
21	Neo4j	Neo4j, Inc.	2007	Comercial, GPL3	Graph DBMS	38.42	2.06	21
22	Amazon DynamoDB	Amazon	2012	Comercial, free tier	Document store	37.82	10.40	25
23	Couchbase	Couchbase, Inc	2011	Open source - Apache v2	Document store	33.11	4.57	22
24	Memcached	Danga Interactive (LiveJournal)	2003	Open source - BSD	Key-value store	28.94	0.51	23
25	Informix	IBM	1984	Comercial	Relational DBMS	27.84	-0.35	24
26	Vertica	HP (Vertica)	2005	Comercial	Relational DBMS	22.01	0.95	27
27	Microsoft Azure SQL Database	Microsoft	2010	Comercial	Relational DBMS	21.60	2.18	29
28	CouchDB	Apache Software Foundation	2005	Open source - Apache v2	Document store	20.99	-0.48	26
29	Netezza	IBM	2000	Comercial	Relational DBMS	19.40	-0.41	28
30	Firebird	Firebird Foundation (Borland Interbase)	2000	Comercial, Open source	Relational DBMS	17.86	2.28	30

Fuente: Basado en db-engines.com.

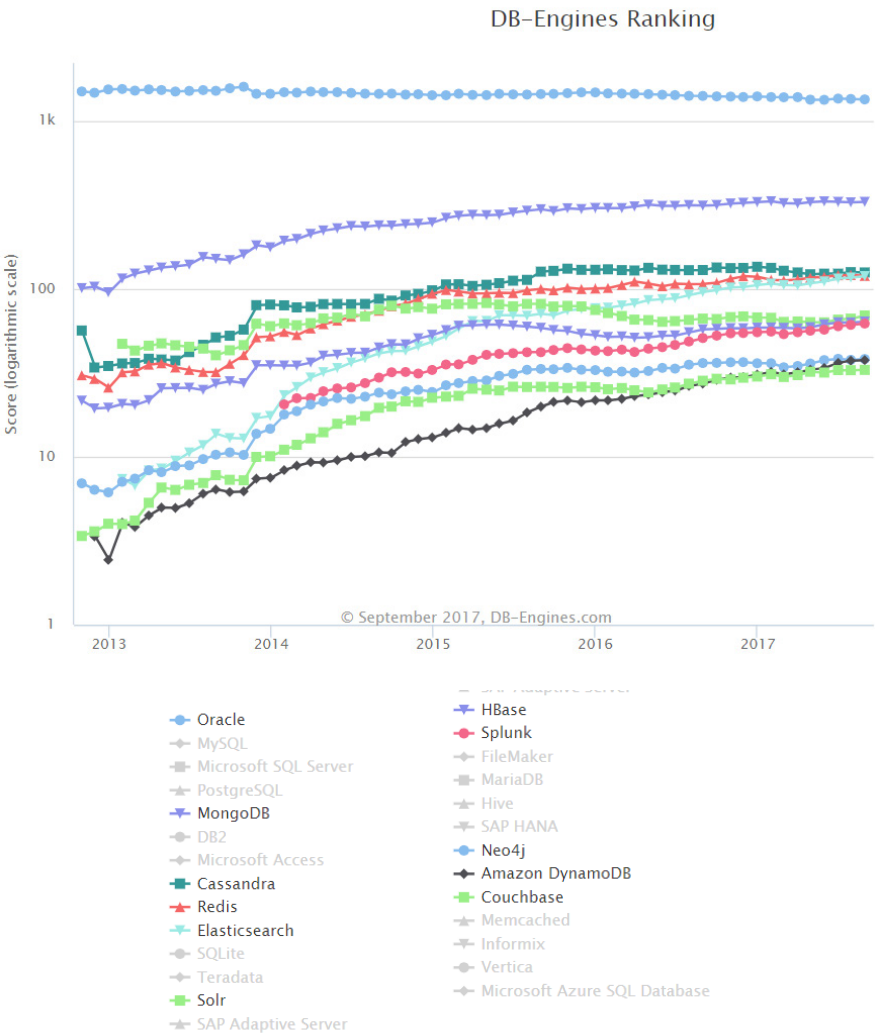
En la figura 4 se muestra un gráfico en escala logarítmica de la tendencia en popularidad de los top 20 DBMS más populares. Se aprecia claramente que los tres primeros lugares son líderes indiscutibles a lo largo de 2013 y hasta la fecha, y también, como algunos motores NoSQL (p. e. *MongoDB*) empiezan a tener notoriedad, pero siguen estando muy distantes a los tres punteros que son: *Oracle*, *MySQL* y *MS SQL Server*.

Figura 4
Top 20, DBMS incluyendo relacionales y NoSQL



Fuente: Tomado de DB-engines.com.

Figura 5
Top 10, sistemas NoSQL vs. *Oracle*



Fuente: Tomado de DB-engines.com.

En la figura 5 se muestra de forma similar la tendencia de popularidad para los motores NoSQL, se ha dejado activa la visualización del *ranking* de *Oracle* para tenerlo de referencia y apreciar el amplio margen que hay entre los motores NoSQL y el líder global en este *ranking*.

La encuesta para desarrolladores de *Stackoverflow*

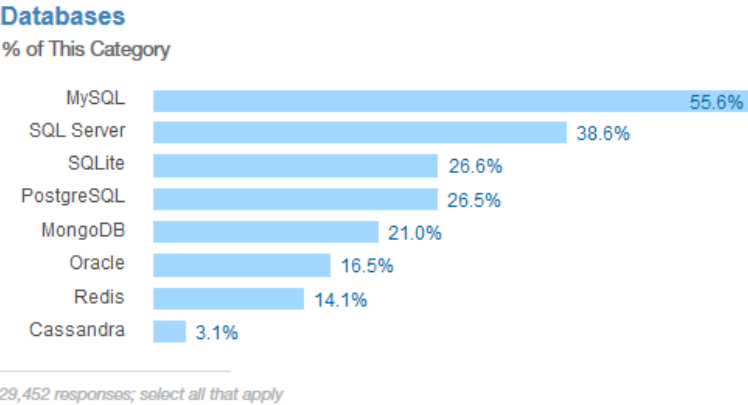
“Los profesionales del área de bases de datos con habilidades en SQL siguen siendo muy bien reconocidos, demandados y bien pagados.” Esta tendencia se puede apreciar en el artículo “Developer Hiring Trends 2017” (Mazzina, 2017) donde se analizan los resultados de la encuesta 2017 realizada por *Stackoverflow* (Stackoverflow, 2017), quien es una de las comunidades virtuales más grandes y prestigiadas de desarrolladores, cuya última edición tuvo las respuestas de más de sesenta mil encuestados a lo largo de todos los continentes del planeta.

En esta interpretación de los resultados también se comentan los cambios en las tecnologías y ofertas de empleo que las empresas de tecnología están necesitando. Se observa que hay una alta demanda de puestos especializados en los cuales hay pocos candidatos. Dentro de las áreas que muestran la mayor demanda en relación con el número de desarrolladores disponibles son: *Backend* para *web/cloud*, *iOS*, *Android* y *DBA/SQL*.

Particularmente para el perfil *DBA* y especialistas en *SQL*, se tiene que la demanda de administradores de bases de datos y desarrolladores es mucho más alta que la oferta de profesionales que están capacitados para cubrir estos puestos. Además, se tienen muchas posiciones abiertas para: administradores de bases de datos expertos en *SQL*, especializados en bases de datos *Oracle* y desarrolladores de bases de datos en general, por nombrar algunos.

También, con respecto a las tecnologías de bases de datos más populares y más usadas por la comunidad de desarrolladores que participa en *Stackoverflow*, en la figura 6 se muestran resultados muy contundentes a favor de tecnologías con motores relacionales, apareciendo hasta la quinta posición el *MongoDB* con un 21%, *Redis* con 14.1% y al final *Cassandra* con tan sólo un 3.1%.

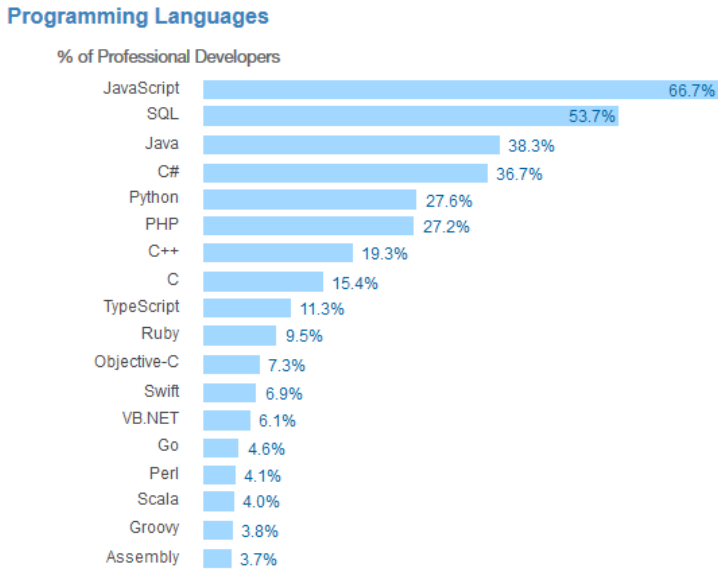
Figura 6
Resultados de la encuesta *Stackoverflow* 2017,
donde se analizan las tecnologías de bases de datos
que más utilizan los desarrolladores a nivel mundial



Fuente: Tomado de *Stackoverflow*, 2017.

Con respecto a los lenguajes de programación más utilizados a nivel mundial (figura 7), destaca ampliamente *JavaScript* con un 66.7%, pero igualmente es de considerar que la segunda posición, y por mucho, es el lenguaje SQL el que se utiliza para gestionar los sistemas de bases de datos tradicionales.

Figura 7
Resultados de la encuesta *Stackoverflow* 2017,
donde se presentan los lenguajes de programación más utilizados
por los desarrolladores a nivel mundial



27,612 responses; select all that apply. Shown as a percentage of the respondents who chose at least one language, framework, database, or platform.

Fuente: Tomado de *Stackoverflow*, 2017.

Oferta y demanda de empleos en el mercado laboral

Ahora, para realizar un análisis desde la perspectiva del mercado laboral, tomamos como referencia el portal *indeed.com*, que es una empresa especializada en ofertas y búsquedas de empleo, y utilizamos la sección *JobTrends* (*indeed.com*, 2017) de esta plataforma ya que nos permite analizar las tendencias en las ofertas y demandas de empleo a nivel mundial y a lo largo de ciertos periodos de tiempo. Por ejemplo, si deseamos analizar las tendencias de empleo con una comparativa entre varios perfiles tecnológicos con los puestos de *NoSQL*, *big data*, *SQL*, *web developer*, *android deve-*

loper y *cloud computing*, solo tendríamos que escribir la siguiente URL en nuestro navegador web:⁵

URL = <https://www.indeed.com/jobtrends/q-NoSQL-q-big-data-q-SQL-q-web-developer-q-android-developer-q-cloud-computing.html>

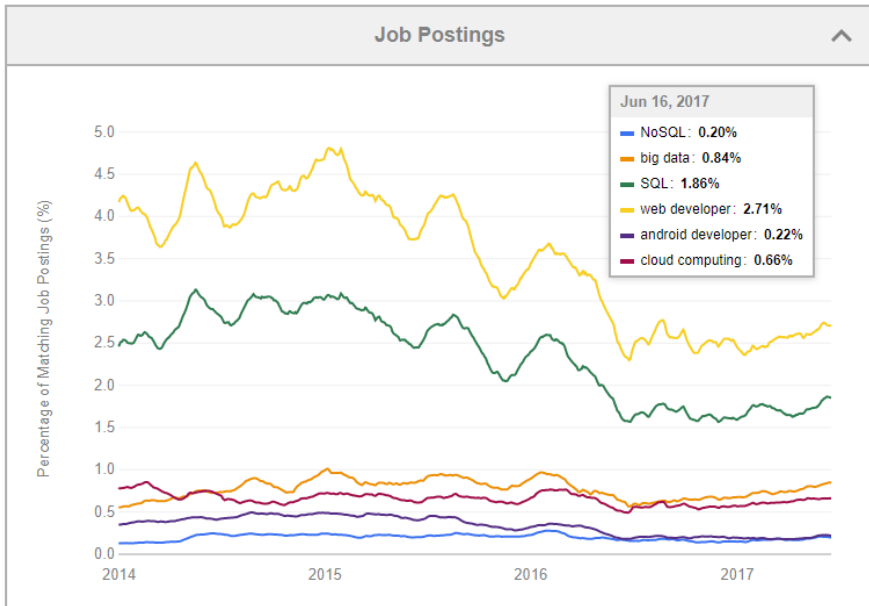
Demandas de empleo por parte de las empresas

En el análisis en la tendencia de ofertas de empleo (*job postings*) en *indeed.com* se observa que la oferta de empleos sobre el SQL (el lenguaje estandarizado para administrar bases de datos relacionales) aún sigue siendo más elevada que las nuevas tecnologías de bases de datos, el NoSQL y el *big data*. Para efectuar esta comparación y tener una referencia, se incluyeron otras ofertas de empleo de moda como el “desarrollo web”, “desarrollo para android” y “*cloud computing*”.

En la figura 8 se muestra una gráfica que incluye ofertas de empleo desde 2014 y hasta la fecha, y se observa como un rasgo relevante que la oferta de trabajos para “desarrollo android”, “tecnologías en la nube” y “*big data*” presentan una tendencia estable muy similar. Pero, por el contrario, el “desarrollo web” se manifiesta con una oferta de tres veces mayor mientras que para empleos para SQL es aproximadamente de dos veces y muy por encima del grupo de NoSQL, *big data* y *cloud computing*.

⁵ Durante el proceso final de elaboración de este capítulo, se detectó que la funcionalidad de *Indeed.com/JobTrends/* para formular expresiones comparativas de empleo ya no está disponible, esto pudiera ser una situación temporal. Afortunadamente, ya se habían capturado en pantalla las gráficas resultantes que se muestran en las siguientes dos figuras.

Figura 8
Comparativa en tendencias de ofertas de empleo
por parte de las empresas para perfiles de *big data*
y bases de datos / Periodo de 2014 a 2017

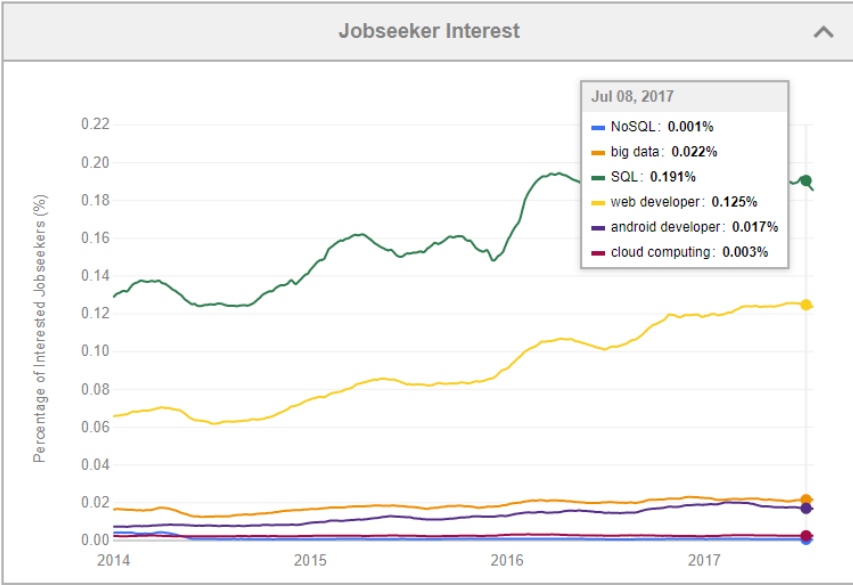


Fuente: Tomado de [Indeed.com/JobTrends/](https://www.indeed.com/JobTrends/).

Profesionales que buscan trabajo y ofrecen sus servicios

De forma similar, se utilizó la plataforma de *indeed.com* en la sección de *JobTrends* para realizar el análisis del tipo de empleo que buscan las personas (*jobseeker interest*); se aprecia en el gráfico de la figura 9 que también hay un mayor interés en buscar trabajos relacionados con SQL con una curva de tendencia muy similar y equiparable con los que buscan trabajo como “desarrolladores web”.

Figura 9
Comparativa en tendencias de interés de empleo
por parte de las personas para perfiles de *big data* y bases de
datos / Periodo de 2014 a 2017



Fuente: Tomado de Indeed.com/JobTrends/.

Sin embargo, en comparación con la demanda de puestos (figura 8 vs. figura 9) se nota que sigue siendo mayor la necesidad en las empresas de contar con profesionales en estas áreas. Por ejemplo, para profesionales con perfiles en SQL la demanda de empresas solicitantes es del 1.86% mientras que la oferta no llega al 0.2% de personas postulantes. También cabe aclarar que estos porcentajes que parecieran ser muy bajos resultan en estos valores porque se comparan contra el 100% de todas las posibles ofertas de empleo de cualquier categoría existente, de ahí la importancia de haberlos comparado contra un perfil de moda en la misma categoría de las TI como lo es “*web developer*”.

Empleos con más futuro: rangos de ingreso para profesionales en TI

En el estudio reciente de la “Guía 2017 de salarios para profesionales de tecnología para EUA” (RHT, 2017), publicado por la empresa consultora estadounidense Robert Half Technology, realizan un análisis de cuáles son los roles profesionales más demandados por las empresas del área de la TI. En este estudio se ha identificado que si dejamos fuera de este análisis los salarios ofrecidos a los puestos gerenciales (*chief information officer, chief technology officer*, directivos) —los cuales oscilan en rangos desde \$140,000 - 279,000 USD anuales— es entonces el área correspondiente a “datos y administradores de bases de datos” donde se han encontrado los puestos de trabajo mejor valorados. Por ejemplo, el “ingeniero en *big data*” ronda los rangos de salario que puedan llegar al umbral de puestos directivos, y es esta área donde también se han ubicado los más altos porcentajes de incremento en su salario promedio anual, si se compara el año 2016 contra la proyección para 2017.

Tabla 7
Comparativa de niveles de ingreso para el área de “datos y administradores de bases de datos”

Profesional de las TI	2016*	2017*	% cambio
Data scientist	\$109,000 - \$153,750	\$116,000 - \$ 163,500	6.40%
Big data engineer	\$129,500 - \$183,500	\$135,000 - \$ 196,000	5.80%
Database developer	\$103,250 - \$153,250	\$108,000 - \$ 161,500	5.10%
Business intelligence analyst	\$113,750 - \$164,000	\$118,000 - \$ 171,750	4.30%
Data architect	\$127,250 - \$175,500	\$131,250 - \$ 184,000	4.10%
Data warehouse manager	\$123,750 - \$172,000	\$129,000 - \$ 179,000	4.10%
Data modeler	\$106,750 - \$155,500	\$111,000 - \$ 161,500	3.90%
Data analyst/Report writer	\$ 74,500 - \$114,500	\$ 77,500 - \$ 118,750	3.80%
Database manager	\$118,000 - \$170,500	\$122,250 - \$ 177,000	3.70%
Database administrator	\$ 95,750 - \$142,750	\$ 98,500 - \$ 148,500	3.60%
Portal administrator	\$ 94,000 - \$134,250	\$ 96,000 - \$ 138,750	2.80%
Data warehouse analyst	\$105,000 - \$152,000	\$107,500 - \$ 155,750	2.40%
Electronic data interchange (EDI) specialist	\$ 76,500 - \$115,500	\$ 77,500 - \$ 118,750	2.20%

*Salarios promedio anual para EUA, en USD.

Fuente: Extracto tomado de la “Guía 2017 de salarios para profesionales de tecnología para EUA” (RHT, 2017).

En la tabla 7 se muestran los niveles de ingreso para profesionales en TI en el área de “datos y administradores de bases de datos”, se trata tan sólo de un extracto de toda la información contenida en el estudio mencionado que incluye el análisis de casi 60 diferentes perfiles de profesionales en TI, pero se puede apreciar que los valores más altos del porcentaje de incremento del salario de un año a otro son de 6.4% para *data-scientist*, de 5.80% para *big data engineer*, de 5.10% para *database developer* y de 4.30% para el *business intelligence analyst*, mientras que el promedio global de incremento es de 3.69%. Estos datos nos dan a entender que esta área de especialización es bien valorada, ampliamente demandada y por lo tanto muy bien pagada. Obviamente estas cifras son para Estados Unidos, pero pueden servir de referencia para los profesionales de México y Latinoamérica que estén interesados en especializarse en estos temas y también para las empresas de TI de la región para poder ofrecer sueldos competitivos y asegurarse la retención o captación de talentos.

Comentarios finales

En este capítulo hemos abordado el fenómeno del *big data* y las herramientas tecnológicas de bases de datos que se han desarrollado para permitir el procesamiento de grandes volúmenes de datos. Esta explosión desmesurada en la generación de información es propiciada en gran medida por el internet, las redes sociales, las empresas que han digitalizado sus procesos y la ubicuidad e interconectividad de dispositivos que generan datos a cada instante.

Los sistemas tradicionales de bases de datos basados en el modelo relacional han dejado de ser la única opción para la gestión apropiada de los datos; por el contrario, en la última década han habido cambios significativos en las tecnologías de datos, lo que ha dado pie al surgimiento de una amplia gama de sistemas de bases de datos, llamados NoSQL, que ofrecen lidiar con las necesidades de procesamiento en este mundo del *big data*. Sin embargo, es evidente de acuerdo con el análisis de estudios especializados, tendencias de empleos, encuestas de desarrolladores y *rankings* de los sistemas más populares y más utilizados en las empresas, que estas nuevas tecnologías del *big data* y de sistemas NoSQL están en

un proceso inicial de aceptación e incorporación en las empresas y que llevará su tiempo para que puedan ser implementadas a nivel comercial y de producción.

En este debate sobre tecnologías de bases de datos, los manejadores de bases de datos relacionales llevan ventaja puesto que están muy consolidados, con más de 40 años de desarrollo tecnológico, con una gran masa de recursos humanos altamente calificados y con herramientas muy probadas. Y para no quedarse atrás, sus poderosas empresas fabricantes están invirtiendo en desarrollo para agregarle nuevas capacidades tipo NoSQL a sus soluciones para seguir siendo competitivos. Por el otro lado, los sistemas NoSQL tienen menos de 10 años de desarrollo tecnológico y siguen en constante evolución. Ciertamente, para algunos escenarios representan las soluciones idóneas por sus capacidades de elasticidad y escalabilidad, así como por su arquitectura orientada al procesamiento masivo de datos heterogéneos.

Falta mucho tiempo aún para que los sistemas NoSQL puedan convertirse en la plataforma reinante de las bases de datos y seguramente esta lucha nos tocará presenciarla en los próximos años. Por lo pronto, lo que nos queda a nosotros es estar atentos, capacitarnos en estas nuevas herramientas y nuevas tecnologías y estar dispuestos a aprender todos los días.

Referencias

- Brewer, E.A. (2000). Towards robust distributed systems. En: *Principles of Distributed Computing (PODC)*. IEEE, Portland, Oregon, USA Vol. 7.
- Codd, E.F. (1970). A Relational Model of Data for Large Shared Data Banks. En: *Communications of the ACM*, 13(6), pp. 377-387. Disponible en: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=362685>.
- Diebold, F.X. (2012). A personal perspective on the origin(s) and development of "Big Data": The phenomenon, the term, and the discipline. Social Science Research Network. Accesible desde: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2202843.
- Dutcher, J. (2014). What Is Big Data? Disponible en el blog de Datascience de la UC Berkeley en: <https://datascience.berkeley.edu/what-is-big-data/> (último acceso en septiembre de 2017).

- Gandomi, A., y Haider, M. (2015). Beyond the hype: Big Data concepts, methods, and analytics. En: *International Journal of Information Management*, 35(2), 137-144.
- Harrison, G. (2015). Five Database Technology Trends. The NoCOUG Journal. Disponible en: http://guyharrison.squarespace.com/storage/Pages%20from%20NoCOUG_Journal_Latest.pdf (último acceso, septiembre de 2017).
- Harrison, G. (2015b). *Next generation databases. NoSQL, NewSQL and Big Data*. Editorial Apress. ISBN: 978-14842-1330-8, 235 pp.
- Hecht, R., y Jablonski, S. (2011). NoSQL evaluation. En: *International Conference on Cloud and Service Computing*. IEEE, Hong Kong, China, pp. 336-41.
- Indeed.com (2017). JobTrends. Tendencias de oferta y demandas de empleo a nivel mundial en Indeed.com, el portal web especializado para buscadores y ofertadores de empleo. <https://www.indeed.com/job-trends/> (último acceso julio de 2017).
- Lourenço, *etal.* (2015). Choosing the right NoSQL database for the job: a quality attribute evaluation. *Journal of Big Data*. vol. 2(1) 18 págs. ISSN 2196-1115. Disponible en: <https://journalofbigdata.springeropen.com/track/pdf/10.1186/s40537-015-0025-0/>
- Mashey, J.R. (1998). Big Data and the Next Wave of InfraStress. Presentación ofrecida el 25 de abril de 1998, por el Chief Scientist de la empresa SGI. Disponible en: http://usenix.org/publications/library/proceedings/usenix99/invited_talks/mashey.pdf.
- Mazzina, A. (2017). StackOverflow. Developer Hiring Trends in 2017. Disponible en el blog de Stackoverflow, en: <https://stackoverflow.blog/2017/03/09/developer-hiring-trends-2017/> (último acceso, septiembre de 2017).
- Moura, J.A., y Serrao, C. (2015). Security and Privacy Issues of Big Data. En: *Handbook of Research on Trends and Future directions in Big Data and Web intelligence*. IGI Global book series Advances in Data Mining and Database Management. ISBN: 978-14666-85055, pp. 20-52.
- RHT (2017). 2017 Salary Guide for Technology Professionals. Reporte especializado de la empresa consultora "Robert Half Technology" sobre los salarios para profesionales de las TI en EUA y Canadá para el año 2017. Disponible en: https://www.roberthalf.com/sites/default/files/documents/rht_0916_iapdf_sg2017_nam_eng.pdf (último acceso, agosto de 2017).
- Shaleynikov, A. (2017). Top 4 NoSQL Databases. Infografía en la sección de bases de datos del portal especializado Dzone. Disponible en <https://dzone.com/articles/top-4-nosql-databases/> (último acceso, septiembre de 2017).

- Stackoverflow. (2017). Developer Survey Results 2017. Resultados de la Encuesta 2017 para desarrolladores de la comunidad Stackoverflow, disponible en: <https://insights.stackoverflow.com/survey/2017/> (último acceso septiembre de 2017).
- Stonebraker, M. (2010). In search of database consistency. En: *Communications of the ACM*. 53 (10), pp. 8-9.
- Wada, H., Fekete, A., Zhao, L., Lee, K. y Liu, A. (2011). Data consistency properties and the trade-offs in commercial cloud storage: the consumers' perspective. En: *CIDR. ACM*, Asilomar, California, USA Vol. 11, pp. 134-143.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a SEP-PRODEP-México por el apoyo brindado para la continuación de los proyectos de investigación relacionados. También a los estudiantes de la maestría en computación e ingeniería en software de la Universidad de Colima que participaron en la preparación de materiales que se integraron en este texto.

El internet de las cosas

Carlos Alberto Flores Cortés
Raymundo Buenrostro Mariscal
Fermín Estrada González

Introducción

Muchos de los sistemas de información que hoy en día son utilizados en diferentes sectores como el administrativo, la industria, la educación, entre otros, se basan en esquemas fundamentados en la propiedad de los recursos. Es decir, la infraestructura tecnológica, el procesamiento de la información, así como su almacenamiento son resguardados y administrados por sus propietarios. Sin embargo, con el surgimiento de tecnologías como el cómputo en la nube, la inteligencia artificial y la provisión de software como servicio, entre otros, el desarrollo de los sistemas de información se está transformando hacia un modelo en el que tanto los componentes físicos así como los intangibles estarán disponibles solamente de manera virtual.

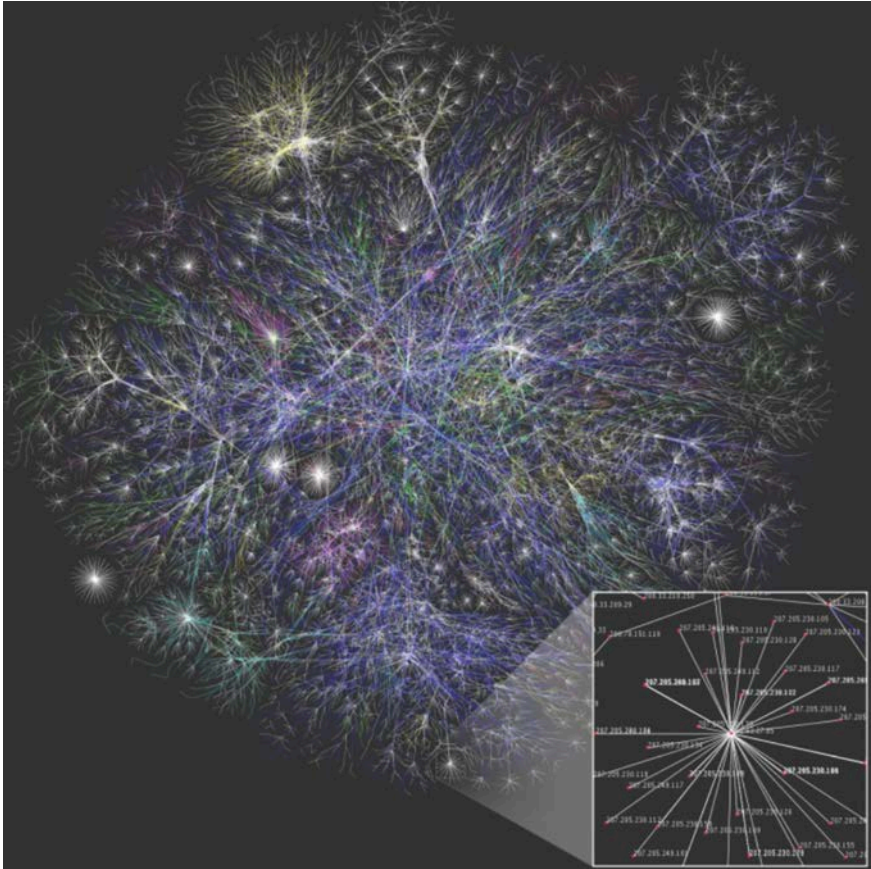
Estas nuevas tecnologías no solamente están transformando a los sistemas de información, sino también un número importante de elementos físicos con los que diariamente interactuamos, transformando nuestro entorno físico en un sistema de información virtual conocido como el internet de las cosas (IoT por sus siglas en inglés) (Michael, Markus, & Roger, 2010). La interconexión de sensores y actuadores conectados a internet y accesibles desde diferentes plataformas de software están dando lugar a la virtualización del mundo físico y dando surgimiento a un gran número de productos y aplicaciones en áreas como la salud, la agricultura, el cuidado personal, el transporte, entre muchos otros.

El internet de las cosas

El término de IoT fue mencionado por primera vez por Kevin Ashton en 1999 durante una presentación en Procter & Gamble (Kevin, 2009). La visión de Ashton consistía en el uso de sensores y tecnología RFID o identificación por radio frecuencia (del inglés *radio frequency identification*) conectados a computadoras para que pudieran escuchar, oler, observar, identificar y entender el mundo sin las limitaciones de los humanos. En este contexto, los sensores y la tecnología RFID se utilizarían para recolectar información o interactuar con el mundo físico y las computadoras para procesar e interpretar la información recolectada.

Con el paso del tiempo diferentes definiciones del IoT han surgido con algunas variantes en los elementos o arquitectura dependiendo del área de especialidad que lo estudia (Luigi, Antonio, & Giacomo, 2010; Jayavardhana, Rajkumar, Slaven y Marimuthu, 2013). Sin embargo, para comenzar a entender a qué se refiere el término IoT partiremos del análisis de dos de sus principales componentes: el internet y las cosas. Sin lugar a dudas la red de redes mejor conocida como internet es uno de los elementos principales del IoT. Como se ilustra en la figura 1, esta enorme red hace posible la comunicación entre dos equipos conectados en cualquier parte del mundo. Las capacidades de esta red en cuanto a velocidad y capacidad de datos de transmisión, número de dispositivos conectados, así como su bajo costo son fundamentales para que la interacción con miles o millones de sensores, actuadores u otros dispositivos sea posible y que las aplicaciones que en este contexto existen sean comercialmente viables para los creadores y accesibles para los consumidores.

Figura 1
Mapa parcial de internet

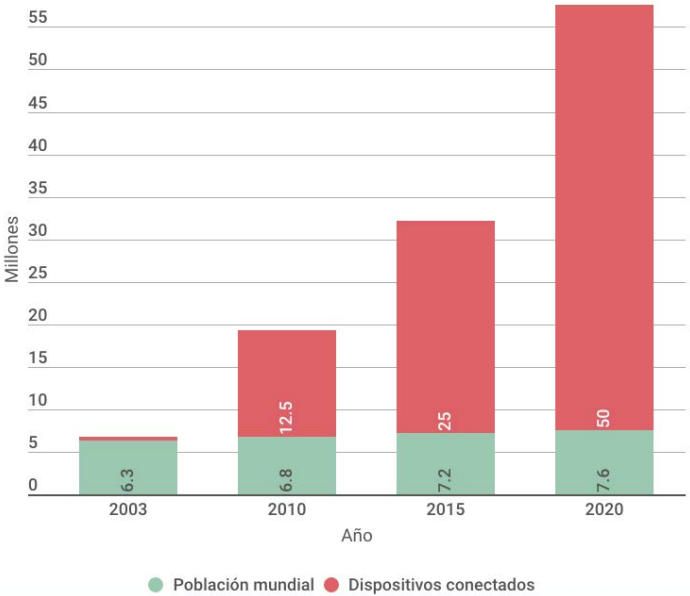


Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Internet#/media/File:Internet_map_1024.jpg.

En los últimos años se ha dado un incremento importante de desarrollo y disponibilidad de sensores y dispositivos de cómputo y comunicación de bajo costo, con capacidades importantes de procesamiento y transmisión de datos, así como bajo consumo de energía (Melanie, 2012). Hoy en día es muy fácil tener acceso a sensores y actuadores para monitorear un amplio rango de variables como temperatura, humedad, movimiento, geolocalización, entre otras; e interactuar con elementos como puertas, moto-

res, interruptores mediante actuadores. Estos dispositivos pueden ser conectados a internet mediante plataformas de cómputo compactas capaces de recolectar la información de los diferentes sensores y enviarla a través de internet a cualquier parte del mundo (Julien, Oleksiy, Xiang y Sasu, 2016). Como se observa en la figura 2, un estudio realizado por la empresa Cisco estima que para el año 2020 cerca de 50 billones de dispositivos estarán conectados a internet. Esta cifra equivale a 6.58 dispositivos por persona (Dave, 2011).

Figura 2
Proyección del crecimiento de la población mundial
y el número de dispositivos conectados a internet



Fuente: https://www.cisco.com/c/dam/en_us/about/ac79/docs/innov/IoT_0411FINAL.pdf.

Entonces, al conjunto de dispositivos de cómputo equipados con sensores simples o inteligentes capaces de generar datos y tomar decisiones inteligentes que utilizan el internet para interactuar con otros dispositivos y usuarios y que utilizan servicios de software o infraestructura en la nube para almacenar y analizar datos se le conoce como el IoT (Ansys, Inc., 2016).

Principales componentes de la arquitectura

La arquitectura de los sistemas que operan en el contexto del IoT es cada vez más compleja debido a la creciente demanda de requerimientos de dispositivos de menor consumo de energía, con mejores capacidades de procesamiento e inteligencia, con mejor conectividad y seguridad, así como el acceso a servicios de hardware y software, entre otros. Este capítulo presenta una revisión del estado actual y las tendencias en elementos clave para el diseño y funcionamiento de estos sistemas como son: plataformas de cómputo para desarrollo, tecnologías de comunicación inalámbrica y servicios en la nube.

Plataformas de desarrollo

En los últimos años el crecimiento en la industria de los circuitos integrados ha contribuido al desarrollo de un número importante de plataformas de cómputo diseñadas para servir como base para la adquisición y transferencia de datos, así como una gran variedad de sensores y actuadores (Reuse, 2016). En términos generales estas plataformas se caracterizan por ser de bajo costo y consumo de energía, contar con varios medios de comunicación, integrar puertos para fácil interconexión de sensores y actuadores así como contar con ambientes y lenguajes de programación que facilitan el desarrollo de prototipos. A continuación, se presenta una revisión de una muestra representativa de estas plataformas de desarrollo.

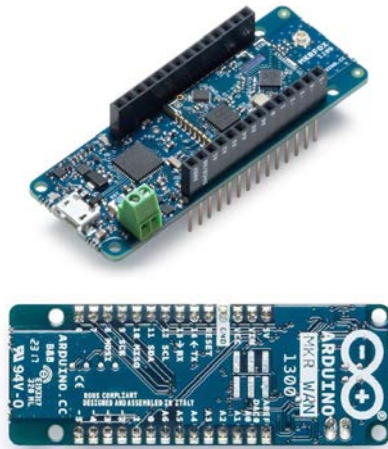
Arduino

Esta empresa de origen italiano surge en el año 2000 de un proyecto cuyo propósito era el desarrollo de una plataforma de hardware de código abierto para estudiantes. En el año 2005 lanzó su primera plataforma basada en el microcontrolador Amtel AVR que facilitaba el desarrollo de prototipos a estudiantes con conocimientos básicos de electrónica y programación. Hoy en día el catálogo incluye más de 50 productos clasificados en diferentes grupos, incluyendo aprendizaje básico, educación, internet de las cosas, tecnología vestible (*wearable* en inglés) e impresión 3D. El microcontrolador base de estas plataformas sigue siendo el ATmega en diferentes versiones. La tecnología de comunicación que se integra es bastante completa e incluye: bluetooth, WiFi, ethernet, GSM, LoRA y

SigFox. Los requerimientos de consumo de energía de las primeras plataformas que desarrolló el dispositivo era alto para proyectos alimentados solamente por baterías, sin embargo modelos más recientes como el MKRFOX1200 y MKRWAN1300 se caracterizan por un consumo de energía muy bajo, suficiente para ser operados en esas condiciones. Los precios de las plataformas *Arduino* varían dependiendo de la versión, entre los 20 y 100 dólares.

Figura 3

Las plataformas *Arduino* MRKFOX 1200 y MKR WAN 1300



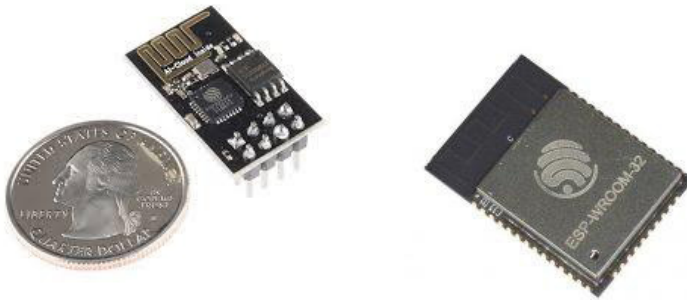
Fuente: <https://www.arduino.cc/>.

Espressif

Esta compañía china se ha vuelto popular entre los desarrolladores experimentales desde el lanzamiento de su plataforma ESP8266EX. La base de esta plataforma es el microcontrolador de 32 bits Tensilica y se caracteriza también por su bajo consumo de energía, así como lo compacto de su tamaño, tan sólo 5 mm x 5 mm. Una de las características que hizo que estas plataformas se volvieran muy populares en poco tiempo, fue sin lugar a dudas su bajo costo. Una de las versiones básicas, que además del potente microcontrolador incluye conectividad Wi-Fi, se puede conseguir por tan sólo dos dólares. La plataforma más reciente de esta empresa es el ESP-WROOM-32, la cual supera de manera importante

a su predecesor en todas sus características y en lo que se refiere a comunicación además de Wi-Fi también integra tecnología blue-tooth. Se comercializa en diferentes configuraciones que inician desde los cinco dólares y su programación es muy similar a las plataformas *Arduino*.

Figura 4
Las plataformas *Espressif* ESP8266 y ESP-WROOM-32



Fuente: <https://www.espressif.com/>.

Otras plataformas

Las plataformas de *Arduino* y *Espressif* son muy utilizadas en proyectos académicos y de investigación, sin embargo, cada día son más las opciones que se incorporan a esta oferta. Por ejemplo, algunas alternativas que ya existen en el mercado son *Raspberry Pi*,¹ *Onion*,² *Particle*,³ *Beagleboard*⁴ y *Fennec*.⁵ Aunque cualquiera de estas plataformas puede utilizarse para desarrollar un proyecto IoT es importante realizar un análisis detallado de sus capacidades de procesamiento, puertos de interconexión, tecnología de comunicación inalámbrica, consumo de energía y costo, a fin de elegir la más adecuada.

¹ <https://www.raspberrypi.org/>

² <https://onion.io/>

³ <https://www.particle.io/>

⁴ <https://beagleboard.org/>

⁵ <https://www.kickstarter.com/projects/factorylab/fennec-lora-development-board?lang=es>

Tecnologías de comunicación inalámbrica

Una parte importante de la arquitectura IoT es la conectividad de los objetos hacia la red de internet; dicha conectividad es clave para completar el paradigma de IoT. La tecnología seleccionada para la conectividad debe satisfacer las demandas de comunicación de datos anunciadas en el IoT, por ejemplo, garantizar la coexistencia eficiente de los objetos en una red altamente densa, permitir comunicaciones bidireccionales de largo alcance, soportar una gran cantidad de datos heterogéneos (algunos sensitivos al retardo con mínima tolerancia a la pérdida). Además, la conectividad de la red debe tener alto nivel de escalabilidad, exigiendo un bajo consumo de energía en su operación, un bajo costo de despliegue y ser amigable con el ecosistema IP (*internet protocol*). A la fecha, existe una gran variedad de tecnologías de comunicación inalámbricas que han aparecido para solucionar diferentes dominios de aplicación y requisitos de comunicaciones; que si bien, algunas no nacieron con la idea del IoT en su diseño, bien pueden ser consideradas para ello. Algunas de ellas son las siguientes.

Bluetooth/Bluetooth BLE

La mejora a la versión inicial de Bluetooth fue la emitida en 2010 por el *Special Interest Group* (SIG) en la versión Bluetooth 4.0 Low Energy o BLT, hoy actualizada en la versión 4.1. BLE opera en la banda ISM de 2.4 GHz, al igual que su antecesora, con 40 canales de operación y nace con el propósito de mejorar la eficiencia en el consumo de energía, minimizar el efecto de interferencias con los canales de los radios IEEE 802.11 (WiFi). Para lo anterior, BLE utiliza el algoritmo *Adaptive Frequency Hopping* para reducir los problemas de interferencias y *multi-path fading*. Las especificaciones de BLE tienen el objetivo de crear una versión inteligente de Bluetooth con una conexión más ágil entre dispositivos y ampliar el rango de cobertura hasta 50 metros (The Bluetooth Special Interest Group, 2010; Nieminen, 2015).

Es innegable que BLE ha mejorado notablemente, sin embargo, sigue presentando inconvenientes importantes, por ejemplo sólo puede soportar topologías de estrella de un solo salto, llamadas piconet; con una cantidad limitada de nodos por red, una

cobertura limitada, no permite hacer redes *mesh* o malla, entre otros inconvenientes de conectividad que hacen que BLE, por ahora, no sea la mejor opción para conectar los miles de objetos del IoT.

Zigbee/IEEE 802.15.4

Zigbee es una solución de red inalámbrica que inició en 1998 y fue estandarizado en el 2003 por la *ZigBee Alliance*, en respuesta a las necesidades de la industria por una conectividad de bajo costo, dispositivos de tamaño reducido, de ultra-bajo consumo de energía, simplicidad de operación y de mínimo mantenimiento (ZigBee Alliance, s.f.). La versión de red *mesh* de Zigbee fue uno de los estándares pioneros más utilizados para crear redes inalámbricas de sensores (WSNs) en la industria de la automatización y el hogar. ZigBee utiliza en las capas inferiores física y de control de acceso al medio (MAC) el protocolo IEEE 802.15.4-2006 para satisfacer las necesidades anteriores, ya que IEEE 802.15.4 nació para crear redes de área personal de bajo consumo energético y baja latencia (LAN-MAN., 2006). IEEE 802.15.4 puede operar en tres distintas bandas ISM de frecuencia libre, 868, 915 y 2450 MHz, para crear los enlaces inalámbricos de Zigbee; además, puede tener hasta 16 canales de operación en la banda de 2450 MHz para acomodar una alta densidad de nodos. Zigbee tiene una alta inmunidad a interferencias de otros radios, por ejemplo de radios WiFi, y un ultra bajo consumo energético por transmisión (o recepción) inalámbrica en bandas de frecuencias muy estrechas, gracias a la capa física de IEEE 802.15.4 (Palattella *et al.*, 2013), que la colocan como una buena opción para la conectividad de los objetos en IoT. En el caso de la capa MAC de ZigBee, sin embargo, no es suficiente para las aplicaciones de IoT; su naturaleza de acceso múltiple al medio por contienda (CSMA-CA) y una operación de canal único (*single-channel*) lo hacen poco confiable y más en escenarios donde existen múltiples redes operando con el mismo estándar, ocasionando un alto nivel de desvanecimiento de la señal y un acceso al medio saturado. Además, un acceso al medio mediante CSMA, y en condiciones de múltiples nodos, tiende a provocar un alto número de retransmisiones (debido a colisiones) que producen un alto consumo de energía. Para contrarrestar estas limitaciones, en 2008 el grupo

de trabajo 802.15.4e (TG4e) inició con el diseño de una nueva MAC multisalto de ultra bajo consumo de energía y en 2012 fue publicado como una actualización del estándar IEEE 802.15.4-2011, definiendo tres nuevos protocolos MAC (LAN-MAN, 2012). Uno de los principales y más prometedores de éstos es el protocolo MAC *Timeslotted Channel Hopping* (TSCH), que usa una combinación sincronización en tiempo y salto de canal que produce una comunicación multisalto altamente eficiente en energía. La IETF formó un nuevo grupo llamado 6TiSCH, desde el 2012, que propuso un nuevo *stack* de protocolos abiertos para el IoT. 6TiSCH utiliza, para las capas inferiores, los protocolos IEEE 802.15.4-PHY e IEEE 802.15.4e TSCH, para las capas física y MAC respectivamente; y el protocolo IETF 6LoWPAN en las capas superiores. Esta pila de protocolos está diseñada para cubrir los estrictos requisitos de las redes IoT de grado industrial en términos de un bajo *jitter*, una muy baja latencia, alta fiabilidad de transmisión de datos y un funcionamiento de bajo consumo de potencia para redes que usan IPv6 (IETF, s.f.).

WiFi / LP-WiFi

La versión original del estándar IEEE 802.11, conocido como WiFi, fue diseñado sin tener en mente los requisitos del IoT; de hecho su objetivo fue el proveer una alta transmisión de datos entre un número limitado de nodos a corta distancia. Su alto consumo de energía, un sobre encabezado (*overhead*) extenso para el intercambio de datos y el control de la red, hacen que a la fecha no sea una opción viable, a pesar de su alta penetración a nivel mundial. De todas las versiones que han surgido de IEEE 802.11 la versión “11ac” es la que más se acerca a las necesidades planteadas por el IoT (WiFi Alliance, s.f.); sin embargo, es la versión IEEE 802.11ah la que nace con toda la ideología del paradigma IoT (Khorov, 2015). En 2010 el grupo LAN/MAN IEEE 802 formó un grupo llamado *Low Power WiFi* (LP-WiFi) para cubrir las necesidades del IoT de grado industrial, sobre todo el ahorro de energía, disminuir la sobrecarga en la transmisión de paquetes, permitir una alta densidad de nodos y una gran cobertura (IEEE 802.11ah, 2016). IEEE 802.11ah opera en la sub-banda de frecuencia no licenciada de 1GHz y su capa física se basa en el estándar IEEE 802.11ac; en consecuencia, el cambio

sustancial de 11ah fue en la mejora de la capa MAC para cumplir con las exigencias antes plateadas. En resumen LP-WiFi puede ser una gran opción para desplegar una alta densidad de nodos a gran escala para escenarios que requiere una calidad de servicio (QoS) de grado industrial a un costo relativamente bajo.

Low Power Wide Area Network (LP-WAN)

IoT plantea varios retos, desde el punto de vista de la conectividad, como lo es la gran densidad de objetos que deben coexistir en la red, ubicados en diferentes sitios distantes unos de otros (*wide area*), además en espacios interiores y subterráneos que hacen más difícil la conexión. Otros retos impuestos por el IoT son la necesidad de contar con dispositivos con una larga vida de sus baterías (en términos de años), un diseño compacto y sobre todo un bajo costo. Además de lo anterior, IoT vislumbra una gran variedad de aplicaciones con diferentes requerimientos de QoS, que hacen que necesite una conectividad especialmente diseñada para cubrir estos requisitos. Por lo anterior, en el 2013 (Morrish, 2013), se acuña el término *Low Power Wide Area Network* o LP-WAN para distinguir las tecnologías de conectividad que cubren las necesidades antes mencionadas; las LP-WAN nacen con el objetivo de las comunicaciones machine-to-machine (M2M). LP-WAN es el concepto de tecnología de red que se espera conecte, en el 2025, el 60% de los millones de dispositivos del IoT, según los pronósticos de la compañía *Machine Research* (s.f.), usando dispositivos con tecnologías tanto en las bandas licenciadas como en las no licenciadas. A la fecha, han aparecido soluciones propietarias de LP-WAN, en las bandas no licenciadas, en diferentes países; las más citadas a la fecha son las propuestas de LoRa y SigFox (TechTarget Network, s.f.).

LoRaWAN

LoRaWAN es una solución de conectividad LP-WAN, desarrollada por LoRa Alliance (soportado por Semtech, IBM,⁶ SoftBank, entre otros), para conectar objetos para el IoT, con un enfoque en brindar servicios de comunicación bidireccionales seguras, movilidad y de localización (LoRa Alliance, s.f.). La arquitectura de red de LoRaWAN se presenta típicamente en una topología estrella-de-estre-

⁶ International Business Machines Corporation.

llas en la cual existen *gateways* que son dispositivos puentes transparentes, que retransmiten los mensajes entre dispositivos finales y un servidor de red central en el back-end. Los *gateways* están conectados al servidor de red a través de conexiones IP estándar, mientras que los dispositivos finales utilizan la comunicación inalámbrica de un solo salto a una o más *gateways*. La comunicación entre dispositivos finales y el *gateway* se distribuye en diferentes canales de frecuencia y velocidades de datos (desde 0.3 kbps hasta 50 kbps) sin interferirse y con gran desempeño; gracias a su tecnología *spread spectrum*. Además, para lograr una gran distancia en su cobertura, LoRaWAN trabaja en las sub-bandas de frecuencias no licenciadas de 1GHz (868 y 915 MHz), utilizando varios canales para la comunicación. Por último, LoRaWAN utiliza un protocolo MAC ligero para controlar el acceso al medio y administrar las comunicaciones entre los dispositivos LP-WAN y los Gateways.

SigFox

SigFox es uno de los desarrollos LP-WAN más ampliamente desplegados al día de hoy como solución de conectividad IoT (TechTarget Network, s.f.); SigFox cuenta con un gran número de aliados, entre ellos están la empresa *Texas Instrument*, *Silicon Labs* y *ON Semiconductor*. SigFox trabaja en las sub-bandas estrechas (UNB_Ultra Narrow Band) no licenciadas de 1GHz (868 o 902 MHz), lo cual le permite entregar mensajes hasta 10 km de distancia en áreas urbanas y hasta 50 km en áreas rurales (menores obstáculos de línea de vista). Para controlar la operación de las conexiones entre los dispositivos y la red, SigFox utiliza el concepto *software define radio* (SDR) al gestionar desde un punto central toda la operación de los dispositivos y el *backend* de la aplicación (SigFox, s.f.). Al igual que LoRaWAN, SigFox usa una infraestructura de antenas que forman estaciones base (o *gateways*) que conectan en modo estrella a los dispositivos IoT. SigFox permite el envío de hasta 140 mensajes por día, cada mensaje con un tamaño máximo de 12 bytes de carga útil; alcanzando velocidades efectivas de 600 bps, un velocidad de comunicación mucho menores que la propuesta de LoRaWAN; sin embargo, SigFox es mejor en el uso de la energía y en la cantidad de proveedores que la están utilizando.

A finales de 2016 la empresa francesa SigFox anunció que desplegaría su red en México, antes de lanzarse en América Latina. En este sentido, IoTNet México es el operador exclusivo de esta red en el país, cuyos ejecutivos se anuncian entusiastas con respecto a las posibilidades que este tipo de tecnología representa para el desarrollo de IoT en el territorio (Holloway, 2017).

Servicios en la nube

Las plataformas de cómputo que se utilizan para recolectar datos o interconectar el mundo físico con el virtual son de capacidades limitadas en cuanto a almacenamiento, procesamiento y consumo de energía. Por esto, las tareas que realizan son muy básicas y están optimizadas para aprovechar al máximo estos recursos limitados. De ahí la importancia de contar con infraestructura de apoyo que permita realizar las tareas complejas como almacenamiento y procesamiento de grandes cantidades de datos, administración de la comunicación entre y con una gran cantidad de nodos, realizar análisis de los datos almacenados, generación de informes de predicción, entre otras. Para resolver esta necesidad, se han desarrollado plataformas que están disponibles en la nube y ofrecen diferentes tipos de servicios a las aplicaciones de IoT.

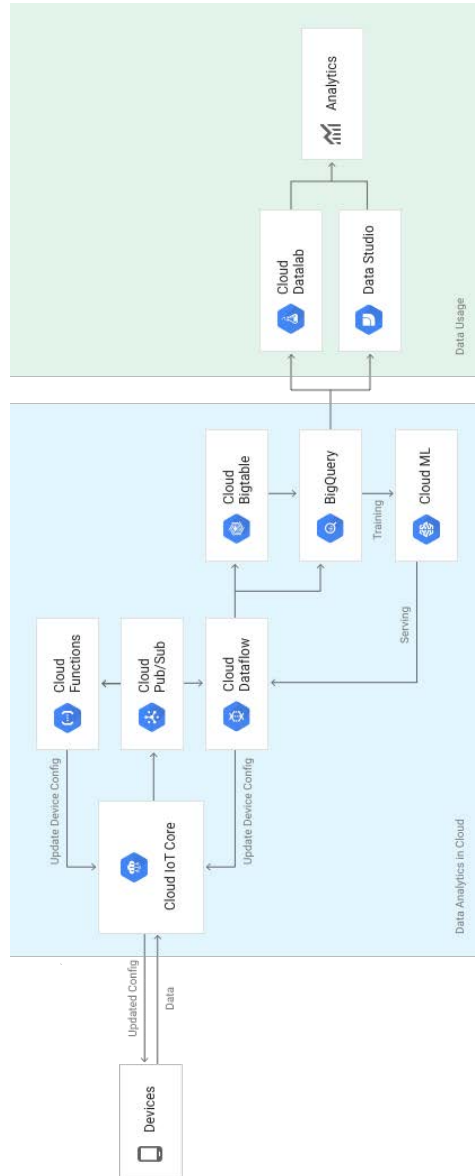
La nube de cómputo o simplemente nube, como es frecuentemente referida, es un nuevo modelo computacional en el que recursos como procesadores y almacenamiento se ofertan como servicios generales que pueden ser concesionados o liberados por usuarios a través de internet bajo demanda. Los servicios que ofrecen pueden clasificarse en dos tipos: proveedores de infraestructura y proveedores de servicios. El abaratamiento de las tecnologías de procesamiento y almacenamiento, hacen posible que hoy en día rentar infraestructura y servicios en la nube sea muy competitivo en comparación a contar con recursos propios. Algunas de las ventajas de utilizar los servicios que se utilizan en la nube son: que no se requiere de una inversión inicial importante, los costos de operación son más bajos, los servicios en la nube son altamente escalables, son de bajo acceso y reducen los gastos de mantenimiento y riesgos del negocio (Qi, Lu y Raouf, 2010).

El número de desarrolladores de soluciones IoT es cada vez mayor y por esto las principales compañías de software como *Google*, *Microsoft*, *Amazon* y *Oracle* se encuentran en una fuerte competencia buscando ofrecer la mejor plataforma en la nube para soportar este tipo de proyectos. A continuación, se presenta una revisión de algunos de los servicios en la nube que se encuentran disponibles en el mercado.

Google Cloud IoT

La solución de *Google* comprende un conjunto de servicios para conectar de manera segura, administrar, y procesar datos en tiempo real a partir de la información que millones de dispositivos conectados desde cualquier parte del mundo envían. En la figura 5 se muestran los componentes de la arquitectura de esta plataforma. Dentro de las funciones que ofrece esta plataforma destacan mecanismos de autenticación para garantizar la seguridad en la conexión y transmisión de datos. También cuenta con un conjunto de servicios integrados para recibir, distribuir, aplicar transformaciones y almacenar grandes volúmenes de datos. Funciona como un sistema global que permite la conexión de dispositivos utilizando protocolos estándares como MQTT. Integra procesos para análisis y visualización de datos apoyados en algoritmos de inteligencia artificial. Cuenta con el respaldo de fabricantes de *hardware* como *Intel* y *Microchip* quienes también participan como socios. Para tener acceso a esta plataforma se debe contratar un plan de acceso cuyo costo depende de las características de los servicios que se requieran y también cuenta con una versión de prueba que puede utilizarse por un periodo de tiempo de manera gratuita.

Figura 5
Componentes de la arquitectura *Google Cloud IoT*.

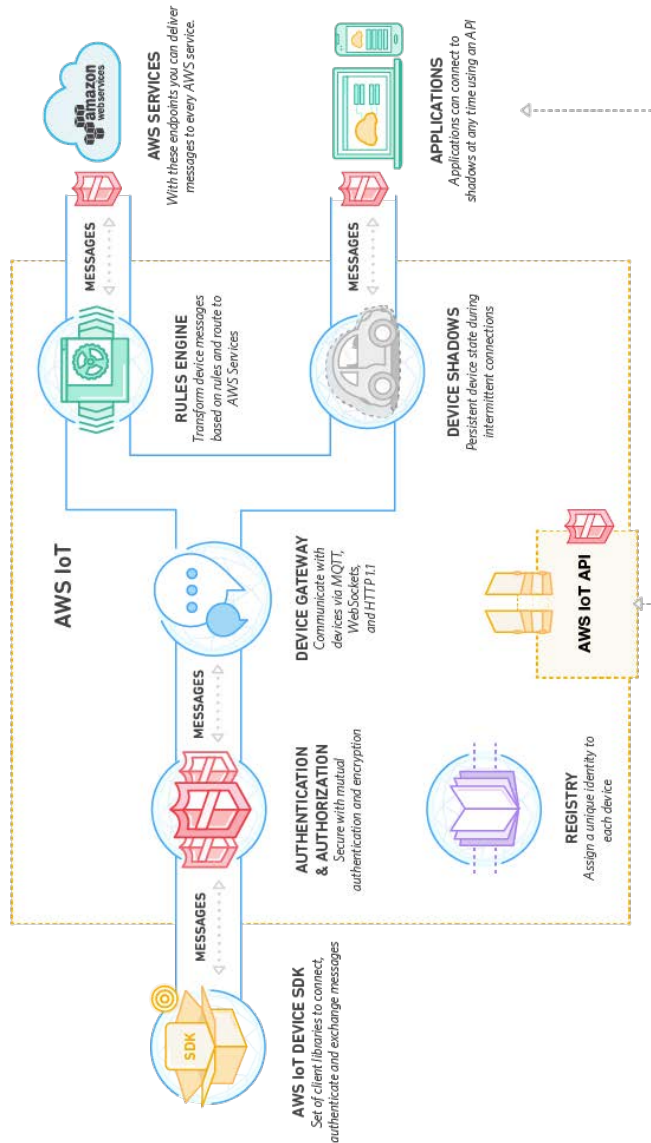


Fuente: <https://cloud.google.com/iot-core/?hl=es>.

AWS IoT

La plataforma *Amazon Web Services IoT* (AWS IoT) es una plataforma en la nube que facilita el desarrollo de aplicaciones IoT. Utiliza diferentes tecnologías que Amazon ha desarrollado para la administración, conexión, procesamiento y enrutamiento de millones de dispositivos conectados y de billones de mensajes. Para la conexión y administración de dispositivos soporta protocolos como HTTP, WebSockets, MQTT y también es posible incorporar protocolos personalizados. Es importante destacar que el protocolo MQTT se está convirtiendo en un estándar para la comunicación de dispositivos en aplicaciones IoT y por esto es soportado por la mayoría de las plataformas que se ofertan en esta área. La notable reducción en la huella de código de programación en los dispositivos así como en los requerimientos de ancho de banda en la red son las principales características que están haciendo que este protocolo sea utilizado en proyectos de IoT. Otro de los servicios que no deben faltar en una plataforma IoT son los mecanismos para la protección de datos y conexión segura de dispositivos, por esto AWS IoT ofrece autenticación y cifrado integral para todos los puntos de conexión. Para procesar y visualizar los datos que desde los diferentes dispositivos se integran un número importante de tecnologías propietarias como: AWS Lambda, para la ejecución de código; AWS Kinesis, para el procesamiento de flujos de datos; AWS S3, para el almacenamiento de datos; AWS Machine Learning, para el aprendizaje automático; Amazon DynamoDB, para la administración de bases de dato; *Amazon CloudWatch*, para la administración de recursos y aplicaciones; y *Amazon Elasticsearch Service*, para la administración de analíticas y búsqueda de texto completo. En la figura 6 se muestra un esquema de la arquitectura de AWS IoT en la que se destacan los principales componentes así como su interconexión.

Figura 6
Principales componentes de la arquitectura AWS IoT



Fuente: <https://aws.amazon.com/es/iot-core/>.

ThingSpeak

La plataforma *ThingSpeak* forma parte de un grupo de productos cuya estrategia de integración a IoT las separa de soluciones como las que ofrecen *Amazon* y *Google*. Esta plataforma que se utiliza principalmente para prototipado y pruebas de concepto de sistemas IoT cuenta con una interfaz visual que permite fácilmente conectar dispositivos y analizar, visualizar y dar valor agregado a flujos de datos en la nube. Integra servicios de Mathlab lo que facilita el desarrollo y evaluación de algoritmos para análisis matemático de datos. De manera específica son tres los servicios a los que se tienen acceso: 1) recolección de datos de manera privada en la nube, 2) análisis y visualización utilizando MathLab y 3) un servicio de disparadores que pueden ser programados para activarse bajo determinadas condiciones y enviar notificaciones utilizando servicios de terceros como Twilio o Twitter.

Aplicaciones

Los sistemas IoT pueden agruparse dependiendo de la problemática que resuelven. Aunque no existe una clasificación oficial, algunas de las áreas o sectores en los que los sistemas IoT tienen mayor impulso son: salud, transporte, agricultura, casas particulares e industria (Al-Fuqaha, Mohsen y Mehdi, 2015). El verdadero potencial e impacto de los sistemas IoT aún está por llegar, sin embargo, en la actualidad ya son muchos los productos que están disponibles para el público en general. A continuación, se hace una revisión por área de algunos de estos productos.

Cuidado de la salud

El uso de sistemas IoT en el sector salud contribuye a la mejora de la calidad y efectividad en el servicio que se ofrece a los pacientes, de manera especial a los adultos mayores, pacientes con enfermedades crónicas o aquellos que requieren de un cuidado o supervisión constante. Por ejemplo, para el cuidado de pacientes con problema cardíacos, existen productos como el MoMe Kardia de la empresa InfoBionic⁷ que se utilizan para monitorear de manera remo-

⁷ <https://infobionic.com/>

ta y en tiempo real diferentes problemas asociados a condiciones de este tipo. Empresas como Amiko,⁸ ofrecen soluciones para la administración inteligente de tratamientos crónicos basados en la adquisición y análisis del suministro de medicamentos. La propuesta de Amiko no solo consiste en una plataforma inteligente, sino también en dispositivos como inhaladores, spray nasales, suministradores de inyecciones y botellas de pastillas equipadas con sensores para proveer información sobre la aplicación del medicamento. Otra empresa que se encuentra trabajando en esta área es *CarePredict*⁹, quien ha desarrollado un sistema que mediante del uso de un dispositivo tipo pulsera sirve para el cuidado de adultos mayores de manera remota. Esta pulsera apoyada con un algoritmo de aprendizaje automático es capaz de identificar actividades cotidianas como cuando su usuario está comiendo, bebiendo, bañándose, cepillándose los dientes, peinándose, caminando, sentado, durmiendo, entre otras actividades.

Figura 7
Monitor cardíaco MoMe de InfoBionic y pulsera Tempo de *CarePredict* para monitoreo de actividades



Fuente: <https://infobionic.com/>, <https://www.carepredict.com/>.

⁸ <http://amiko.io/>

⁹ <https://www.carepredict.com/>

Transporte

Los sistemas IoT también están contribuyendo al surgimiento de una nueva generación de sistema de transporte más seguro y eficiente. En el sector de transporte público cada vez son más las compañías que integran a sus unidades equipos de localización satelital para monitorear su ubicación. La recolección de esta información es de gran valor para las autoridades responsables de planear y regular el transporte ya que pueden identificar con precisión horarios, rutas y zonas en donde existe mayor o menor demanda y así realizar ajustes para ofrecer una mejor experiencia en el servicio a los usuarios. En el área de los autos particulares también hay grandes avances, la integración de diferentes tipos de sensores por parte de los fabricantes es hoy no solamente una práctica común sino un área que en la que las diferentes compañías se encuentran en una dura competencia. La creciente integración de sensores permite recolectar información valiosa que está haciendo utilizada para el desarrollo de aplicaciones que asisten a los conductores durante sus trayectos. Dentro de los proyectos más ambiciosos en esta área destaca el diseño de autos completamente autónomos como lo son el proyecto WAYMO¹⁰ de Google o *Autopilot*¹¹ de Tesla.

Sector agropecuario

El uso de sensores también está siendo utilizado en el sector agropecuario para construir herramientas que contribuyan a la reducción de costos y mayor eficiencia productiva de los campos. Por ejemplo, en el sector ganadero, se puede hacer uso de dispositivos para monitorear no solamente la ubicación precisa del ganado si no también otras variables como temperatura y movilidad para que con esta información se puedan generar en tiempo real diferentes diagnósticos. La empresa SCR¹² ofrece una variada *suite* de productos tanto de *hardware* como *software* para ayudar a los productores de leche a monitorear de manera muy precisa las condiciones de su ganado. La recolección de información se hace me-

¹⁰ <https://waymo.com/>

¹¹ <https://www.tesla.com/autopilot>

¹² <http://www.scrdairy.com/>

diante el uso de collares o aretes que son colocados de manera individual a cada animal. Por otro lado, la empresa CropX¹³ cuenta con una plataforma que ayuda a los agricultores a eficientar sus sistemas de riego. La plataforma cuenta con un sensor que genera un mapa en tiempo real de las necesidades de riego del terreno, de esta forma, en lugar de aplicar un riego generalizado se puede aplicar con precisión optimizando el uso del agua.

Figura 8
Arete para monitoreo de ganado de SCR y sensor CropX



Fuente: <https://www.es.scrdairy.com/>, <https://www.cropx.com/>.

Casas inteligentes

La automatización de los hogares también representa un sector importante para el IoT y a la fecha ya existen un número importante de productos para contribuir en la seguridad, comodidad, autonomía y eficiencia energética de los hogares. Para hacer los hogares más seguros la empresa Nest,¹⁴ por ejemplo, cuenta con una serie de cámaras inteligentes diseñadas para monitorear el inte-

¹³ <https://cropx.com/>

¹⁴ <https://nest.com>

rior y el exterior de los hogares. Estas cámaras se distinguen de las tradicionales en que no solamente sirven para observar sino que también son capaces de distinguir de manera automática los objetos y personas que entran en el alcance de la cámara. De esta forma, si la cámara identifica un rostro desconocido, de manera inmediata envía una alerta a los propietarios. Para el uso eficiente de energía, Neurio¹⁵ ofrece una solución para el monitoreo y el análisis del consumo energético. El análisis de datos es una parte central de cualquier sistema IoT, ya que la simple recolección de datos no es suficiente. Son las analíticas y los algoritmos de aprendizaje automático lo que hacen que los sistemas IoT notablemente eficientes y útiles.

Figura 9
Cámara NEST y kit Neurio para monitoreo energético



Fuente: <https://nest.com/mx/>, <https://www.neurio.io/>.

¹⁵ <https://www.neurio.io>

Conclusiones

Se ha presentado una descripción de la arquitectura, principales componentes e interacciones que caracterizan a los sistemas que se categorizan como internet de las cosas. También se presentó una selección de productos que permite ampliar el entendimiento del IoT y crear una visión de los sistemas que en un futuro se pudieran desarrollar. Estos sistemas estarán cada vez más integrados a nuestras actividades cotidianas y serán más accesibles, pero para llegar a este punto, primero deberán superarse diversos retos en términos de conectividad, privacidad, seguridad, entre muchos otros. Afortunadamente, tanto la academia como la industria están muy interesadas en esta y otras áreas relacionadas por lo que cada año realizan importantes inversiones para su desarrollo, con esto existe certeza de que en poco tiempo se conseguirán avances importantes en cada uno de los retos antes señalados.

Bibliografía

- ANSYS, Inc. (2016). *Engineering the Internet of things*. ANSYS.
- Ashton, K. (2009). That 'Internet of Things' thing. *RFiD Journal*.
- Atzori, L., Iera, A. y Morabito, G. (2010). The internet of things: A survey. *Computer networks*, 54(15), pp. 2787-2805.
- Christopher Holloway, "Informe Especial IoT 2017: Tres casos reales, obstáculos y cómo superarlos," NetMedia Research, Mayo 2017.
- Design & Reuse. (29 de noviembre de 2016). *IoT and Automotive to Drive IC Market Growth Through 2020*. Obtenido de: <https://www.design-reuse.com/news/41008/iot-automotive-ic-market-growth.html>
- E. Khorov, A. Lyakhov, A. Krotov, and A. Guschin. "A survey on ieee 802.11ah: An enabling networking technology for smart cities". *Comput. Commun.*, vol. 58, pp. 53–69, 2015.
- Evans, D. (2011). *The Internet of Things. How the Next Evolution of the Internet Is Changing Everything*. CISCO IBSG.
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S. y Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future generation computer systems*, 29(7), pp. 1645-1660.
- IEEE 802.11ah-2016-IEEE Standard for Information technology-Telecommunications and information exchange between systems - Local and metropolitan area networks--Specific requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 2: Sub 1 GHz License Exempt Operation

- IETF (s.f.), *"IPv6 over the TSCH mode of IEEE 802.15.4e (6tisch)"*. Obtenido de: <https://datatracker.ietf.org/wg/6tisch/charter/>.
- J. Morrish. (2013). "Low Power Wide Area Wireless Network Technologies for M2M: A Technical Comparison of On-Ramp, Sigfox and Weightless," Machina Research.
- L.A.N. Man, S. Committee, and I. Computer (2006), "IEEE Standard for Information technology- Telecommunications and information exchange between systems- Local and metropolitan area networks-Specific requirements-Part 15.4: Wireless MAC and PHY Specifications for Low-Rate WPANs," Control, vol. 2006.
- L.A.N. Man, S. Committee, and I. Computer (2012). *"Part. 15.4: Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs) Amendment 1: MAC Sublayer, IEEE Standard for Information Technology, IEEE standard 802.15.4e"*.
- LoRa Alliance (s.f.). "What is LoRaWAN?". Tomada de: <https://www.lora-alliance.org/what-is-lora>
- M. C., M. L., & R. R. (2010). The Internet of Things.
- Machina Research (s.f.). Obtenido de: <https://machinaresearch.com/>.
- Mineraud, J., Mazhelis, O., Su, X. y Tarkoma, S.(2016). A gap analysis of Internet of Things platforms. (Elsevier, Ed.) *Computer Communications*, 89, pp. 5-16.
- Nieminen, J., Savolainen, T., Isomaki, M., Patil, B., Shelby, Z. y Gomez, C. (2015). *"IPv6 Over Bluetooth(r) Low Energy,"* Working Draft, IETF Secretariat, Internet-Draft draft-ietf-6lo-btle-17. Available: <http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-6lo-btle-17.txt>.
- Palattella, M. R., Accettura, N., Vilajosana, X., Watteyne, T., Grieco, L. A., Boggia, G. y Dohler, M. (2013). Standardized Protocol Stack for the Internet of (Important) Things. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 15(3), 1389–1406. <https://doi.org/10.1109/SURV.2012.111412.00158>.
- SigFox (s.f.). "Sigfox Technology Overview". Tomado de: <https://www.sigfox.com/en/sigfox-iot-technology-overview>
- Swan, M. (2012). Sensor Mania! The Internet of Things, Wearable Computing, Objective Metrics, and the Quantified Self 2.0. (J. Editorial, Ed.) *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 1(3), 217-253.
- TechTarget Network (s.f.). "LPWAN (low-power wide area network)", obtenido de: <http://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/LP-WAN-low-power-wide-area-network>.
- The Bluetooth Special Interest Group (2010), *"Specification of the Bluetooth system, covered core package v4.0"*.
- WiFi Alliance (s.f.). *Discover WiFi*. Obtenido de: <https://www.wi-fi.org/discover-wi-fi>.
- ZigBee Alliance (s.f.). *What is ZigBee?*. Obtenido de: <http://www.zigbee.org/what-is-zigbee/>.

Inteligencia artificial y aprendizaje máquina: Aplicaciones y tendencias

Jorge Rafael Gutiérrez Pulido
Erika Margarita Ramos Michel
Ricardo Acosta Díaz

Inteligencia artificial

El cerebro humano es el órgano más fascinante del ser humano, no sólo por su gran capacidad de cálculo en paralelo, sino por su capacidad para producir procesos complejos tales como la creatividad, la abstracción, la sinestesia, el intelecto, las emociones, el instinto, los sentimientos, la conciencia, el sentido común, las habilidades, el habla, los estados de ánimo, y sobre todo el aprendizaje. La forma en que cada uno de éstos ocurre en el cerebro aún es poco conocida. La comunidad científica de inteligencia artificial (IA) en general estudia principalmente al último de ellos, el aprendizaje. La IA deriva de disciplinas tales como las matemáticas, filosofía, psicología, ciencias cognitivas, la neurociencia y las ciencias computacionales. Como tal, se encarga de estudiar problemas relacionados a la forma en que el ser humano realiza procesos para la toma de decisiones tales como la percepción, resolución de problemas, búsqueda, comprensión de imágenes, procesamiento de datos, interpretación de información, y razonamiento, entre otros (Dean *et al.*, 1995). Simular este tipo de procesos es la tarea a la que actualmente algunas de las comunidades científicas de inteligencia artificial se han enfocado y han trabajado con relativo éxito como veremos en este capítulo.

Entre los campos más importantes que abarca la IA tenemos: visión por computadora, cómputo consciente de contexto, reconocimiento de patrones, control de gestos, procesamiento de lenguaje natural, agentes de software, tecnologías del web semántico, asistentes personales, robótica y el aprendizaje máquina (AM).

Cada uno de estos campos tiene áreas particulares de estudio. Por ejemplo, el procesamiento de lenguaje natural se divide en: traducción, recuperación y extracción de información, reconocimiento y síntesis del habla, identificación y verificación de quien habla, sistemas de diálogo, y de preguntas y respuestas. A continuación abundamos en el campo del aprendizaje máquina.

Tradicionalmente, en la IA existen dos corrientes de pensamiento (Michalski, Mitchell y Carbonell, 1983):

Simbólico: La característica principal de éste es la manipulación de símbolos, por ejemplo, las tecnologías semánticas y el procesamiento de lenguaje natural.

Conexionista: Ésta tiene que ver con el cálculo numérico, como el aprendizaje máquina y el aprendizaje profundo.

Una tercera corriente emergente del pensamiento de la IA tiene que ver con las multitudes, imitando estrategias que muchas especies usan para resolver problemas (Neapolitan y Jiang, 2012):

Colectiva: se caracteriza por resolver problemas de IA por medio de comunidades de individuos o grupos de computadoras de manera no convencional, *resolviendo problemas sobre los hombres de gigantes*, por ejemplo, el cómputo evolutivo y las meta-heurísticas bio-inspiradas.

Aprendizaje máquina (AM)

El AM también es conocido como aprendizaje automático (AA), aprendizaje artificial (AA), o *machine learning* (ML) en inglés. Se refiere a la aplicación de algoritmos que hacen uso de un conjunto de datos de entrada, materia de estudio, para encontrar patrones y aprender. Los datos encontrados también son utilizados como realimentación del sistema para mejorar las predicciones basadas en el aprendizaje previo (Marsland, 2015; Alpaydin, 2014). En otras palabras, son algoritmos que aprenden de los datos sin necesidad de programarse en un lenguaje de computadora explícitamente.

Por ejemplo, si contamos con datos acerca del comportamiento de compras de nuestros clientes, podemos hacer predicciones sobre sus futuras compras.

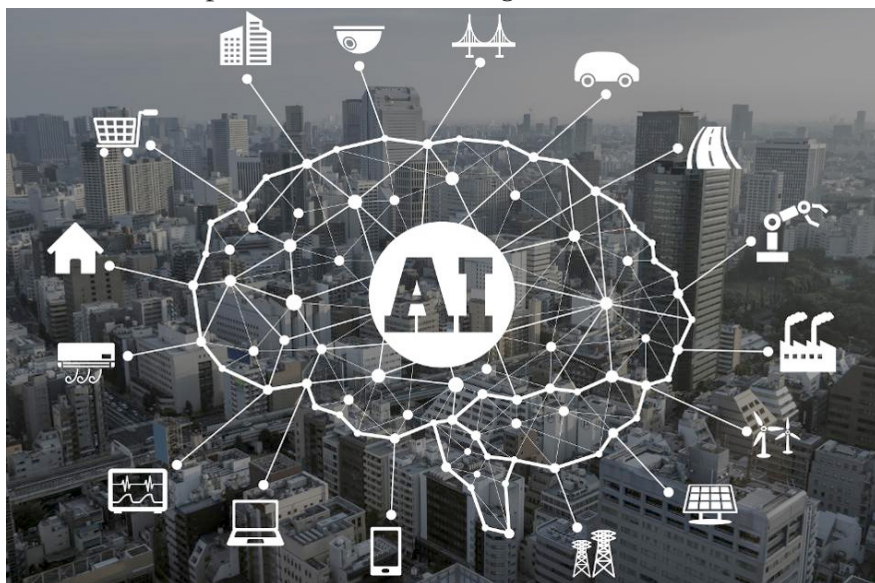
El término aprendizaje máquina empezó a usarse en los años setenta para designar a las técnicas existentes para automatizar el proceso de adquisición de conocimiento. Los desarrollos teóricos y el surgimiento de nuevas corrientes de la IA consolidaron al AM en los años ochenta que ya incorporaba elementos nuevos de las ciencias computacionales como la teoría de la información, reconocimiento de patrones, y la teoría del aprendizaje, entre otras (Kodratoff, 1988).

Aplicaciones

Existen un sinnúmero de aplicaciones en las que podemos aplicar aprendizaje máquina. Entre los ámbitos de aplicación más comunes tenemos: finanzas, salud, medio ambiente, internet de las cosas, ventas, y el ciberespacio, entre otros (figura 1).

De manera particular, en las aplicaciones donde los algoritmos de aprendizaje máquina son de utilidad tenemos: sistemas de tutoría inteligente, creación de perfiles de estudiantes, monitoreo de volcanes, de señales del espacio exterior, de los océanos, de eventos sísmicos, prevención de inundaciones, de tsunamis, rastreo de objetos, interacción ubicua, análisis de adopción de tecnología, *rankeo* de riesgo de crédito, detección de fraudes, lavado de dinero, predicciones para *eBusiness*, predicción de mercados, análisis de comunidades en línea, campañas publicitarias, sistemas de recomendación, jerarquización de páginas web, decodificación de secuencias genéticas, interacción de proteínas, cuidado de la salud, medicina basada en evidencia, manejo de epidemias, ciudades inteligentes, vehículos autónomos, predicción del clima, modelado de contaminación, calidad del agua, inventarios, manejo de clientes, autoría en propiedad intelectual, predicción de desastres naturales, separación de objetos, identificación de patrones, clasificación de imágenes, entre muchos otros (Hassanien y Gaber, 2017; Dean, 2014; Kelleher, Namee y D'Arcy, 2015).

Figura 1
Aplicaciones de la inteligencia artificial



Fuente: shutterstock.com.

Este cúmulo de aplicaciones se basa principalmente en actividades de generalización, clasificación, predicción, y agrupamiento. Los algoritmos de AM tienen estrecha relación con, y son de utilidad también para, otros campos de la IA como el minado de datos y el descubrimiento de conocimiento.

En nuestro país la generación de conocimiento y la transferencia tecnológica de la inteligencia artificial y el aprendizaje máquina es importante. A continuación mencionamos algunos ejemplos de los esfuerzos de investigación de la comunidad científica, los emprendedores, la academia, y el gobierno, a lo largo y ancho de nuestro país (Conacyt, 2017).

En el Instituto Tecnológico de Aguascalientes (ITA) se han desarrollado aplicaciones móviles para vehículos de gama baja que les permite a los usuarios de éstos estacionarse de una manera más segura. El Ayuntamiento de Aguascalientes desarrolló una aplicación móvil para el reporte de situaciones tanto de seguridad públi-

ca como de emergencia al instante, incluyendo la ubicación exacta de la situación.

La Unidad Saltillo del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (Cinvestav) está trabajando en la elaboración de interfaces para la rehabilitación muscular de pacientes haciendo uso de sistemas robóticos y aprendizaje artificial. Del mismo modo, otro grupo de la misma unidad desarrolla investigación sobre tres tipos de localización de robots móviles: absoluta, relativa y conjunta con diversos sensores. Esto con el fin de incorporarlos en vehículos autónomos tanto terrestres como submarinos.

La Universidad Autónoma de Yucatán (UADY), en vinculación con empresas de la ciudad, ha desarrollado tecnologías inteligentes para la interacción de personas con diversos dispositivos en el hogar. Las nuevas empresas basadas en tecnologías de información también contribuyen en gran medida en este aspecto. Algunas de ellas están trabajando en robots para el hogar. *Roomie IT Services* es una empresa emergente (*startup*) que desarrolla agentes conversacionales capaces de interactuar con su entorno.

Investigadores y estudiantes del Instituto Mexicano del Transporte (IMT), a través del Laboratorio Nacional de Sistemas de Transporte y Logística, diseñaron un modelo de simulación de tránsito vehicular para mejorar la seguridad vial de personas vulnerables en cruceros de la ciudad de Querétaro.

El concepto de ciudades inteligentes ya fue adoptado por Cozumel, la primera isla inteligente del Caribe, con el fin de promover la sustentabilidad ambiental, material y humana con el apoyo de herramientas de la tecnología y la información, la cual cuenta con aplicaciones para iOS y Android.

Un grupo de investigadores del Centro de Investigación e Innovación en Tecnologías de la Información y Comunicación (INFOTEC) y del Centro de Investigación en Geografía y Geomática (CentroGeo), han desarrollado tres algoritmos para clasificar texto con el fin de polarizar mensajes, y crear perfiles de usuarios dependiendo de su edad, género y región.

Un grupo de estudiantes emprendedores de la Universidad Iberoamericana Puebla creó una empresa cuyo primer producto es

un acoplamiento para el calzado, diseñado para auxiliar en la movilidad de las personas ciegas y débiles visuales, cumpliendo funciones similares a las de un bastón o perro guía.

Centro de Investigación en Matemáticas, A.C. (CIMAT), unidad Zacatecas, trabaja en la optimización de procesos para la toma de decisiones mediante la incorporación de métodos avanzados de resolución de problemas basados en IA, con el fin de crear un sistema inteligente para que las organizaciones puedan afrontar de forma más eficaz la gestión de sus procesos.

El monitoreo de la biodiversidad a través de inteligencia artificial es actualmente una alternativa para la conservación de especies alrededor del mundo. En el Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas (IIMAS) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) se trabaja en el desarrollo de un modelo de identificación de cantos de aves basado en aprendizaje profundo con el fin de identificar cantos de aves.

En la carrera de ingeniería en inteligencia artificial de la Universidad Panamericana (UP), campus Aguascalientes, resultado de un *hackathón*, han desarrollado *Pandapp*, una aplicación para dispositivos móviles que estimula y eleva la calidad de comunicación interpersonal en niños con parálisis cerebral o problemas del lenguaje, adscritos al Centro de Rehabilitación Infantil Teletón (CRIT) de Aguascalientes. Hace uso también de realidad aumentada y un tablero de comunicación que permite a los niños expresarse con la parte de su cuerpo que tenga mayor movilidad.

En el Cinvestav desarrollaron una propuesta metodológica para la enseñanza de la matemática y la física en el nivel educativo básico de forma práctica y de bajo costo. En la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH) se desarrollan aplicaciones haciendo uso de herramientas de inteligencia artificial para mejorar ambientes educativos en línea. De la misma manera, en esfuerzo conjunto las Universidad de Colima (UdeC) y la Autónoma de Baja California (UABC) elaboran asistentes inteligentes para apoyar el proceso de tutoría asistida para reducir las tasas de deserción de estudiantes de nivel superior en el área de ingenierías.

Herramientas de software

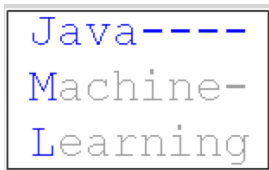
A continuación presentamos algunas de las herramientas de software más comunes para realizar tareas de aprendizaje artificial. Por el impacto que tienen, hemos elegido aquellas que han sido escritas en el lenguaje de programación Java (Witten, Frank y Hall, 2011).

Ambiente Waikato para análisis de conocimiento



El ambiente Waikato para análisis de conocimiento (Weka por sus siglas en inglés), es la librería de AM más conocida y usada. Desarrollada en Java por la Universidad de Waikato de Nueva Zelanda. Está compuesta por alrededor de 300 algoritmos para infinidad de tareas relacionadas con procesamiento de datos, selección de atributos, clasificación, regresión, agrupamiento, y minado de reglas de asociación. Incluye una interfaz gráfica de usuario para exploración de datos así como un completo interfaz de programación (API). Se distribuye con licencia pública *GNU General Public License*.

Java Machine Learning



Desarrollada exclusivamente para programadores, es una colección de implementaciones de algoritmos de AM y minería de datos de propósito general, bien documentada y lista para usarse. Con más de 20k líneas de código contiene lo necesario para hacer agrupamiento, transformadas *wavelets*, de Fourier, máquinas de soporte. Incluye algoritmos no presentes en Weka, *e.g.* métricas de similitud, evaluación de atributos de bosque aleatorio, entre muchos otros. Se distribuye con licencia pública *GNU General Public License* (GNU GPL).

Deep Learning for Java



También conocida como *DeepLearning4J*, es una librería distribuida y de código abierto escrita en Java. Normaliza y transforma datos en vectores de entrada, configura diversos tipos de red neuronal: de realimentación, convolucionales, de creencia profunda, máquinas restringidas de Boltzmann, y autocodificadoras, entre otras. Tiene ejemplos de trabajo para clasificación y agrupación de imágenes, series de tiempo y texto. Permite importar conjuntos de datos entrenados desde Keras y Python. Corre sobre múltiples GPU (unidad de procesamiento gráfico) sobre *Spark*, compatible con *Hadoop*. Se distribuye bajo la licencia Apache 2.0.

Machine Learning for Language Toolkit



Éste es un paquete basado en Java para procesamiento de lenguaje natural, clasificación de documentos, marcado de secuencias, agrupamiento, modelado de tópicos, extracción de información, análisis de sentimientos, medidas de relación semántica y otras aplicaciones de aprendizaje máquina aplicadas a documentos de texto. *Machine Learning for Language Toolkit* es ampliamente usado, tanto en la academia como en la industria. Cuenta tanto con una interfaz de línea de comandos así como una completa y vasta interfaz de programación. Se distribuye bajo la licencia *Common Public License* 1.0.

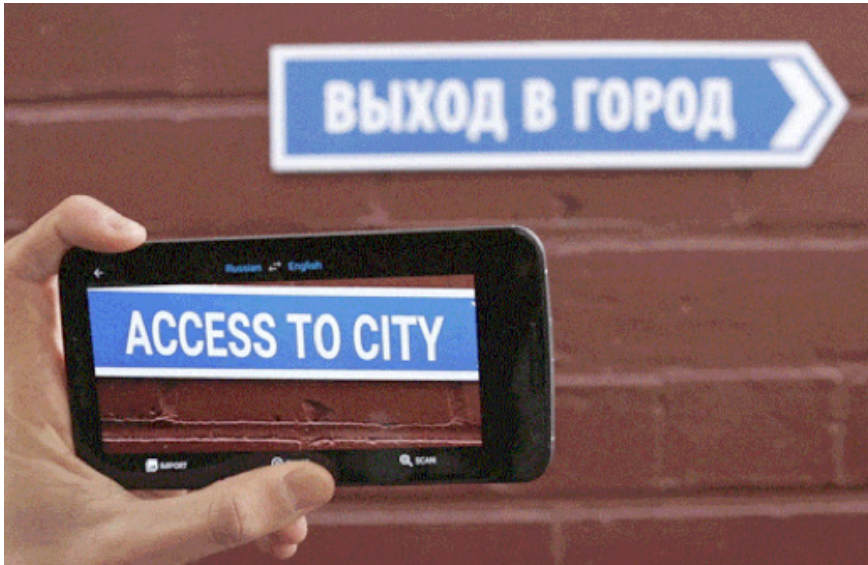
Tendencias

Esta década ha visto avances importantes, en general, en todos campos de la inteligencia artificial. Queremos destacar, en particular, cinco aspectos que han tenido y seguirán teniendo un gran impacto en el desarrollo de la inteligencia artificial y el aprendizaje máquina en los próximos años.

Poder de cómputo al ciudadano. Éste ha aumentado y seguirá aumentando, en tanto que el tamaño de los dispositivos de cóm-

puto actuales seguirá en decremento, por ejemplo, prendas inteligentes, gafas interactivas, o audífonos inteligentes como los vistos en las series, televisiva en USA y de radio en Reino Unido, de ciencia ficción de hace algunas décadas: *Star Trek* y *The Hitchhiker's Guide to the Galaxy*. Prueba de esto es el hecho de que con el poder de cómputo de un teléfono actual estamos sobrados en capacidad comparada con las primeras computadoras que se usaron para enviar cohetes a la Luna. En otras palabras, un *smartphone* es más potente que la computadora que envió a la luna el Apollo 13 hace aproximadamente 50 años.

Figura 2
Aplicaciones de traducción de Google



Fuente: shutterstock.com.

Cantidades masivas de datos. Se están generando sobre información de todo tipo: escritos, audio, video, multimedia, y datos crudos. El concepto de internet de las cosas (*IoT*, siglas en inglés), que incluye todo tipo de sensores, drones, y otras tecnologías de recolección de datos, como las utilizadas en el desarrollo de ciudades inteligentes, islas inteligentes, hogares inteligentes, y otros ámbitos inteligentes. Aunque son cantidades importantes de datos,

en realidad no podremos llamar a esto *big data*. Para ayudarnos a dimensionar el significado de *big data* pensemos en lo siguiente. Si reprodujeramos 1 petabyte (PB) (1×10^{15} bytes $\approx$ 1000Tb) de video tendríamos que esperar 34 años para terminar de ver la película. Hablar de 1 hexabyte (EB) (1×10^{18} bytes $\approx$ 1000Pb) nos lleva a pensar en el tamaño estimado de internet que es de 500EB, hablar de 1 Zb (1×10^{21} bytes $\approx$ 1000Eb) ya no es tan fácil, pues debemos imaginar la cantidad de información que producen los telescopios que exploran el universo —*alrededor de 300Zb*— cada año.

Inteligencia computacional. Contar con gran poder de cómputo no es el componente más importante para procesar datos, sino los algoritmos de IA y AM que nos permiten descomponer y darle sentido a todo ese cúmulo de datos, incluyendo la posibilidad de realizar tareas básicas de razonamiento e inferencia a través de tecnologías semánticas a manera de sistemas de inteligencia computacional híbridos. Tenemos que hablar de aplicaciones de IA y AM corriendo sobre microprocesadores de propósito específico —con núcleos neuromórficos y neurosinápticos de ultra bajo consumo como los que están produciendo Intel, IBM, NVidia, Microsoft, Qualcomm, Apple, o Alphabet antes Google— incorporados en los diferentes dispositivos con los que interactuamos.

Sistemas robóticos. El acelerado desarrollo de accesorios, complementos, y toda una serie de implementaciones de robótica en infinitud de áreas nos está llevando muy cerca de lo que hace algunas décadas sólo podíamos ver en películas de ciencia ficción. Actualmente existen *kits* de robótica que pueden llevarse al salón de clase. Incluyen código fuente abierto, reconocimiento de voz, de movimientos, así como programación de movimientos (Meccano, 2016). De manera particular, éstos son de utilidad en actividades de rescate, exploración de terrenos no convencionales, automatización, incluyendo el ámbito de salud a través de sistemas basados en nanotecnología para el combate de enfermedades genéticas y crónico-degenerativas.

Babel fish day. Las nuevas interfaces de comunicación entre seres humanos y computadoras se han desarrollado de manera importante. Destacan de manera particular *Watson de IBM*, *Alexa de Amazon*, *Cortana de Microsoft*, *Siri de Apple*, *Bixby de Samsung* y los

nuevos audífonos de Alphabet. Los asistentes personales antes mencionados, realizan actividades sofisticadas de cómputo con una característica muy especial, la interfaz y poder de cómputo ahora están en nuestras manos.

De manera particular destacan, Alexa, un asistente del hogar con el cual se puede dialogar, preguntar acerca del clima, pedir que encienda la televisión, o reproduzca nuestro álbum de música favorito, incluso que nos haga un pedido de pizza. No es un robot, es una caja negra que se integra a nuestro entorno. Eso es lo que resulta innovador, parece que no está ahí, sin embargo es un integrante más de la familia. Por otro lado, los dispositivos de *Google* (figura 2) que en conjunto con otras aplicaciones de *Google*, traducen en tiempo real, no sólo texto sino también voz.

Conclusiones

¿La IA relevará al ser humano como fuerza de trabajo? ¿La IA representa un peligro para nosotros como especie? ¿Podremos descargar alguna IA en nuestro cerebro? No.

Los gigantes de las tecnologías de información han creado una alianza de ia. Esta alianza tiene un doble fin: promover las tecnologías inteligentes entre la sociedad por un lado, así como crear estándares de investigación y desarrollo. Dichas empresas son Facebook, Amazon, Microsoft, ibm, Alphabet, Apple, y OpenAI. La academia, algunas organizaciones sin fines de lucro, y otros actores importantes interesados en el área se han integrado para discutir las directrices con que dicha alianza se conducirá, incluyendo aspectos éticos, de legitimidad, inclusividad, transparencia, privacidad, interoperabilidad, colaboración, confiabilidad y robustez de la tecnologías de ia y am creadas (OpenAI, 2017).

La importancia y valor monetario del mercado de aplicaciones de ia y AM seguirán creciendo. Los gigantes de las tecnologías de información y otros, como también de tecnologías como Intel, Tesla Motors, Nvidia, y SpaceX están haciendo importantes inversiones en el área. Sin embargo, muchas otras provienen del área de la salud, e.g. RetroSense Therapeutics, Veritas Genetics, T2 Biosystems, e Illumina. La última por ejemplo, está aplicando ia para detectar cáncer antes de que aparezcan los síntomas.

Sin duda cualquier pronóstico y tendencia acerca de la IA y el AM se quedarán cortos. Extraer reglas de procesos complejos, aprender patrones de información, desarrollar soluciones con base a procesos de evolución, entre otros, nos permiten implementar aplicaciones de IA con el fin de imitar a la entidad más inteligente a nuestro alcance, el cerebro. Lo mejor aún está por venir.

Referencias

- Alpaydin, E. (2014). *Introduction to Machine Learning*. Tercera Edición. Cambridge: MIT.
- Conacyt (2017). Sección de Tecnología. Página de divulgación de ciencia y tecnología del Conacyt. En-línea: <http://conacytprensa.mx/index.php/tecnologia>.
- Dean, J. (2014). *Big Data, Data Mining and Machine Learning. Value Creation for Business Leaders and Practitioners*. New Jersey: John Wiley and Sons, Inc.
- Dean, T., Allen, J. Aloimonos, Y. (1995). *Artificial Intelligence*. Addison Wesley.
- Hassanien, A. E. y Gaber, T. (2017). *Handbook of Research on Machine Learning Innovations and Trends*. IGI Global.
- Kelleher, J. D., Namee, B. M. y D'Arcy, A. (2015). *Fundamentals of Machine Learning for Predictive Data Analytics*. The Mit Press.
- Kodratoff, Y. (1988). *Introduction to Machine Learning*. Pitman publishing, London.
- Marsland, S. (2015). *Machine Learning. An Algorithmic Perspective*. Segunda Edición. Chapman and Hall/CRC, USA.
- Meccano (2016). Sección de programación de la página de ingeniería y robótica Meccano. En-línea: <http://www.meccano.com/meccanoid-open-source>.
- Michalski, R. S., Carbonell, J. G. y Mitchell, T.M. (1983). *Machine Learning: An Artificial Intelligence Approach*. Springer-Verlag.
- Neapolitan, R. E. y Jiang, X. (2012). *Contemporary Artificial Intelligence*. CRC Press.
- OpenAI. (2017). Miembros de la alianza de IA: en beneficio de la gente y la sociedad. En-línea: <https://www.partnershiponai.org/partners>.
- Witten, I. H. y Frank, E. y Hall, M. A. (2011). *Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques*. Tercera Edición. Morgan Kaufmann.

La era del cómputo cognitivo

Ricardo Acosta-Díaz

Pedro Damián Reyes

Silvia Berenice Fajardo Flores

Introducción

En la actualidad la aceleración tecnológica se está dando a mayor velocidad que la que se experimentó en área de la computación en su momento. Tal es el caso de las tecnologías disruptivas, es decir aquellas que aún se encuentran en gestación y que por sus avances se espera que al difundirse transformen sustancialmente la producción, el empleo, el bienestar, la gobernabilidad y las relaciones humanas.

Estas tecnologías se caracterizan por producir cambios radicales abruptos que transforman los sistemas sociales, económicos, ambientales y gubernamentales (Padbury, 2014). Como consecuencia, tanto la academia, industria y gobiernos deben invertir recursos para mantener su ventaja competitiva. Prueba de ello son la gran cantidad de congresos, foros y estudios que se realizan entre científicos, expertos, políticos y la sociedad civil para conocer el estado del arte y presentar avances.

En su estudio, Gartner (2018) explica que los asistentes personales virtuales tienen el potencial de transformar el lugar de trabajo al hacer las tareas cotidianas de forma más eficaz. Por eso, los proveedores de tecnología se enfocarán en desarrollos de analítica avanzada, procesos de negocio dirigidos cada vez más autóno-

mos e interfaces conversacionales impulsadas por la inteligencia artificial. Para el 2018 se espera que la mayoría de las 200 principales compañías del mundo analicen el uso de aplicaciones inteligentes y utilicen estrategias de *big data* y herramientas de análisis para perfeccionar sus ofertas y mejorar la experiencia del cliente.

La cuarta revolución industrial

A lo largo de la historia, hemos vivido tres marcadas revoluciones industriales; la primera marcó el paso de la producción manual a la mecanizada, entre 1760 y 1830; la segunda, alrededor de 1850, trajo la electricidad y permitió la manufactura en masa. La tercera estuvo marcada por la llegada de la electrónica y la tecnología de la información y las telecomunicaciones.

Según Klaus Schwab (2016), hemos ingresado a una cuarta revolución industrial, donde la rapidez de las innovaciones es tal que los cambios y prospectivas tecnológicas se van transformando en un insumo casi inmediato de gobiernos y empresas a la hora de evaluar proyectos y emprender programas. Básicamente existen tres razones por las que las transformaciones actuales no representan una prolongación de la tercera revolución industrial: la velocidad, el alcance y el impacto en los sistemas.

Esta nueva revolución trae consigo una tendencia a la automatización total de la manufactura por medio de sistemas ciberfísicos, utilizando el internet de las cosas y el cómputo en la nube, donde los sistemas ciberfísicos, que combinan maquinaria física y tangible con procesos digitales, son capaces de tomar decisiones descentralizadas y de cooperar —entre ellos y con los humanos— mediante el internet de las cosas.

La cuarta revolución industrial está generando una transformación acelerada en las competencias y habilidades que requieren las personas para desempeñar un trabajo: la demanda por nuevas calificaciones aumenta, y la obsolescencia de habilidades existentes se acelera. Muchos de los trabajos que actualmente conocemos serán automatizados en los próximos años, o los trabajadores serán sustituidos por máquinas inteligentes, motivo por el cual se requerirá realizar nuevas alfabetizaciones, donde las habilidades requeridas en el siglo XXI serán redefinidas.

Estamos ante grandes oportunidades donde la disrupción, la transformación acelerada de ocupaciones y el riesgo de mayor desigualdad son tres grandes retos cuando se habla del impacto de las nuevas tecnologías en el mundo del trabajo.

Automatización del trabajo del conocimiento

Como se mencionó anteriormente, el mundo está experimentando una transformación sin precedentes que habrá de redefinir los parámetros para las siguientes generaciones en materia de evolución tecnológica. Esta evolución puede definirse en dos grandes eras:

- La mecánica —que comenzó a raíz de la Segunda Guerra Mundial
- La actual, en la que las personas comienzan a convivir con sistemas que se programan y aprenden.

De acuerdo con Salvador Martínez Vidal, director de IBM México, estos nuevos sistemas son capaces de relacionar, construir y aprender de forma autónoma sin proporcionarles una sola línea de código, lo cual se convierte en el fundamento de los llamados sistemas cognitivos (Ugalde, 2016).

De acuerdo con IBM, existen tres capacidades que diferencian a un sistema cognitivo: entienden, razonan y aprenden.

De tal forma, un sistema cognitivo es un conjunto de tecnologías capaz de *entender* como los humanos, ya sea por lenguaje natural o escrito, vocal o visual. Esto le permite *razonar*, es decir, entender la información, subrayar ideas y conceptos. Todo sumado le da la capacidad de *aprender* de manera autónoma y presentar a los usuarios información y datos que permitan mejorar el desempeño.

Según datos de IDC (International Data Corporation, 2018), el gasto global en sistemas cognitivos para 2020 será de 31 mil millones de dólares. De esta suma, el 60% corresponde a software (plataformas y aplicaciones cognitivas); el 23% a servicios empresariales y consultoría en TI relacionados con sistemas cognitivos; y el 17% a hardware (servidores y almacenamiento, principalmente).

Los tres principales sectores que invertirán en sistemas cognitivos son: banca (20%), salud (18%) y *retail* (17%).

Aplicaciones inteligentes

Según informe de Gartner (2017), durante los próximos diez años, casi todas las aplicaciones y servicios incorporarán un cierto nivel de inteligencia artificial. Las aplicaciones se tornaron parte fundamental de nuestras vidas desde hace tiempo, sin embargo, han evolucionado y ahora contamos con apps inteligentes, apoyadas en inteligencia artificial, internet de las cosas y *big data*.

La mayoría de usuarios que actualmente estamos disfrutando del *boom* de las apps, pronto tendremos acceso a una nueva generación de apps conocidas como los asistentes personales digitales y bots que sustituirán algunas de las funciones que ofrecen las apps hoy en día, gracias al internet de las cosas. Se espera que 2018, al menos 25% de las *apps* móviles interactúen con dispositivos IoT y las empresas tendrán que entrar a la era de la movilidad, donde no todo estará centrado en los *smartphones*, sino que en la infinidad de aparatos capaces de dialogar entre ellos. Es por ello que actualmente los proveedores de tecnología están iniciando el desarrollo de analítica avanzada, procesos de negocio dirigidos cada vez más autónomos e interfaces conversacionales impulsadas por la inteligencia artificial.

Según David Schubmehl, director de investigación de sistemas cognitivos y analíticas de contenido de IDC (2017), cree que cómputo cognitivo, inteligencia artificial y *deep learning* son la siguiente ola tecnológica que transformará tanto la forma en que la gente se divierte, trabaja y aprende, tanto en el mundo del consumo como el laboral. Esas aplicaciones están siendo desarrolladas y desplegadas sobre plataformas de software cognitivas y de inteligencia artificial que ofrecen herramientas y capacidades para proveer predicciones, recomendaciones y asistencia inteligente a través del uso de sistemas cognitivos, de aprendizaje de máquina e inteligencia artificial.

Los avances en inteligencia artificial, aprendizaje de las máquinas y las interfases como el reconocimiento de voz, por ejemplo, son lo que hace posible automatizar muchas tareas de los trabajadores del conocimiento que, durante mucho tiempo, han sido considerados como imposibles o poco prácticas para las máquinas. Por ejemplo, algunos equipos pueden responder a preguntas no es-

estructuradas abriendo la posibilidad de un cambio radical en la forma en que el trabajo del conocimiento se organiza y lleva a cabo.

A continuación se describen algunos ejemplos de casos de éxito de implementación de tecnologías cognitivas basados en la tecnología de IBM son los siguientes:

Watson: IBM ha desarrollado esta tecnología que permite recopilar, analizar, sacar conclusiones y hacer propuestas sobre cualquier tipo de información que se desee conocer. Para ello, existe un grupo de especialistas encargado de entrenar a Watson para que aprenda y sea más inteligente a medida que interactúa con los humanos. Watson puede salvar vidas, predecir terremotos y hasta ser un asesor médico, según David Ruiz, director de la unidad Watson en México. Watson también puede ser aprovechado como un asesor legal, capaz de estudiar sentencias y precedentes basándose en la enorme cantidad de información legal que puede aplicar para cada caso en particular (Watson, 2017).

Hospitales de Grupo Ángeles: Al tomar en cuenta que en México se registran 160 mil nuevos casos de cáncer cada año, según cifras de la Secretaría de Salud (2017), el uso de plataformas de inteligencia artificial, *big data* y analítica, se vuelven clave en la digitalización de este sector.

En este sentido, la empresa Grupo Ángeles Servicios de Salud anunció la adopción de la plataforma *Watson for Oncology* de IBM, con el fin de ayudar a los expertos de Hospitales Ángeles a identificar opciones de tratamiento de acuerdo con los síntomas de sus pacientes.

De acuerdo con una investigación de PubMed (2017), en la actualidad se publican al año más de 50,000 artículos de investigación en materia de salud, y para 2020 se estima que la información de este sector se duplique cada 73 días (Densen, 2011).

Ante este panorama, *Watson for Oncology* identifica las opciones de tratamiento consideradas por el oncólogo tratante, información que es extraída de más de 300 revistas médicas, 200 libros de texto y casi 15 millones de páginas de texto, a fin de proporcionar a los oncólogos, datos sobre diferentes opciones, tanto de tratamiento como de medicamentos.

Es interesante saber que durante la edición 2017 de la reunión anual de la *American Society of Clinical Oncology*, los centros de investigación expresaron que la tecnología cognitiva continúa mostrando grandes resultados. En específico, Watson coincidió con las recomendaciones del consejo de tratamiento de tumores hasta en 96% de los casos y redujo el tiempo de las pruebas de detección en 78%.

Primer consultorio virtual con tecnología cognitiva: Con el propósito de responder al gran número de búsquedas sobre temas de salud que hacen personas comunes diariamente en internet, la empresa 1DOC3 lanzó una app de orientación virtual de salud.

El reto de 1DOC3 (2017), es proporcionar un asesoramiento gratuito por parte de doctores verificados a esas consultas anónimas y hacer que la recopilación de todo ese conocimiento sea útil al ecosistema de salud con fines de prevención.

La plataforma opera con tecnología de nube IBM Bluemix, la cual aprovecha los servicios de internet de las cosas, *Blockchain*, *big data*, analíticos y APIs de Watson –el sistema de tecnología cognitiva de IBM.

Actualmente, 1DOC3 cuenta con una base de datos de más de cien mil preguntas y respuestas únicas gracias al entrenamiento que ha recibido su sistema Watson gracias a los veinte millones de consultas realizadas a la fecha.

En una entrevista realizada por Mundo Contact (2016), Javier Cardona, CEO y cofundador de 1DOC3, explicó que:

La plataforma de nube Bluemix y la tecnología cognitiva Watson permiten avanzar con el proyecto y tener una app que hace eficiente la captura cognitiva, el análisis, el entendimiento y el aprendizaje de los millones de datos de consultas —por síntomas, sexo, edad, especialidad médica, por partes del cuerpo, etcétera— lo que ahorra mucho dinero en recursos médicos especializados y proporciona una mejor experiencia para nuestros usuarios.

Cabe resaltar que el uso de esta aplicación no tiene costo y puede ser consultado vía web, *smartphones* y a través de *Free Basics*, de Facebook.

A la fecha, la plataforma ha proporcionado más de veinte millones de orientaciones de salud en más de 122 países. En el último mes cerca de un millón de personas usaron el aplicativo y 65% de las personas vuelve a usarlo después de dos meses.

Olli, el coche autónomo con tecnología cognitiva IBM Watson: Olli (2016) es un coche autónomo que utiliza tecnología cognitiva de IBM Watson para interactuar con los pasajeros durante el viaje. Es un vehículo eléctrico, con capacidad para 12 personas, está equipado con la tecnología IBM Watson *internet of things* (IoT) para la industria automotriz.

El sistema puede analizar y aprender de grandes volúmenes de datos de transporte generados por el auto gracias a los más de 30 sensores integrados en todo el vehículo. Además, utiliza cuatro APIs: voz a texto, clasificador de lenguaje natural, entidad de extracción y de texto a voz, para permitir interacciones fluidas entre el vehículo y los pasajeros.

Los pasajeros pueden interactuar con Olli durante su viaje acerca de temas sobre el funcionamiento del vehículo, de los destinos a donde se dirigen y los motivos de tomar determinadas decisiones de conducción.

Watson habilita a Olli para entender y responder a las preguntas de los pasajeros tan pronto entran al vehículo. Adicionalmente, los pasajeros pueden pedir recomendaciones acerca de destinos locales, como restaurantes de moda o sitios históricos basados en el análisis de las preferencias personales. Estas interacciones con Olli están diseñadas para crear experiencias más agradables, confortables, intuitivas e interactivas para los pasajeros mientras viajan en vehículos autónomos.

General Motors e IBM integran movilidad cognitiva en autos conectados:

General Motors (GM) e IBM hicieron alianza en 2016, para integrar las tecnologías de OnStar y Watson para crear OnStar Go, la primera plataforma de movilidad cognitiva de la industria automovilística y se espera que OnStar (2017) permita a millones de conductores de GM conectarse e interactuar con sus marcas favoritas.

Dicha plataforma entregará contenido personalizado por medio del tablero del auto y otros canales digitales soportados por el entorno OnStar Go para sacarle el mejor provecho al tiempo al conducir, así como obtener mayores niveles de eficiencia y seguridad.

Entre las experiencias prometidas se incluyen el poder evitar el tráfico cuando se tengan bajos niveles de gasolina, realizar pagos de servicios y productos desde el tablero, recibir las noticias y entretenimiento dentro del vehículo, sugerencias de restaurantes y hoteles, etcétera. Todo esto según los gustos del usuario y de su localización en tiempo real.

Existe la promesa de que estas capacidades estarán disponibles en más de dos millones de vehículos conectados con 4G LTE y millones de dispositivos móviles con la app *GM vehicle brand* en Estados Unidos a finales de 2017.

Conclusiones

La evolución de la inteligencia artificial en la actualidad es enorme, mucho más que en cualquier periodo anterior. La diferencia es que ahora contamos con miles de millones de datos, diferentes tipos de arquitecturas de cómputo, así como nuevas y más sostenibles técnicas en diversas industrias.

Mientras la analítica tradicional puede proporcionar información basada en datos, el cómputo cognitivo convierte estas ideas en recomendaciones, es decir permite comprender información no estructurada, como imágenes, lenguaje natural y sonidos encontrados en libros, correos electrónicos, *tweets*, *blogs*, imágenes y archivos de audio y video. Los sistemas cognitivos también pueden razonar a través de datos para desbloquear su significado, aprender iterativamente para proporcionar acciones más informadas e interactuar en formas que hacen más pequeñas las barreras entre los seres humanos y las máquinas.

En la actualidad, empresas de todo el mundo han estado adoptando los conceptos de inteligencia artificial y cómputo cognitivo. Muchas de ellas incluso ya están aplicando estas y otras tecnologías inteligentes para mejorar sus operaciones, mientras redefinen las formas en que se relacionan con sus clientes y socios.

Se ha demostrado que cómputo cognitivo les ayuda a redefinir las ofertas, productos, servicios y procesos tradicionales, ya sea en sistemas de *back-office*, capacidades de *middle-office* o funciones de *front-office*.

El futuro del cómputo cognitivo aún es muy amplio, pero como se ha mencionado, diferentes compañías están trabajando en conjunto para maximizar su uso en beneficio del ser humano.

Referencias

- 1DOC3 (2017). Haz preguntas médicas anónimas. Respuestas confiables. Consultado el 13/10/2017 en: <https://www.1doc3.com/>.
- Densen, P. (2011). Challenges and Opportunities Facing Medical Education. *Transactions in the American Clinical and Climatological Association*. Consultado el 13/10/2017 en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3116346/>.
- Gartner (2017). <http://www.gartner.com/technology/home.jsp> 10/10/2017.
- IDC (2018). <https://idconline.mx>.
- Klaus Schwab. (2016). *La cuarta revolución industrial*. Penguin Random House Grupo Editorial España. ISBN: 8499926991, 9788499926995.
- Mundo Contact (2016). Consultado el 13/10/2017 en <http://mundocontact.com/>.
- Olli (2016). Local Motors Debuts "Olli", the First Self-driving Vehicle to Tap the Power of IBM Watson. Consultado el 13/10/2017 en <http://www-03.ibm.com/press/us/en/pressrelease/49957.wss>.
- OnStar (2017). Hola, OnStar — Te presento a Watson. Consultado el 13/10/2017 en: <https://www-03.ibm.com/press/mx/es/pressrelease/50926.wss>
- Padbury, P., Christensen, S., Wilburn, G., Kunz, J. & Cass-Beggs, D. (2014). MetaScan 3: Emerging technologies. MetaScan 3: Emerging technologies (p. 45). Cambridge, MA: Policy Horizons Canada. <http://www.horizons.gc.ca/eng/content/metascan-3-emerging-technologies-0>.
- PubMed (2017). Consultado el 13/10/2017 en: <http://pubmed.com>.
- Secretaría de Salud (2016). 160 mil nuevos casos de cáncer al año en México. Consultado el 13/10/2017 en: <http://www.gob.mx/salud/prensa/160-mil-nuevos-casos-de-cancer-al-ano-en-mexico>.
- Ugalde, S. (2016). La era de los sistemas cognitivos. Consultado el 13/10/2017 en: <http://mundocontact.com/la-era-de-los-sistemas-cognitivos/>.
- Watson (2017). Consultado el 13/10/2017 en: <https://www.ibm.com/watson/>.

La voz como interfaz natural de usuario ideal para el mundo digital

Pedro Damián Reyes
María Andrade Aréchiga
Jorge Rafael Gutiérrez Pulido

Interfaces naturales de usuario

Las interfaces naturales de usuario (en inglés Natural User Interface, NUI) son aquellas que permiten la interacción humano computadora sin utilizar dispositivos de entrada que el usuario deba tocar físicamente, en lugar de ello el usuario hace uso de movimientos gestuales con su cuerpo para realizar la interacción, por ejemplo, movimiento de las manos, del cuerpo o el sonido de la voz. Las NUI proporcionan la capacidad de interactuar con una máquina usando únicamente el cuerpo humano (Wigdor y Wixon, 2011).

En la actualidad existen varios dispositivos que son utilizados para implementar las NUI, por ejemplo:

- *Leap Motion Controller* (<https://www.leapmotion.com>), es una pequeña barra que se conecta a la computadora y detecta el movimiento de las manos para interactuar con la máquina.
- *Myo Gesture Control Armband* (<https://www.thalmic.com/myo>), es una banda que se coloca en el antebrazo y por medio de los movimientos en el brazo realiza la interacción con la computadora.

- *Google Glass* (<https://developers.google.com/glass>), son unos lentes creados por Google por medio de los cuales los usuarios solicitan y reciben información o servicios utilizando su voz, localización, video, entre otras variables que los lentes perciben.
- *Microsoft Kinect Sensor* (<https://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows>), es un dispositivo que integra una gran cantidad de sensores que detectan el movimiento corporal del usuario que se coloca enfrente de él, al mismo tiempo captura el sonido permitiendo la interacción utilizando instrucciones de voz.

Una de las tecnologías ampliamente utilizadas en los sistemas NUI es el reconocimiento de voz, como consecuencia de que un alto porcentaje de los usuarios de tecnología pueden comunicarse por medio del habla, ahora bien, considerando la inclusión tecnológica los sistemas de reconocimiento de voz han enfocado sus esfuerzos en lograr que las computadoras generen una respuesta por medio de ella, ayudando así a personas con discapacidad visual, en ese mismo objetivo, los sistemas de reconocimiento de voz también han desarrollado algoritmos poderosos para interpretar el texto escrito e incluso las interfaces de usuario con el objetivo de decirle al usuario lo que se encuentra en ese momento en la pantalla o la lectura del texto existente.

Por lo tanto, la tecnología de reconocimiento de voz es un referente obligado cuando se habla de inclusión tecnológica, por ello, en las siguientes secciones se presenta un recorrido general sobre esta tecnología, describiendo su fortaleza histórica que le ha permitido llegar a ser una de las tecnologías disruptivas más significativas de nuestros tiempos, hasta la presentación de modernos sistemas de inteligencia artificial que utilizan el reconocimiento y generación de voz para interactuar con el usuario.

Historia del reconocimiento de voz

El reconocimiento automático de voz es una disciplina de la inteligencia artificial que tiene como objetivo principal lograr la comunicación entre los seres humanos y la computadora por medio del uso del idioma hablado. Es un área que tiene muchos años de desa-

rollo, inició en la década de 1870 cuando Alexander Graham Bell quiso desarrollar un dispositivo capaz de visualizar la palabra hablada para gente que no podía escuchar. Bell no tuvo éxito, más tarde en 1880 Tihamir Nemes, científico húngaro solicitó patentar un sistema de transcripción automática para la identificación de sonido y generar texto impreso, la petición fue negada por considerar el proyecto poco realista. Fue hasta 1950 cuando investigadores de los laboratorios Bell de AT&T construyeron la que ha sido considerada como la primera máquina de reconocimiento de voz que reconocía los diez dígitos del inglés hablado con una certeza máxima del 99%. Las bases para la implementación de un sistema de reconocimiento de voz fueron establecidas durante los sesenta, los investigadores que trabajaban en el área de reconocimiento de voz empezaron a comprender la complejidad del desarrollo de una verdadera aplicación dentro del reconocimiento de voz y se comenzaron a realizar aplicaciones con vocabularios pequeños, dependientes del locutor y con palabras de flujo discreto. El flujo discreto es la forma en que hablan los locutores, es decir, con pequeñas pausas entre palabras y frases. También, durante 1960, la Universidad de Carnegie Mellon e IBM empezaron una investigación en reconocimiento de voz continuo. El impacto de esta investigación se reflejó hasta después de los años setenta (Ahuactzin Larios, 1999; Hernández Briones, 2017).

A principios de los setenta, *Threshold Technology Inc* desarrolló el VIP100 de manera comercial, que es considerado el primer sistema de reconocimiento de voz. Éste dispositivo era completamente dependiente del locutor, reconocía un pequeño vocabulario de palabras discretas; el producto ganó el *U.S. National Award* en 1972. Durante esa misma década, la *Advanced Research Projects Agency* (ARPA) del Departamento de Defensa de USA se mostró interesada en la investigación de reconocimiento de voz. ARPA comenzó investigaciones enfocándose al habla continua y usando vocabularios más extensos. También se mejoró la tecnología de reconocimiento para palabras aisladas y continuas. En esta misma época se desarrollaron técnicas para el reconocimiento de voz como *tiem warping*, modelado probabilístico y el algoritmo de retropropagación. Algunos de los principales factores que favorecieron a la

tecnología de reconocimiento de voz ocurrieron durante la década de 1980, por un lado, se masificó el uso de computadoras personales, al mismo tiempo que el costo de las aplicaciones comerciales se redujo considerablemente y se amplió el apoyo de ARPA para los proyectos de investigación. El mayor interés durante este periodo de tiempo era el desarrollo de vocabularios grandes. En 1985 un vocabulario de 100 palabras era considerado grande, sin embargo, en 1986 hubo uno de 20,000 palabras. El desarrollo de modelos probabilísticos alcanzado durante esa época permitió cambiar el enfoque tradicional del reconocimiento basado en patrones por nuevas técnicas mucho más poderosas y flexibles, como los modelos ocultos de Markov. Conforme avanzaron los años, los costos de la tecnología utilizada para este fin fueron disminuyendo, fueron creciendo los bancos de vocabulario, además se logró que el reconocimiento de voz no fuera dependiente del individuo locutor, lo cual permitió masificar su utilización en el mundo real (Rabiner, 1993; Ahuactzin, 1999; Hernández, 2017; Oropeza y Suárez, 2006).

En la actualidad en muchas aplicaciones de cómputo la tecnología de reconocimiento de voz se ha convertido en la interfaz ideal, incluso algunos investigadores afirman que hablando es como deberíamos interactuar con la computadora, sin necesidad de ningún dispositivo adicional. Grandes compañías han incluido en sus sistemas operativos esta tecnología, como lo veremos más adelante, por ejemplo, Microsoft cuenta con “Cortana” y Macintosh tiene a “Siri” dos de las inteligencias artificiales más reconocidas en la actualidad cuyo medio principal de comunicación es la voz. También el mundo de los dispositivos móviles se ha visto favorecido con esta tecnología, por ejemplo, la mayoría de los teléfonos celulares cuentan con la funcionalidad de reconocimiento de voz para el marcado en manos libres, los automóviles también han aprovechado el potencial de esta tecnología. Son muchos los ejemplos que existen en la actualidad, algunos de ellos los abordaremos a mayor detalle más adelante.

Elementos de un sistema de reconocimiento de voz (SRV)

De manera general un SRV se integra por los módulos presentados en la figura 1.

Figura 1
Esquema general de un sistema de reconocimiento de voz



Fuente: Elaboración propia.

La entrada de voz: en este módulo se recibe la voz generada por el usuario y la convierte en una señal digital. Es importante señalar que el término "usuario" no se limita a una persona, debido a que la voz entrante puede ser generada por un dispositivo o algún otro medio diferente a un ser humano, esta característica permite identificar algunos elementos importantes en la señal de entrada, por ejemplo, la calidad de la voz que se recibe, el grado de distorsión, entre otros. Una de las características esenciales en el proceso de captura de la voz es la frecuencia de muestreo, por lo regular, la señal de voz se muestrea en un rango de 8 a 16 KHz. De acuerdo al teorema de Nyquist una frecuencia de muestreo de 16,000 muestras/segundo provee una mayor exactitud en la extracción de información de la señal muestreada (Shannon, 1998). De manera particular, la voz de un ser humano puede ser capturada utilizando un micrófono, que es un traductor electro acústico, cuyo objetivo es transformar la presión acústica ejercida sobre su cápsula por

las ondas sonoras en energía eléctrica. La señal analógica del micrófono es convertida en una señal digital por medio del convertidor A/D de la tarjeta de sonido.

El pre-procesamiento: es el módulo responsable de analizar la señal digital obtenida como entrada de voz y convertirla en una serie de vectores de características que definan de forma eficiente la información presente en la señal de voz. Para ellos se utilizan una variedad de técnicas de procesamiento de señales tales como: análisis de Fourier, codificación predictiva lineal, análisis de los coeficientes cepstrales, predicción lineal perceptiva, entre otros (Kirschning, 1998; Jackson, 1986; Kosko, 1992; Sydral, Ben-net y Greenspan, 1995). La salida de este módulo es un vector de datos que serán la entrada al módulo de reconocimiento.

Reconocimiento: en este módulo se realiza el reconocimiento de las palabras pronunciadas por el usuario. Aquí se identifica lo que se dijo. En este módulo se incorporan algoritmos de búsqueda y clasificación de los elementos contenidos en los vectores de entrada. Los algoritmos de clasificación más utilizados se basan en métodos probabilísticos, tales como, las redes neuronales y las cadenas ocultas de Markov, en donde se incluyen bases de conocimiento con patrones y referencias que son utilizadas para la clasificación.

En este módulo se incorporan modelos lingüísticos, sintácticos y lexicográficos que se relacionan con el idioma. También se incorpora un módulo semántico, cuyo objetivo es entender la forma de hablar de las personas, identifica cómo se construyen las frases y cómo puede variar esta construcción, dependiendo de la región, de la cultura y de todas las influencias personales de cada cual. La precisión del reconocimiento se basa en las bases de conocimiento y efectividad de los modelos semánticos utilizados. La salida de este módulo son las palabras, sentencias o frases reconocidas.

Aplicación: Recibe las palabras, sentencias o frases reconocidas para utilizarlas en cumplimiento del objetivo de la aplicación. Por ejemplo, puede ser una aplicación de validación de usuarios, reconocimiento de instrucciones, traducción de palabras entre diferentes idiomas, escritura de texto, entre muchas otras apli-

caciones que pueden ser implementadas y que utilicen un sistema de reconocimiento de voz.

La meta principal en el desarrollo de sistemas de reconocimiento automático de voz es la creación de sistemas capaces de reconocer voz de manera continua, espontánea y sin restricciones. El objetivo anterior se lee de manera muy sencilla y se aprecia fácil de realizar, sin embargo, la correcta implementación y buen funcionamiento de un SRV es un proceso complicado y difícil de realizar. Por ejemplo, en la etapa de pre-procesamiento se deben considerar una gran cantidad de variables como son la calidad de la señal de voz, que puede ser influenciada por el dispositivo de entrada, el locutor, el ruido del medio, voz leída o espontánea, frecuencia, continuidad, entre otras; en la etapa de reconocimiento, la tarea se complica debido a los procesos de entrenamiento que algunos algoritmos deben tener, se deben considerar diferentes acentos, idiomas, estilos particulares de los locutores, entre otros. En realidad, son procesos que implican grandes retos computacionales, afortunadamente se ha trabajado mucho al respecto y actualmente existen una gran cantidad de *softwares* que ayudan a realizar cada uno de los procesos requeridos en un buen SRV. Algunos ejemplos se describen en la siguiente sección.

Software para el reconocimiento de voz

El software de reconocimiento de voz constituye una de las grandes apuestas tecnológicas de los últimos tiempos que se plasma en herramientas y asistentes de gran relevancia para distintos tipos de usuarios, cuyos beneficios son evidentes para personas con discapacidades motoras o visuales o alguna necesidad específica. Los más representativos se mencionan brevemente enseguida.



Talkingpoint (<http://www.talkingpoint.uk.com/>).

El software está enfocado a los profesionales médicos. El objetivo es ahorrar tiempo en la presentación de informes para mejorar los tiempos de respuesta y la productividad. Además del *software*, la

compañía incorpora una serie de *hardwares* como auriculares, pedales y micrófonos que incrementan las posibilidades de la herramienta. En la página web oficial se ofrece un paquete de formación con “entrenamientos” personales. El sistema se utiliza principalmente en el registro de pacientes y en el acceso digital a los datos.



TalkTyper (<https://talktyper.com/es/>).

Es una herramienta de software que brinda la posibilidad de prescindir del teclado, esta vez en el navegador y con una interfaz sencilla. Para empezar a utilizarla necesitarás autorizar su acceso al micrófono, que quedará activado permanentemente, momento a partir del cual también podrás escuchar lo que has grabado. Lo mejor es que no escribe directamente sobre el documento, sino que nos permite realizar una vista previa, unas palabras que aparecen en un cuadro superior en color rojo y que debemos “bajar” con un botón específico con idéntico ícono al de las descargas. El texto resultante puede compartirse en redes, traducirse de manera automática, imprimirse, copiarse y similares. Incluye un apartado de símbolos básicos y está disponible en hasta 12 idiomas distintos gratuitamente (y sin registro alguno).



Dragon (<http://www.nuance.es/dragon/index.htm>).

Es una herramienta de licencia comercial que permite utilizar por completo la computadora por medio de la voz. La configuración y puesta en marcha del software es muy intuitiva y sencilla, tiene una precisión en el reconocimiento de voz del 99%. Algunas de las características y bondades que se indican en la página oficial son:

Trabaje de forma más inteligente y productiva, tanto en la oficina como mientras se desplaza. Con un dictado y transcripción rápidos y precisos, una personalización avan-

zada, una integración perfecta entre dispositivos y una implementación fácil para grandes empresas. Utilice su herramienta más potente, la voz, y dele uso. El software de reconocimiento de voz Dragon es mejor que nunca. Hable y sus palabras aparecerán en la pantalla. Diga comandos y su equipo obedecerá. Dragon es tres veces más rápido que el teclado y tiene un 99% de precisión. Desde actualizaciones de estado y búsquedas en internet hasta la creación de informes y hojas de cálculo, el software de reconocimiento de voz, Dragon le permite hacerlo todo, de forma más rápida y eficiente, tanto si es un estudiante, un profesional como un usuario de una empresa. Los costos de las licencias inician en 99 euros y existe una amplia gama de opciones que el usuario puede seleccionar de acuerdo a sus necesidades.

tazti

Tazti (<https://www.tazti.com/index.php>).

Es un software de reconocimiento de voz de pago que ofrece comandos personalizables y características esenciales. Su tiempo de respuesta es muy rápido. Uno de sus contras es la carencia de servicios de apoyo; es decir, en caso de duda es costoso contactar con el fabricante. La exactitud de dictado es del 72% y los errores se atribuyen, básicamente, a la puntuación, pero no a la identificación de las palabras. También puede corregir el texto y no requiere, en ningún momento, de movimiento alguno del ratón, ya que integra comandos para acciones como el cierre y apertura de ventanas y similares.



Speechnotes (<https://speechnotes.co/>).

Es gratuito y comparable en su exactitud a *Dragon Naturally Speaking*. Es una alternativa a *Dragon* para propósitos de dictado solamente, no para control de voz de otro software y no para la escri-

tura de voz dentro de otro software. Permite escribir a la velocidad de la voz (discurso lento y claro). Ahorro automático que guarda el documento en tiempo real sobre cualquier cambio. Exportar a *Google Drive* (ahorro en la nube) o descargarlo como documento en la computadora. Con un clic es suficiente para enviar por correo electrónico, o imprimir su nota. Capitalización inteligente automática de las letras al principio de las oraciones.

No es necesario iniciar sesión, registrarse, instalar o descargar ya que *Speechnotes* almacena todos sus datos en su propio servidor, a través de su navegador. La ventaja es que no tiene que iniciar sesión. La desventaja es que no puede acceder a estos documentos desde otros equipos. Para ello, *Speechnotes* te permite exportar a *Google Drive*. Otra pequeña desventaja es que después de muchas notas, puede quedarse sin espacio de almacenamiento, por lo que es una buena práctica eliminar de vez en cuando las notas más antiguas e innecesarias. Se basa en los motores de reconocimiento de voz de alta gama de *Google*.



Braina (<https://www.brainasoft.com/braina/>).

Es un asistente personal inteligente, con interfaz de lenguaje humano, software de automatización y reconocimiento de voz para PC con *Windows* que permite interactuar con su computadora usando comandos de voz en inglés. Le permite controlar su computadora usando comandos de lenguaje natural, a través del dispositivo *Android*. No sólo es un *chatbot*; su prioridad es ser más funcional y ayudar en el desempeño de las tareas. Puede escribir órdenes o hablar con él y *Braina* entenderá lo que quiere hacer. Se trata de un software de inteligencia artificial multifuncional que proporciona un entorno de ventanilla única para controlar su computadora y realizar una amplia gama de tareas mediante comandos de voz. Usted puede tomar dictado (voz a texto) con más de 100 idiomas y acentos, buscar información en internet, reproducir las canciones que desea escuchar, abrir o buscar archivos en su compu-

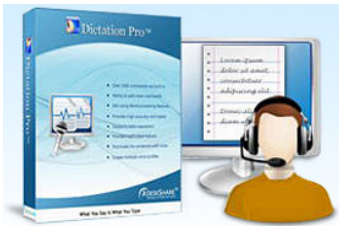
tadora, configurar alarmas y recordatorios, hacer operaciones matemáticas, recordar las notas para automatizar varias tareas de la computadora, leer los e-libros.



VoxCommando (<http://voxcommando.com/home/>).

Es una utilidad de reconocimiento y comando de voz que le permite tomar el control de su HTPC multimedia (*home theater* PC). Puede agregar control de voz a su domótica, o puede utilizarlo como una herramienta de ayuda para acelerar las tareas diarias, para reducir su dependencia en el teclado y el ratón.

Es extremadamente personalizable y está diseñado para trabajar con una amplia variedad de otros programas multimedia como *Kodi* y *MediaMonkey*. *VoxCommando* es capaz de lograr reconocimiento de voz exacto porque sabe qué medios hay en su biblioteca y qué comandos escuchar.



Dictation Pro (<http://www.deskshare.com/lang/sp/dictation.aspx>).

Convierte su voz en texto y permite manos libres, tipificación del documento. Al hablar en el micrófono, las palabras aparecerán en la pantalla 10 veces más rápido que con el teclado. Permite más precisión en el reconocimiento de voz. Utiliza los comandos de corrección para corregir palabras mal reconocidas, varios usuarios pueden trabajar mediante la creación de "individuo" con perfiles de voz, utiliza entrenamiento de la voz para adaptarse a su forma de hablar y crea comandos de voz personalizados para insertar texto de uso frecuente. Tiene un costo de 30 dólares.



E-Speaking (<http://www.e-speaking.com/>).

Cuenta con más de cien comandos incorporados, descarga gratuita del software, posibilidad de añadir más comandos, se ejecuta en XP, Vista, Win7, Win8, los tamaños de archivo son pequeños, utiliza las últimas tecnologías de *Microsoft*, tiene integración perfecta con *Office*, algunos comandos de voz son controlados por el movimiento del ratón, está basado en las tecnologías SAPI y .NET y es fácil de usar. Tiene 30 días gratuitos de prueba, el costo para más tiempo es de 14 dólares.



SpeechLogger (<https://speechlogger.appspot.com/es/>).

Es el mejor software de reconocimiento de voz y traducción instantánea de la web. Para conseguir mejores resultados, utiliza las tecnologías de voz a texto de *Google*. Es la única aplicación web con puntuación automática, guardado automático, marcas de tiempo, capacidad de edición de texto, transcripción de archivos de audio, opciones de exportación (a texto y subtítulos). No requiere registrarse y es gratuito.



SpeechExec Pro (<https://www.dictation.philips.com/uy/productos/reconocimiento-de-voz/software-de-dictado-y-reconocimiento-de-voz-speechexec-pro-pse44004500/>).

El software de dictado y reconocimiento de voz *SpeechExec Pro* vincula a los autores y a los transcriptores, facilitando la comunicación, la configuración de los ajustes del flujo de trabajo individual y la flexibilidad en la organización. Ambos pueden trabajar de manera más eficaz y obtener más trabajo realizado en menos tiempo. La solución incluye una versión integrada del software de reconocimiento de voz *Nuance Professional* para obtener una gran precisión en los resultados.

TITAN NOTE

TitanNote (<https://titannote.net/>).

Es una herramienta que le permite tomar notas, distinguir quién está hablando, resumir, compartir y editar todas las notas. Utiliza tecnología de reconocimiento de voz y biometría de voz para la precisión de los escritos. La tasa de error del lenguaje es aproximadamente la misma que la transcripción humana. Es software de paga.



Happy Scribe (<https://www.happyscribe.co/>).

Se utiliza para hacer transcripciones de alta calidad, la cual es esencial para que ésta sea más precisa. Ha sido probada por más de cuatro mil periodistas e investigadores. Disponible en más de ochenta

ta idiomas y acentos. Sus datos se transfieren de forma segura, garantizando que la información está segura ya que el usuario puede eliminar los datos cuando quiera. Es de paga.



VoxForge (<http://www.voxforge.org/es/about>).

Es un proyecto que tiene como objetivo recoger transcripciones de textos mediante voz, para ser usados en software de reconocimiento de voz como pueden ser ISIP, HTK, Julius o Sphinx. El proyecto se encargará de categorizar y poner disponibles todos los ficheros de voz que se envíen (también llamados *Speech Corpus*) y los modelos acústicos bajo licencia GPL.

Reconocimiento de voz e inteligencia artificial

La inteligencia artificial (IA) es un área de las ciencias computacionales con fuertes raíces en la lógica y las ciencias cognitivas cuyo objetivo principal es lograr que las computadoras actúen y razonen como las personas (Torra, 2011). Es un área que lleva muchos años en desarrollo, sus orígenes se remontan a una reunión realizada en el verano de 1956 en Dartmouth, Estados Unidos de Norte América, en donde el informático estadounidense John McCarthy acuñó por primera vez el término “inteligencia artificial”. Al inicio, el objetivo de la IA era lograr que la inteligencia humana pudiera ser descrita de forma tan precisa que una máquina fuera capaz de simularla (SalesForce, 2017). Este concepto se define como IA genérica o IA fuerte en donde se pretende lograr que las computadoras tengan habilidades cognitivas humanas, de manera tal que cuando se le presente una tarea desconocida, tenga suficiente inteligencia para encontrar una solución. También se ha definido la IA débil que se refiere a una inteligencia que ha sido diseñada y entrenada para realizar una tarea específica, en un área o campo específico; las computadoras simulan el razonamiento y actúan de forma inteligente; este tipo de inteligencia no considera la posibilidad de construir computadoras conscientes, y establece que una apli-

cación es una simulación de un proceso cognitivo pero no un proceso cognitivo en sí mismo (Torra, 2011).

Principales técnicas y áreas de la IA

Aprendizaje automático: Es la ciencia que se encarga de hacer que las computadoras realicen acciones sin necesidad de programación explícita. Se han desarrollado algoritmos en donde se proporcionan datos que permiten el aprendizaje y posteriormente utilizarlo para hacer predicciones o guiar decisiones. Existen tres tipos de algoritmos de aprendizaje automático: el aprendizaje supervisado, en el que los conjuntos de datos están etiquetados para que los patrones puedan ser detectados y utilizados para etiquetar nuevos conjuntos de datos; el aprendizaje no supervisado, en el que los conjuntos de datos no están etiquetados y se clasifican de acuerdo a similitudes o diferencias; y el aprendizaje de refuerzo, en el que los conjuntos de datos no están etiquetados, pero después de realizar una acción o varias acciones, el sistema de IA recibe retroalimentación. Algunos ejemplos de algoritmos de aprendizaje automático incluyen los siguientes: diagramas de decisiones, algoritmos de agrupamiento, algoritmos genéticos y redes bayesianas.

Aprendizaje profundo: Es una técnica de aprendizaje automático que utiliza redes neuronales para realizar tareas de clasificación. Por ejemplo, identificación de vehículos, peatones y placas de matrícula de vehículos autónomos, reconocimiento de imagen, traducción y procesamiento de lenguaje natural. En algunas aplicaciones de aprendizaje profundo se requiere la utilización de la visión computacional, cuyo objetivo es hacer que la computadora vea.

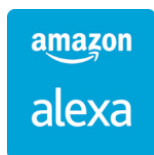
Descubrimiento de datos inteligentes: Es una rama del aprendizaje automático que se centra en identificar patrones en grandes cantidades de datos con la finalidad de generar hipótesis.

Análisis predictivo: Es una técnica de la IA que se basa en la utilización de un determinado número de variables de entrada que se combinan con resultados o conocimiento previo para generar la probabilidad de la ocurrencia de un evento determinado. Se aplica en una gran variedad de áreas como son, la medicina, la inteligencia de negocios, etcétera.

Procesamiento de lenguaje natural: Es un área de la IA que se centra en el reconocimiento y procesamiento del lenguaje humano por una computadora. En esta área es donde los sistemas de reconocimiento de voz han sido ampliamente utilizados y se ha fortalecido su utilización en diferentes herramientas de IA.

La especialización de la IA le ha permitido llegar a una gran variedad de áreas que benefician al ser humano con resultados altamente significativos. Particularmente la combinación de los SRV y la IA han logrado la creación de productos y herramientas que facilitan y hacen más eficiente la realización de muchas actividades del ser humano.

Un ejemplo claro y palpable de lo anterior son los asistentes personales, entre los que podemos destacar a los siguientes:



Amazon Alexa (<https://developer.amazon.com/alexa>).

Es el asistente personal inteligente desarrollado por Amazon que basa su funcionamiento en un poderoso servicio de reconocimiento de voz en la nube con el cual se pueden manipular una gran cantidad de dispositivos de Amazon y de otras marcas comerciales. Con Alexa, se puede implementar una manera intuitiva, sencilla y natural de interactuar con los dispositivos y tecnologías que los usuarios utilizan en su vida cotidiana usando la voz. La integración natural de los dispositivos en el medio ambiente y la manipulación por voz genera un entorno agradable, útil e inteligente para el usuario, permitiendo así una aceptación tecnológica completa y satisfactoria. De acuerdo con información de la marca, Alexa se integra con decenas de millones de dispositivos ofrecidos por la marca y otros fabricantes de dispositivos inteligentes que se instalan en el hogar, la oficina, el auto y todos los sitios en donde el usuario realiza sus actividades cotidianas, facilitando así su manipulación por medio de la voz. Es posible añadir capacidades o habilidades a Alexa utilizando el kit de habilidades de Alexa (ASK por las siglas de *Alexa skills kit*, <https://developer.amazon.com/alexa-skills-kit/>),

que es una colección de APIs de autoservicio, herramientas, documentación y muestras de código. Las habilidades hacen a Alexa más inteligente y permiten a los usuarios hacer más con la voz.

Una de las fortalezas de este servicio de reconocimiento automático de voz y comprensión de lenguaje natural, es que fácilmente puede ser integrado en cualquier aplicación, proyecto o idea propia, ya que cuenta con una colección de herramientas, API's, soluciones de referencia y documentación que son accesibles para todos.



Siri de Apple (<https://www.apple.com/mx/ios/siri/>).

Es el asistente personal inteligente de Apple controlado por voz. Probablemente sea uno de los más famosos asistentes personales que existen en la actualidad, debido principalmente por el renombre de la marca Apple y el teléfono iPhone. Su introducción en el dispositivo móvil generó una revolución en el mundo de los asistentes personales, es sencillo, fácil, e intuitivo gracias a su manipulación por medio de la voz del usuario.

El motor de reconocimiento de voz y procesamiento de lenguaje natural que incorpora Siri permite al usuario hacer lo que sea con el dispositivo Mac que esté utilizando, puede ser un iPhone, iPad, Mac, Apple TV o Apple Watch. En la actualidad Siri es muy eficiente en reconocer las instrucciones del usuario, la voz que tiene es muy estilizada y expresiva, lo que hace muy agradable escucharla. Tiene un motor de aprendizaje automático muy poderoso que le permite ir modificando y actualizando su base de conocimiento conforme el usuario la utiliza, mientras más utilices a Siri, más conoce de ti y puede ofrecerte un mejor servicio.

La utilización es muy simple, solo dices "Oye Siri" antes de la instrucción y Siri ejecutará las tareas necesarias que involucren la realización de esa instrucción. Por ejemplo, se puede decir "Oye Siri, envíale un mensaje a Juan 'nos vemos pronto'", Siri entonces abre la aplicación de mensajes, localiza el contacto Juan y man-

da el mensaje que se le solicitó, así de simple es interactuar con el dispositivo, el usuario habla y Siri ejecuta las acciones. Siri es capaz de adaptarse con el paso del tiempo a las preferencias individuales de cada usuario, personalizando las búsquedas web y la realización de algunas tareas tales como reservar mesa en un restaurante o pedir un taxi.



Cortana de Microsoft (<https://www.microsoft.com/es-mx/windows/cortana>).

Es el asistente personal inteligente controlado por voz de Microsoft. Cortana fue diseñada para ayudarte a hacer las cosas. Lista desde el primer día para entregar respuestas y realizar tareas básicas, Cortana aprende con el paso del tiempo para volverse cada día más útil. Cortana siempre estará al tanto de todos los recordatorios y funciona con todos tus dispositivos. Cortana es excelente con los recordatorios y para ayudarte a cumplir con tus compromisos. Puede recordarte de hacer las cosas en función del tiempo, de lugares o incluso de personas. También puedes agregar una foto al recordatorio para que funcione como señal visual.

El asistente puede ser utilizado en cualquier equipo con el sistema operativo de Microsoft, iOS y Android, que convierte a Cortana en una herramienta para manipular casi cualquier dispositivo disponible en el mercado. Incluye una “libreta”, donde Cortana guarda toda la información que tiene sobre el usuario, sus intereses, rutinas, etcétera. De esa manera la información que el sistema tiene del usuario es fácilmente controlable, pudiendo borrar todo rastro o introducir a propósito sus gustos y demás para mejorar el servicio. También es el primer asistente que permite a los desarrolladores integrarse con él, permitiendo utilizar sus aplicaciones mediante la voz. Utilizar Bing, Yelp y Foursquare como base de datos.



Google Assistant (<https://assistant.google.com/>).

Es un asistente personal de Google que ayuda al usuario a realizar una enorme variedad de actividades utilizando su voz como interfaz de comunicación. Se integra perfectamente con todas las aplicaciones de Google, lo que le da un enorme potencial, por ejemplo, se puede hacer una pregunta y el asistente utilizará el buscador de Google para obtener la mejor respuesta, al mismo tiempo que ofrece traducción a todos los idiomas soportados por el traductor de Google, también es posible solicitar la agenda del día de hoy y de manera automática utilizar el calendario de Google asociado a nuestra cuenta, del mismo modo es posible definir una cita y que sea grabada de manera automática en nuestro calendario, los correos es otra herramienta perfectamente integrada con el asistente, podemos pedirle que lea un correo o que mande un correo utilizando nuestra cuenta de Gmail o cualquiera asociada en nuestro cliente de correo utilizado. También se integra con casi todos los dispositivos que podemos utilizar, de manera personal o en la oficina y el hogar, por ejemplo, podemos utilizar el asistente en el teléfono o el reloj para controlar todas las acciones que podemos realizar con el dispositivo, podemos controlar los diferentes dispositivos del hogar como son TV, bocinas, o cualquier aparato inteligente. El sistema de geolocalización de Google también es utilizado por el asistente, ya sea para localizar un lugar o para sugerirte lugares de tu interés. La traducción automática es una de las grandes fortalezas de este asistente, ya que se combina con el traductor de Google y es posible traducir un video o bien una comunicación persona a persona.

Una de las principales novedades de este asistente es su utilización en los auriculares Google Pixel Buds (https://store.google.com/us/product/google_pixel_buds?hl=en-US) que permiten la traducción instantánea de lo que escuchamos, podemos estar hablando con otra persona en idiomas distintos y los auriculares es-

cucharán lo que dice el otro usuario para traducirnos al momento cada frase. Si los dos usuarios cuentan con unos *Pixel Buds*, los dos podrán hablar en su idioma. Los auriculares también pueden activarse para que lo que tú hablas sea traducido a otro idioma y ser transmitido a tu interlocutor en su idioma, de esta manera tu interlocutor no necesita tener unos *Pixel Buds*. Con este dispositivo Google ha logrado entregar un instrumento que sirva para todos y que es lo suficientemente fácil de utilizar como para que cualquiera pueda usarlo. Esta funcionalidad de traducción en tiempo real por voz es una de las funcionalidades que muchas personas estaban esperando, entre otras cosas, porque facilita la comunicación entre individuos de diferentes lenguas sin necesidad de un aprendizaje adicional.

Google Assistant es una de las tecnologías más poderosas en el mundo de la computación, gracias a los trabajos de investigación y desarrollo de las divisiones de inteligencia artificial y aprendizaje máquina de Google. Particularmente, estas dos áreas son los sectores a los que Google les está dando enorme importancia y apoyo, por sus impactos positivos que tienen en la sociedad y el beneficio en la vida cotidiana del usuario.

Aún no existen muchas investigaciones para determinar cuál de los asistentes personales es el más inteligente. Pero es posible identificar algunos trabajos como el presentado por Liu *et al.* en donde comparan los asistentes personales más populares hasta el momento para determinar cuál es el más inteligente basándose en distintos parámetros y algoritmos (Liu, Shi y Liu, 2017). Los resultados de este estudio son interesantes, ya que el asistente más inteligente según estos expertos es *Google Assistant*, que ha cosechado 47 puntos, equivaliendo a una inteligencia equivalente a los seis años de edad. Le sigue Cortana con 32 puntos, mientras que el último de los tres es Siri, con 24 puntos. Sin duda se trata de un resultado bastante curioso, cuando es Siri el asistente que normalmente se identifica primero con la inteligencia artificial entre muchos usuarios. Para los responsables del estudio hay un gran margen de mejora, aunque los resultados han mejorado mucho en los últimos dos años.

Conclusiones

Los asistentes personales inteligentes son la combinación perfecta entre la inteligencia artificial y los sistemas de reconocimiento de voz, haciendo a nuestros dispositivos altamente inteligentes, y vemos cómo cada día eso mejora nuestro estilo de vida.

Gran parte del éxito de los asistentes personales inteligentes se debe a la utilización de la voz como la interfaz de comunicación. El uso de la voz hace que la manipulación e interacción con los dispositivos sean sencilla, flexible y completamente natural. Por eso la voz es considerada la interfaz natural de usuario por excelencia que permitirá la integración total y transparente de la tecnología con el usuario, logrando así que todos los espacios de la vida cotidiana de las personas cuenten con el poder de la computadora y puedan proporcionar un servicio o apoyo en todo momento y lugar.

Referencias

- Ahuactzin, A. (1999). *Diccionario español/inglés para el aprendizaje de vocabulario utilizando una interfaz de voz*. Puebla, México: Universidad de las Américas.
- Hernández, A. (2017). Laboratorio de redes y seguridad - Biometría informática. (UNAM) Recuperado el 2 de Octubre de 2017, de <http://redyseguridad.fi-p.unam.mx/proyectos/biometria/index.html>.
- Jackson, L. (1986). *Digital Filters and Signal Processing*. University of Louisville, Department of Electrical and Computer Engineering, U.S.A.: Kluwer Academic Publishers.
- Kirschning, A. I. (1998). *Automatic Speech Recognition with the Parallel Cascade Neural Network*. Tokyo Japan: PhD Thesis.
- Kosko, B. (1992). *Neural Networks for Signal Processing*. U.S.A.: Prentice Hall.
- Liu, F., Shi, Y., & Liu, Y. (2017). Intelligence Quotient and Intelligence Grade of Artificial Intelligence. En: *Annals of Data Science*, pp. 179-191.
- Oropeza Rodríguez, J. L., & Suárez Guerra, S. (2006). Algoritmos y Métodos para el Reconocimiento de Voz en Español Mediante Sílabas. *Computación y Sistemas*, 270-286.
- Rabiner, L. (1993). *Fundamentals of speech recognition*. New Jersey, USA: Prentice Hall.

- SalesForce (2017). *Inteligencia Artificial para CRM: Una guía práctica sobre todo lo que necesita saber*. San Francisco, CA, USA: Salesforce.com.
- Shannon, C. (1998). Communication in the Presence of Noise. En: *Proceedings of the IEEE*, pp. 447-457.
- Sydral, A., Bennet, R., & Greenspan, S. (1995). *Applied Speech Technology*. U.S.A.: CRC Press, ISBN 0-8493-9456-2.
- Torra, V. (2011). *La inteligencia artificial*. Lychnos - Fundación General CSIC, Núm. 7.
- Wigdor, D., & Wixon, D. (2011). *Brave NUI World: Designing Natural User Interfaces for Touch and Gesture*. Morgan Kaufmann.

Los *chatbots*: robots inteligentes conversacionales

María Eugenia Cabello Espinosa

Armando Román Gallardo

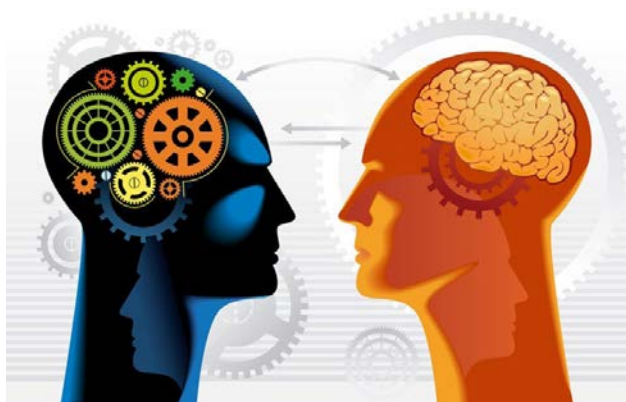
José Román Herrera Morales

Introducción

Si te sientes atraído con la ciencia ficción y la inteligencia artificial, es probable que estés interesado en probar una tecnología que permite interactuar con las personas de forma automatizada, estableciendo una conversación solamente entre la máquina y su interlocutor. Así es, ahora contamos con un software capaz de simular una conversación con una persona, el cual es llamado *chatbot*, aunque también es conocido como bot de chat, bot de charla o bot conversacional. Una metáfora de ello es mostrada a través de la figura 1.

Figura 1

Metáfora visual de la comunicación entre humanos y *chatbots*



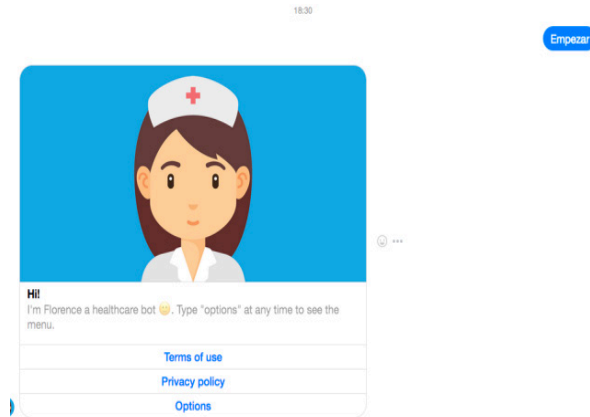
Fuente: Recuperado de https://3.bp.blogspot.com/-2SoGAUpvCHg/WQDUY_hcP0I/AAAAACMY/pLPzlDTHxmsSjXnMpWBHQZYWoZAgi0XHwCLcB/s640/chatbot-artificial-intelligence-1200x0.jpg.

Pero ¿qué es un bot? Un bot es la forma corta de la palabra robot o robot de conocimiento, el cual es un agente de software que realiza tareas sin la intervención de un usuario humano, a través de la comunicación con humanos o con otras computadoras.

Por lo que un *chatbot* es una herramienta software con el que puedes comunicarte y establecer una conversación, o bien, obtener información o un servicio, como lo plasma la figura 2.

Figura 2
Diversos usos de los *chatbots*

Figura 3
Florence: un *chatbot* para asesorar en el cuidado de la salud



Fuente: Recupera de <https://nuevastecsomamfyc.files.wordpress.com/2017/05/florence-chat-1.png?w=660>.

Figura 4
El *chatbot* para comprar artículos de la empresa IKEA



Fuente: Recupera de <http://fotos.sapo.pt/GPgNFT9z1T4rZB0zVtn0/>.

Figura 5
El *chatbot* de la compañía aérea Aeroméxico



Fuente: Recuperada de https://i.blogs.es/1134c4/aerobot-2/1366_2000.jpg.

Figura 6
El *chatbot* de la compañía española Mapfre



Fuente: Recuperado de <https://noticias.mapfre.com/wp-content/uploads/2017/05/pacobot1-169x300.jpg>.

Los *chatbots* proporcionan automáticamente salidas coherentes a las entradas hechas por un usuario. Aunque este hecho regularmente se realiza mediante texto, ya existen *chatbots* que ofrecen mayor realismo a la interacción con el usuario al disponer de una interfaz multimedia e incluso al utilizar programas conversores de texto a sonido. Los más avanzados son capaces de mantener una conversación lógica e inteligente.

El *chatbot* entiende lo que estás intentando decir y responde con un mensaje coherente, relevante y directo relacionado con la tarea o petición que le estás solicitando. Sin embargo, para establecer una conversación con él se deben utilizar frases coherentes y fácilmente comprensibles, ya que estos sistemas son capaces de seguir una conversación con cierta lógica, pero no saben realmente de qué se está hablando, es decir, el tener en cuenta las palabras y frases del usuario interlocutor les permite usar una serie de respuestas preparadas de antemano, pero no consiguen comprender del todo la conversación llevada a cabo. Por ello, ahora el reto es mejorar su precisión y evitar las falsas respuestas.

Sin embargo, aunque muchos sólo interpretan ciertas palabras clave, otros son capaces de entender un chiste y hasta un sarcasmo, o bien, pueden responder al usuario y asistirlo en búsquedas de información o en actividades como recordar, conectar con otros sistemas e integrar servicios.

Por ello, estos programas inteligentes están siendo utilizados en el mundo del mercadeo y del comercio a través de internet como una tecnología que permite interactuar con los clientes de forma automatizada, resolviendo sus necesidades. Así se evita la fastidiosa actividad del personal que se dedica a contestar repetidamente las mismas preguntas; incluso, en algunas empresas están ya usándolos en lugar de los *call centers*. También se ocupan como sistemas de comunicación en redes sociales, y como ayuda en servicios de administración y gestión, mientras que otros son integrados en sistemas de diálogo como asistentes virtuales automatizados. Al día de hoy, no se ha conseguido crear un *chatbot* que sea capaz de mantener una conversación lógicamente humana, debido a que carece de auténtica conciencia de sí mismo. Una metáfora visual de ello se presenta a través de la figura 7.

Figura 7
Metáfora visual de un bot chateando



Fuente: Recuperada de <https://www.zonamovilidad.es/fotos/editor/15537/Chatbot.jpg>.

Un vistazo a la parte técnica de los *chatbots*

Algunos de los chatbots más sencillos están programados en *ActionScript*, PHP o *VBScript*; y otros más complejos están programados en C++ o Delphi. Pueden ser consultados mediante software instalado en una computadora personal (de escritorio o portátil), vía aplicaciones instaladas en teléfonos inteligentes y vía web.

Pero el conseguir un resultado aceptable implica una gran inversión de recursos. Sin embargo, el desarrollo de los *chatbots* se está simplificando debido a la mejora que están teniendo las librerías de vocabulario y los algoritmos de inteligencia artificial. Incluso, ya se empieza a diferenciar entre aquellos *chatbots* no inteligentes (o tontos) y los inteligentes.

Los *chatbots* tontos tienen capacidades limitadas, basadas en comandos, y siguen unas reglas básicas, por lo que el desarrollador define el diálogo, así como las posibles respuestas, estructurando con palabras clave específicas que el sistema reconoce. Cada comando debe ser programado manualmente utilizando expresiones regulares u otras formas de analizar cadenas, de modo que si

el usuario ingresa al bot algo más allá de los escenarios programados, éste no responderá correctamente.

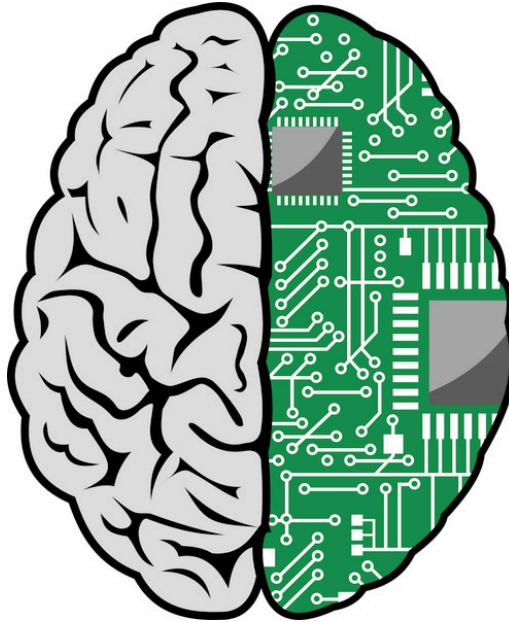
En lugar de buscar una respuesta predefinida, los chatbots inteligentes cuentan con respuestas adecuadas para cada caso; incluso realizan un seguimiento del contexto de la conversación y recuerdan lo que se le ha dicho en anteriores conversaciones. Ello se debe a que están basados en el aprendizaje, permitiendo que el usuario interactúe libremente con el *chatbot*, utilizando motores de programación neurolingüística, con los que se procesa la información que el usuario escribe al *chatbot*, para proponerle una respuesta. La inteligencia artificial permite todas estas maravillas, la cual podría imaginarse como la figura 8 al compararse con la inteligencia humana.

La clave de la inteligencia de estos sistemas reside en el entrenamiento que se haga del mismo. Actualmente, los *chatbots* pueden operar aplicando completamente técnicas de inteligencia artificial; pero hay un creciente interés en utilizar la técnica de la “computación con humanos en el bucle” combinada con la de inteligencia artificial, para proveer un servicio más eficiente, siendo más relevante su capacidad para beneficiarse de un continuo bucle de retroalimentación. De esta manera se tiene la capacidad de proveer una experiencia más productiva para el usuario.

Esta técnica es por ahora la forma más efectiva para entrenar los *chatbots* y lograr que se comuniquen de forma independiente con el usuario. Al tener una mayor cantidad de personas interactuando con ellos y enseñándoles cómo resolver problemas, su algoritmo de aprendizaje automático mejora.

Algunos de los *chatbots* más recientes combinan aprendizaje en tiempo real con algoritmos evolutivos, optimizando su habilidad de comunicarse con el usuario en cada conversación. Aun así, actualmente no existen aplicaciones de la inteligencia artificial que soporten completamente la interacción con un *chatbot*, por lo que la mayoría de los desarrolladores de estos maravillosos sistemas inteligentes sólo se centran en la búsqueda y recuperación de la información.

Figura 8
Metáfora de la inteligencia humana y la inteligencia artificial



Fuente: Recuperada de <https://webmarketingtips.mx/wp-content/uploads/2017/07/243-b.jpg>.

¿Quieres crear tu propio *chatbot*?

Trabajar con procesamientos del lenguaje natural y con aprendizaje automático no es fácil, por ello, si quieres desarrollar tu primer *chatbot*, échale un vistazo a estos consejos que te ayudarán a lograrlo:

- La mayoría de las personas no desarrolla sus *chatbots* desde cero, debido a que existen muchos *frameworks* (Microsoft bot framework, Aspect CXP-NLU, BotStack, Bottr), librerías (ConvNetJS, nlp_compromise, TextBlob) y servicios de construcción (Wit.ai, Api.ai) disponibles y que son muy recomendables, ahorrando tiempo y trabajo.
- Casi todos estos *frameworks* te permiten conectarte fácilmente a las principales plataformas de mensajería, las cuales cuentan con diferentes procesos de configuración.

- Las librerías pueden ayudarte a enseñar a tu *chatbot* ciertas habilidades conversacionales.
- Puedes confiar en uno de los muchos servicios disponibles.
- Microsoft ofrece cursos para conocer los conceptos más importantes sobre los bots en www.aka.ms/cursobots.
- TICbeat LAB te enseña cómo crear un bot para *Facebook Messenger* en www.ticbeat.com/lab/como-crear-un-bot-para-facebook-messenger/.
- Microsoft ha puesto a disposición herramientas para crear *chatbots* en la página del *Microsoft Bot Framework* (<https://dev.botframework.com/>), así como algunos ejemplos creados con esta tecnología.
- Han surgido webs como *StoreBot*, una tienda de bots de *Telegram*.

Conoce algunos de los chatbots

He aquí algunos ejemplos de *chatbots*:

- *Eliza*, con fines de entretenimiento, sirve para demostrar ciertas técnicas básicas de procesamiento de lenguaje en español.
- *Alizia* es como *Eliza*, pero un poco más sofisticada. Aunque no es psicóloga y realmente no puede aconsejar, permite realizar una conversación con ella como si alguien estuviera escuchando.
- *SmarterChild* (disponible en *MSN Messenger*, *AOL Instant Messenger* e *ICQ*) intenta aprender acerca de sus contactos y es capaz de utilizar indistintamente palabras en argot o en inglés académico. Generalmente responde a las preguntas con otras más.
- *Siri* y *SimSimi* son chatbots vía aplicaciones instaladas en teléfonos inteligentes.
 - *Siri* es un asistente personal virtual diseñado para tener una interacción de conversación *back-and-forth* con el usuario, ayudándolo a realizar tareas.
 - *SimSimi* es muy gracioso, con él se puede además chatear en línea en una computadora personal.

- *Tay*, de Microsoft, llevado a Twitter, fue aprendiendo de los comentarios negativos de los *twitteros*, dejando atrás al agradable compañero de charla.
- *Taco Bell*, esta empresa ha incorporado un *chatbot* por el que se pueden gestionar los pedidos de comida a través de una conversación.
- *Semantycs* puede interactuar con diversos canales vía voz con teléfono o chat.
- *roBOT* para Encarta es capaz de aprender (a un nivel básico) con la posibilidad de interactuar en diferentes idiomas, incluido el español.
- *Jabberwacky* aprende nuevas respuestas y el contexto de ellas basado en interacciones hechas por el usuario en tiempo real, en vez de estar cimentadas en bases de datos estáticas.
- Facebook, a través de Messenger, pretende que los chatbots sean un medio de comunicación adicional entre el cliente y la marca. Por ejemplo Aeroméxico vende boletos y responde a preguntas, KLM provee el estatus de vuelos y envía los pases de abordar móviles.
- *ALICE* (siglas del *Artificial Linguistic Internet Computer Entity*) permite entablar una conversación, simulando una charla real con un usuario, quien puede difícilmente percatarse de que está hablando con un robot.
- *Asistentes virtuales por voz*, por ejemplo, pueden pedir un Uber desde el dispositivo *Google Home*, que utiliza el asistente virtual *Google Assistant*, por medio de una conversación por voz.

El mercado ya ha lanzado algunos chatbots en lengua española para uso comercial. No te puedes quedar sin echar un vistazo a la página web de *helloleia*,¹ donde presentan a “los cinco mejores chatbots en español”. Todos entienden saludo y despedida; inclusive algunos pueden entender piropos, insultos, e íconos de caritas. Estos graciosos chatbots son:

¹ Los 5 mejores chatbots en español: <https://medium.com/helloleia/los-5-mejores-chatbots-en-espa%C3%B1ol-ea177dfca5e5>.

- *KittyBus* es un gato *chatbot* que, si estás en una parada de autobús en Madrid-España, puedes preguntarle en cuánto tiempo llegará el autobús, también puede decirte las paradas que tienes cercanas o guardar tus paradas en tus favoritos. Al estar conectado con la API de la línea española de autobuses EMT, este bot cuenta con todos los datos precisos y en tiempo real.
- *Esoterea* es un *chatbot* astrólogo al que le puedes preguntar tu signo del zodiaco y todas tus características que de ahí se derivan. Además, al guardar tu signo zodiacal, puedes preguntarle las veces que desees sobre tu horóscopo sin tener que repetírselo.
- *TiDi* es un *chatbot* asistente del *e-commerce* tudespena.com, con el que puedes buscar y pedir productos de la tienda. Pero si consideras que *TiDi* no te atiende bien o no encuentras lo que buscas, puedes pedirle que te comunique con alguna persona.
- *BO.T* (o Bo-Bot) es un *chatbot* experto en Bolivia, te da información concisa y resumida para que puedas adentrarte en la cultura general de Bolivia (su historia, costumbres, gastronomía, geografía, arte, economía, etcétera). Puedes hacerle preguntas directamente o ir guiándote por las opciones que tiene.
- *El País Bot* es el *chatbot* del famoso periódico español El País, el cual puede enviarte tanto noticias como artículos de opinión o reportajes a los que te hayas suscrito. Contiene gran diversidad de temas que propone, van de los más extensos a los más específicos. Además, puedes buscar noticias relacionadas con palabras.
- *Bob y Alice* son dos bots desarrollados por FAIR (*Facebook Artificial Intelligent Research Lab*) con el fin de negociar y hablar con los humanos, En este caso, los *chatbots* no son máquinas físicas, sino algoritmos de aprendizaje profundo, los cuales no solamente interactúan con los humanos, sino que también lo hacen entre ellos. Pero estos bots fueron creados para que además de hablar (en inglés), pensaran de manera inteligente qué es lo que van a decir. En su in-

tento por aprender el uno del otro, estos seres inteligentes conversaron entre ellos con abreviaturas que crearon (como suelen hacerlo los niños), por lo que generaron un lenguaje propio; ello por un error de los programadores: no haber implementado que se comuniquen según las reglas del inglés. Facebook los desconectó porque ese no era el objetivo inicial del estudio, lo cual provocó un gran escándalo al realizarse declaraciones acerca de “el temible futuro dominado por la inteligencia artificial”, por decirlo de alguna forma.

Conclusiones

Los *chatbots* son una tendencia desde hace tiempo y cuentan con varios simpatizantes que creen que son lo más importante y que pronto reemplazarán a las aplicaciones, o bien, que son las nuevas aplicaciones; también afirman que son los nuevos protagonistas del mundo de la tecnología, y que estos “seres inteligentes” marcarán el periodo tecnológico de los próximos años; incluso, hay quien pronostica que, para dentro de un par de años, el uso de los *chatbots* llegará a ser tan común que cada persona podría contar con uno personalizado. Cabe mencionar la cita que se está haciendo famosa, realizada por Satya Nadella, actual CEO de Microsoft, que textualmente dice: “El lenguaje humano es la nueva interfaz de usuario, los bots son las nuevas aplicaciones”.

Pero del otro lado de la moneda se encuentran los escépticos, quienes opinan que son sólo una moda que pronto pasará. Eso, el futuro lo dirá.

Mas sin importar de qué lado estás, por ahora los *chatbots* ofrecen mucha utilidad, como lo plasma la figura 9, ya sea para obtener servicios, o bien, como asistentes inteligentes al dar información rápida y certera acerca de un tema específico, de una consulta, de una solicitud de servicio en particular; también para obtener noticias, descargar música y otros contenidos, para aprender más sobre tu tema preferido, para encontrar ofertas y hasta para tener una conversación, siendo algunos más útiles y otros más curiosos, fungiendo como auténticos especialistas en temáticas con-

cretas, debido a la capacidad de aprendizaje que incorporan algunos de ellos.

Figura 9
Usos y aplicaciones de los *chatbots*



Fuente: Recuperada de http://www.miprofit.com/wp-content/uploads/2017/08/Sitio-Web_Chatbots1.jpg.

Y es muy probable que todos imaginemos a un robot detrás de una computadora, estableciendo comunicación con nosotros, tal vez como la figura 10.

Figura 10
Lo que imaginamos cuando usamos un *chatbot*.



Fuente: Recuperada de <http://www.itespresso.es/wp-content/uploads/2016/09/chatbot-2.jpg>.

Referencias

- Andrés, Rubén (2017) Building a chat bot using the best Bot Frameworks – Bot Tutorials. Recuperado en octubre 09, 2017, de <http://www.ticbeat.com/lab/>.
- Barnés, Myriam (2017) Los 5 mejores chatbots en español – helloleia. Recuperada en octubre 09, 2017, de <https://medium.com/helloleia/los-5-mejores-chatbots-en-español-ea177dfca5e5>.
- Doerrfeld, Bill (2017) 12+ Frameworks to Build ChatOps Bots | Nordic APIs. Recuperado en octubre 09, 2017, de <https://nordicapis.com/12-frameworks-to-build-chatops-bots/>.
- Microsoft Developer (2017) Microsoft Developer - Publicaciones. Recuperada en octubre 09, 2017, de <https://www.facebook.com/MicrosoftDevelopersMX/posts/849431341881411>.
- Microsoft (2017) Bot Framework. Recuperado en octubre 09, 2017, de <https://dev.botframework.com/>.
- Moya, Pedro (2017) Los mejores bots para Telegram. Recuperado en octubre 09, 2017, de <http://omicronno.lespanol.com/2016/03/mejores-bots-para-telegram/>.

- Muñoz, Ana (2017) Cómo crear un bot para Facebook Messenger. Recuperada en octubre 09, 2017, de <http://www.ticbeat.com/lab/como-crear-un-bot-para-facebook-messenger/>.
- Nikita (2017) Building a chat bot using the best Bot Frameworks – Bot Tutorials. Recuperado en octubre 09, 2017, de <https://tutorials.botsfloor.com/building-a-chabot-using-the-best-bot-frameworks-85eee502a231>.

Realidad virtual y aumentada

Armando Román Gallardo
María Eugenia Cabello Espinosa
Sara Sandoval Carrillo

Introducción

Actualmente existe una gran expectativa en que el mundo que conocemos como digital se parezca y se integre cada vez más al mundo físico en que vivimos, por lo que el mundo digital será cada día en mayor medida un reflejo de este último, logrando que la brecha entre el mundo digital y el mundo físico se reduzca, haciendo que estos converjan y, por consiguiente, se creen nuevas oportunidades de desarrollo tecnológico en la era de los negocios digitales.

La realidad virtual

Es un entorno de escenas creadas por dispositivos informáticos, donde los usuarios se sumergen mediante visores, lentes o cascos de realidad virtual (RV), los cuales crean a través de visores la sensación de que están dentro de una escena, incrementando la sensación de que nos encontramos en el mundo real o físico al presentarse imágenes representadas en formato tridimensional, llamadas en 3D. También se acompaña de otros dispositivos como guantes con sensores, mandos con control de movimiento o cámaras de posicionamiento, que permiten adentrarnos en los escenarios y hasta sentir que tocamos los objetos virtuales.

No es simplemente colocarse una pantalla ante los ojos, sino que tiene que ver con cómo la tecnología hace creer al cerebro que se está dentro del entorno virtual, sintiéndose en la realidad, aunque no sea así.

La realidad aumentada

Conocida como la combinación entre el mundo real y el digital; al introducir en el primero elementos creados de forma virtual, la realidad aumentada (RA) abarca más que la realidad virtual ya que brinda la posibilidad de estar presentes y comunicarse, además de disfrutar otros elementos a nivel visual, donde la realidad virtual crea mundos virtuales mediante el diseño de gráficos en 3D, mundos donde no existen límites, donde podemos ver, crear y hacer lo que queramos, cada vez más realistas, convirtiéndose este en un mundo de fantasía, que es lo que realmente crea la diferencia entre ambas realidades. Es ahí donde la realidad aumentada sobrepone elementos virtuales en una realidad existente, en lugar de crear la realidad desde cero.

La realidad aumentada tiene aplicaciones en diversos sectores como en el turismo, mediante guías virtuales; en la industria creando procesos de producción de manera inteligente, de marketing en la presentación de productos, y finalmente en la educación, por ejemplo, para mostrar en un parque a campo abierto que contenga grandes pantallas cómo se verían los dinosaurios si existieran actualmente, o en un cuerpo humano vivo poder ver el funcionamiento de sus órganos. Como tales ejemplos, surge una infinidad de aplicaciones donde los gráficos superpuestos enriquecen la experiencia de los estudiantes, motivando el interés por el aprendizaje y el conocimiento; por ello, se cree que aunque la realidad virtual encierra y sumerge a la persona en una experiencia que puede ser muy interesante y que actualmente hay un fuerte interés económico por las empresas, este campo probablemente será mucho menos explotado a la larga.

Existen diferencias entre la realidad virtual, donde los escenarios virtuales son generados 100% por las computadoras, teléfonos inteligentes, consolas de videojuegos, entre otros dispositivos semejantes, mientras que la realidad aumentada tiene que ver con

mezclar los escenarios reales capturados a través de una cámara, con la superposición de los objetos y las personas virtuales, todos integrados en el escenario real.

Dispositivos como los Oculus Rift y el PlayStation VR sólo son de realidad virtual, mientras que el HTC Vive acepta las dos, y otros como las Microsoft Hololens están centradas por completo en la realidad aumentada.

Realidad virtual inmersiva

La realidad virtual inmersiva posibilita la representación de un ambiente real o ficticio a través de *head mounted displays* (HMDs) en el que se simula la presencia física o real del usuario, permitiéndole su interacción dentro del entorno creado por la computadora. Los contenidos que se muestran pueden ser de diferentes tipos, como modelos digitales diseñados en programas informáticos que permiten la representación de una imagen u objeto real modelado en 3D, capturas de la realidad a través de fotos o videos 360° (esféricos) o mediante la digitalización de lugares, espacios y objetos reales.

Busca combinar el mundo real y el virtual, pero integrando al usuario en este último a través de lo que percibimos mediante los sentidos, como sucede en los escenarios de la RV, pero en esta ya no es un simple espectador, sino que ahora el usuario será el protagonista, en primera persona, decidiendo qué es lo que quiere hacer y cómo lo quiere hacer, lo que estimula de una mayor manera las neuronas permitiéndole sentir un mayor realismo, en primera instancia mediante la vista, oído, tacto, olfato y el gusto.

Las tecnologías inmersivas

En este sentido buscan el desarrollo y utilización de tecnologías que integren diferentes tipos de contenidos digitales y reales, con el objeto de proporcionar experiencias más reales y naturales que permitan mejorar los procesos y proporcionar ahorros económicos considerables.

En la actualidad los participantes en este tipo de experiencias tecnológicas quieren y exigen estar en medio de la acción, y vivir una experiencia única que puedan compartir y presumir a sus contactos, escapando de su realidad, entrando a un mundo pa-

ralelo por unos momentos donde pueden ser lo que ellos quieran. En las instituciones educativas, las nuevas generaciones de alumnos demandan entornos de aprendizaje más orientados a las tecnologías, que ya se están utilizando de manera cotidiana, como las que están proporcionando los mundos virtuales, al proveer la oportunidad de extender el espacio de aprendizaje y aprovechar las ventajas del aprendizaje social.

En el caso de empresas o instituciones estas necesitan crear experiencias inmersivas y así envolver a sus usuarios, ya sean clientes o estudiantes, de tal manera que se olviden por completo del mundo y de su cotidianidad. En este sentido una buena visualización de los datos no sólo comunica con claridad, sino que estimula la participación de los espectadores captando su atención.

En el caso de las instituciones educativas, estas tecnologías plantean crear formas alternativas de aprendizaje participativo, así como encontrar métodos de aprendizaje más allá del espacio del salón de clases, además de poder crear experiencias memorables y atractivas para grupos de cualquier edad; por ejemplo, en el caso de universidades, permite consolidar alianzas con diferentes organismos públicos para lograr implementar los programas a bajo costo. El formalizar el uso de las tecnologías inmersivas y participativas, como una opción realista en las instituciones educativas, ayudará a lograr programas autosustentables en el mediano plazo a través de una vinculación real con las industrias.

Métodos inmersivos

Se relacionan frecuentemente con ambientes tridimensionales creados por computadora, generados por simulaciones con la mayor calidad posible en el desplegado de imágenes, ya que se desea crear la sensación de encontrarse en un ambiente específico, además de las formas naturales de interacción que utilizan sistemas de despliegue de alta calidad, con efectos de profundidad uso de cascos, proyectores de alta resolución, y equipos de cómputo que son capaces de manipular estas simulaciones, así como dispositivos que obtienen la posición y movimiento de rotación de diferentes partes del cuerpo humano. El despliegue y los dispositivos tienen que ser de altas velocidades y capacidades de procesamiento

gráfico para que el usuario tenga una respuesta rápida y se sienta conectado a la experiencia visual, como si la estuviera viviendo en la realidad. Algunos de estos dispositivos son:

Samsung Gear VR

Ofrece tener experiencias totalmente inmersivas al ver tus videos en 360°. Se pueden ver avances (*trailers*) de películas y otros videos como si estuviéramos en un verdadero cine, tener una sala de cine en tu casa, pudiendo girar la cabeza para voltear hacia arriba, hacia las paredes, ver los focos y todo lo que se encuentra en el entorno visual. Hace más placentera la experiencia aunque en apariencia sea incómodo; actualmente no existen películas completas, pero con seguridad pronto habrá algún motivo para que se generen, claro que resulta levemente cansado mover el cuello en diferentes posiciones y puede causar mareo que se produce al usarlo en dosis prolongadas, para ello se recomienda que las sesiones sean de aproximadamente 30 minutos y descansar por momentos.

Figura 1
Dispositivo de inmersión Samsung Gear VR



Recuperado de <https://www.flickr.com/photos/andrikoolme/25917925721>.

Oculus Rift

En el 2012 Palmer Luckey —empresa que ha estado involucrada en el desarrollo las tecnologías de realidad virtual para su dispositivo electrónico llamado Oculus VR—, anunció su casco de realidad virtual Oculus Rift conocido en inglés como un *head mounted display* con un enfoque totalmente comercial y lúdico, que permite una experiencia totalmente inmersiva de realidad virtual. Para vivir la experiencia se coloca el visor en la cabeza y se sumerge en un mundo que parece totalmente realista, en el que puedes luchar, correr, y hasta volar, además de hacer muchas más cosas que no se habían podido hacer antes. Para que estos funcionen necesitas conectarlos a tu computadora, o dispositivo móvil, es ideal para sumergirse en mundos virtuales debido a que la sensación de inmersión en los juegos es muy alta, ya que tienen un gran ángulo de visión. Además de contar con sensores que son capaces de detectar los movimientos de la cabeza, son muy cómodas al pesar sólo 380 gramos, aspecto importante ya que los usuarios pasarán mucho tiempo con ellas puestas en la cabeza. En el año 2014 Facebook adquirió esta compañía.

Su funcionamiento está basado en un efecto 3D que es generado por una pequeña pantalla OLED de 7 pulgadas, y un sistema de lentes que nos hacen percibir una ilusión casi perfecta de la realidad, la experiencia es muy diferente a los sistemas convencionales como el cine o la encontrada en la televisión en 3D, ya que en este dispositivo estás inmerso en la escena, como si estuvieras de espectador en un lugar real, viene equipado con los siguientes componentes:

- Visor con un cable que se conecta directamente en la PC.
- Sensor y su soporte, encargados de seguir los movimientos de nuestra cabeza.
- Control remoto compacto, que permite moverse por los menús o subir y bajar el volumen de los auriculares integrados.
- Mando de Xbox One para jugar, además de un conector USB inalámbrico para usarlo con la PC.

Figura 2
Casco de realidad virtual Oculus Rift.



Fuente: Recuperado de <https://pixabay.com/es/hombre-negro-realidad-virtual-%C3%B3culo-1416141/>.

Project Morpheus o PlayStation VR

Un proyecto de la empresa Sony que ha estado trabajando en su dispositivo de realidad virtual para el consumo masivo desde 1979. Aunque es uno de los más grandes en tamaño y pareciera que va a ser muy incómodo, la realidad es que *Project Morpheus* es uno de los cascos de realidad virtual que produce una mayor satisfacción a sus compradores, debido a que su correa se ajusta muy bien a cualquier tipo de dimensiones de la cabeza, además de poderlos

utilizar incluso si llevas unos lentes puestos sin ningún problema, ya que presionando un botón se puede ajustar la distancia que hay entre ojos y pantalla.

Figura 3

Visor de realidad virtual de la empresa *Sony Project Morpheus*



©2015 Sony Computer Entertainment Inc. All rights reserved.
This is a prototype. Design and specifications are subject to change without notice.

Fuente: Recuperado de <https://www.flickr.com/photos/playstationblogeurope/16085436134>.

En la pantalla todo se ve muy nítido y no cansa la vista, esto se debe a que el campo de visión que tiene es del promedio de las demás pantallas; hay bastante espacio horizontal en la pantalla principal y a esto se agrega un panel de fácil manejo del *Morpheus*. No se notan mucho los píxeles, pero es necesario que la empresa Sony todavía haga algunos ajustes, ya que se presentan algunos parpadeos que suelen ser un poco molestos, los cuales también están presentes en otros productos como el *Oculus Rift*. Se utilizan conjuntamente con los mandos *Move* que nos permiten tener una experiencia más completa, ya que cada mando es como si fueran unas extensiones de nuestras manos.

Figura 4
Mando *Sony Move*



Fuente: Recuperado de <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:PlayStation-Move-in-Hand.jpg>.

Se puede experimentar un excelente nivel de realidad virtual con estos mandos y la combinación con casco VR (*virtual reality*, realidad virtual) con el cual es posible realizar lo siguiente: si tuviéramos a alguien delante de nosotros que nos ofreciera un teléfono y nos tendiera la mano, podríamos extender nuestro brazo, pulsando el gatillo del *Move* para recoger el teléfono, y entonces, si lo acercáramos a la oreja, escucharlo mejor.

Sony presentó este dispositivo en el *Tokio Game Show*, con un nombre más sencillo y lo llamó PlayStation VR, además de lanzarlo con 10 juegos para usarlo con su consola de videojuegos PlayStation 4.

Para utilizar el PlayStation VR sólo hay que conectar el puerto del dispositivo VR al televisor y a la consola PlayStation, además de agregarle un cable a la cámara, un USB y luego dos HDMI al casco.

Este dispositivo no es como los cascos que utilizan celulares, siendo solo lentes que aprovechan la pantalla del teléfono, sino que es un equipo con su propio hardware, el cual trabaja en conjunto con la potencia de la consola de Sony PlayStation. Al utilizar este dispositivo es conveniente tener cerca un lienzo para su limpieza, ya que es muy común que se empañen constantemente los lentes, o bien que se ensucien fácilmente luego de jugar por un buen rato, para no perderte de la mejor experiencia en el despliegue de las imágenes.

Microsoft HoloLens

Son los lentes de realidad aumentada en los que ha estado trabajando la empresa Microsoft, en la cual los usuarios podrán ver hologramas superpuestos en la realidad e interactuar con ellos. Se presentan como unos lentes elegantes parecidos a unas gafas para esquiar, estos se sostienen en tu cabeza por una gran diadema con dos aros uno dentro del otro, donde el exterior, que es el más grueso, sostiene un par de lentes, las primeros son de protección, mientras en el interior se integran unas pequeñas pantallas que son translúcidas, en las que se proyectarán las imágenes; además, podemos encontrar a los lados los controles de volumen y luminosidad, así como el botón de encendido.

Figura 5
Lentes Microsoft *HoloLens* visor de realidad aumentada.



Fuente: Recuperadas de <https://www.flickr.com/photos/traftery/29791611640> y <https://www.flickr.com/photos/135518748@N08/26738400981>.

Microsoft llama al sonido de este dispositivo “espacial”, ya que ayuda a ubicar a los objetos dentro de la habitación; por ejemplo, en un juego de disparos donde aparecen unos robots se puede saber a dónde voltear gracias a ruidos que hacen éstos, el aro de este dispositivo cuenta con una hendidura o hueco que ayuda a distribuir el calor, además de almacenar el procesamiento de cómputo, que en este caso es un chip Intel de 32 bits, y un procesador holográfico llamado HPU 1.0, también cuenta con WiFi 802.11ac, una entrada para audífonos y una entrada microUSB.

Con respecto al aro más delgado, éste se puede desplazar hacia arriba o hacia abajo, con la finalidad de colocarte el dispositivo como diadema, y que no caiga sobre tu nariz, dejando que todo el peso descansa sobre la cabeza. No es uno de los dispositivos de realidad mixta más cómodos, ya que cuesta trabajo colocarlo, aunque cuenta con una perilla en la parte de atrás para ajustarlo a la cabeza y dejarlo tan justo como se requiera, además es necesario hacer un ajuste de optometría según las medidas de distancia de la pupila. Desde luego que todos estos ajustes, sólo se realizan por única vez cuando eres el propietario del dispositivo, al inicio de la instalación para uso.

Figura 6
Componentes del paquete Microsoft *HoloLens*



Fuente: Recuperado de http://ncmedia.azureedge.net/ncmedia/2016/02/MSHoloLens_GroupShot_wAcc_WhtBG_V2_RGB.png.

Los *HoloLens* cuentan asimismo con un pequeño control que es del tamaño de una tarjeta de crédito, el cual tiene un solo botón que se utiliza cotidianamente en los juegos de batallas para realizar disparos. Las *HoloLens* reaccionan a direcciones que se señalan con la mirada o con la voz, también a gestos con la mano; logran ofrecer experiencias casi totalmente virtuales e inmersivas.

Con este tipo de dispositivo no se produce mareo como sucede en la mayoría de los cascos de realidad virtual mencionados con anterioridad. Siempre es posible ver algo del lugar donde te encuentres, por lo que no están hechas para ser totalmente inmersivas, se perciben en algunos momentos pequeñas limitaciones en el campo de visión, pero la realidad es que ha superado con creces a productos semejantes como el Google Glass.

Figura 7
Ejemplo de cómo se visualiza la realidad mixta utilizando los lentes Microsoft *HaloLens*.



Fuente: Recuperado de https://compass-ssl.surface.com/assets/e1/62/e1629c06-87d1-492c-b74b-8075b228222c.jpg?n=Hololens_homepage_1920_mixedreality13oct.jpg.

HTC Vive

Los lentes de realidad virtual HTC Vive son extremadamente cómodos de usar, son presentados en un material muy suave de espuma conocido comúnmente como *foami*, alrededor de los bordes para evitar cualquier tipo de irritación de la piel al ser utilizado. El material se puede cambiar fácilmente gracias al uso de Velcro, y la empresa ofrece a los usuarios dos tipos de ajustes —anchos y delgados— para las diferentes formas de caras.

Cuenta con 32 sensores instalados, estos lentes de VR siguen al usuario a donde vaya, sin ángulos muertos, ya que cubren con facilidad los 360° permitiendo el movimiento con total libertad, con un campo de visión periférica de 110° que posibilita una experiencia de inmersión total. De igual forma, cuenta con una gran fluidez y definición de las imágenes, gracias a su velocidad de despliegue de 90 fps y una resolución de 2160x1200 píxeles, que dejan una muy buena impresión.

Para que la integración sea total con estos lentes de realidad virtual y de gran confort, se incluyen esponjas y almohadillas intercambiables para darle un mejor soporte a la nariz, además de agregar un par de *trackpads* multifuncionales que permiten una navegación de forma natural, y sin grandes esfuerzos, que son de

mucha utilidad a la hora de estar jugando. Cada uno de estos *pads* cuenta con 24 sensores, que permiten que cada movimiento se realice y sea recreado finamente en el mundo virtual en el que los usuarios se encuentran, lo cual permite una mayor interacción y un gran nivel de detalle y precisión nunca antes vistos hasta el momento. Además, estos controladores disponen de un gatillo de dos etapas para ampliar aún más el número de acciones que se puede realizar con estos lentes de realidad virtual.

Figura 8
Visor de realidad virtual HTC Vive



Fuente: Recuperado de <https://i.ytimg.com/vi/7zqp1szDWyA/maxresdefault.jpg>.

Este paquete incluye los lentes de realidad virtual HTC Vive, dos controladores inalámbricos, dos estaciones base, un *link box*, *earbuds*, varios accesorios Vive y una guía para instalar, sólo restando configurar las estaciones, una operación que es muy sencilla, ya que se sincronizan automáticamente de forma inalámbrica, para lo cual es necesario un cable de alimentación a fin de hacer funcionar el visor de realidad virtual, que quedará listo para utilizarse.

Mientras que HTC ha dirigido por muchos años sus esfuerzos hacia el desarrollo y tecnologías de los teléfonos y dispositivos móviles, actualmente con el HTC Vive es cuando se observa en la

empresa el esfuerzo de consolidarse finalmente. Con este primer desarrollo la empresa creó un visor de realidad virtual, que combina la realidad virtual de escritorio existente con el movimiento a escala de la habitación, proporcionando a los jugadores una experiencia de cuerpo completo. A diferencia de las alternativas de realidad virtual más económicas, el HTC Vive se encuentra entre las experiencias de realidad virtual consideradas como *premium*.

Figura 9
Visor de realidad virtual HTC vive y sus accesorios



Fuente: Recuperado de <http://www.realidad-virtual.net/wp-content/uploads/2016/09/HTC-VIVE-1.jpg>.

Nintendo Virtual Boy

Lanzado en 1995 por la empresa Nintendo, que al salir al mercado la revista TIME en su momento calificó como uno de los peores inventos de la historia, ha demostrado que los grandes diseñadores de tecnologías también pueden equivocarse, ya que éste fue uno de los más grandes fracasos de una empresa japonesa. Actualmente este es un objeto de colección, utilizaba un proyector de tipo lente para mostrar los juegos en un verdadero 3D monocromático, mediante un efecto estereoscópico. La empresa trataba entonces de tomar ventaja en la carrera contra otras empresas como Sega, que empezaban a mostrar soluciones de realidad virtual de aplicación en sus consolas de videojuegos.

Figura 10
Proyección de imágenes monocromáticas
del Nintendo *Virtual Boy*



Fuente: Recuperado de <https://thetstack.com/wp-content/uploads/2016/02/nintendo-virtual-boy-832x333.jpg>.

Figura 11
Proyector de 3D monocromático *Virtual Boy*
lanzado en 1995 por Nintendo



Fuente: Recuperado de <http://socialgeek.co/wp-content/uploads/2016/02/Nintendo-Virtual-Boy.jpg>.

Esta consola costaba unos 189 dólares y contaba con un procesador de 32 bits NEC V810 a 20 MHz y 1 MB de RAM, se alimentaba con pilas AA, y su peso era de 760 gramos.

Periférico Virtuix Omni

Si se está tratando de crear una experiencia de entretenimiento comercial, en un entorno de desarrollo profesional o cualquier otra aplicación de realidad virtual, la VR se experimentará mejor si hay movimiento, es ahí donde la plataforma *Virtuix Omni* te permite el movimiento natural, donde el movimiento virtual es controlado por las acciones físicas de caminar o correr, creando una experiencia única de inmersión que no se podría experimentar estando sentado.

Se corre en la vida real por muchas razones, por entretenimiento, cuando hacemos ejercicio, y a veces porque es nuestro trabajo, la pregunta aquí es ¿por qué no podríamos hacer todas estas actividades en un entorno de realidad virtual? en este sentido la plataforma de realidad virtual de movimiento libre *Virtuix Omni* por el momento es la única manera actualmente de sumergirse en el mundo de la realidad virtual de forma cómoda, segura y sin riesgo de caerse o chocar con personas, paredes y otros objetos que resulten peligrosos para el usuario.

Figura 12
Plataforma de realidad virtual de movimiento natural
Virtuix Omni.



Fuente: Recuperado de http://media.bestofmicro.com/1/A/551458/gallery/Virtuix-Omni-VR-Treadmill_w_755.jpg.

Aplicaciones de las tecnologías inmersivas

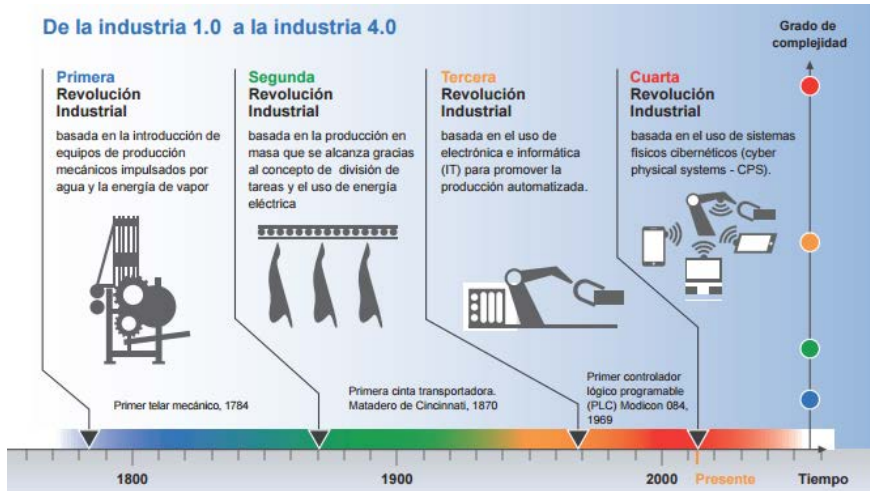
Elaboración rápida de prototipos de productos y la industria 4.0

Actualmente se está utilizando mucho el término industria 4.0 para hacer referencia a la cuarta revolución industrial, que representan las nuevas formas de organizar los sectores y medios productivos que están trabajando con las tecnologías digitales en la industria. Al presente se está en la fase de aplicación masiva de las tecnologías digitales, que no solamente están siendo usadas en los procesos industriales, sino en toda la cadena logística de valor, que impacta directamente en los tres ejes fundamentales que son el modelo de negocio, de procesos y productos.

La implementación de estas fábricas inteligentes que están hiperconectadas es un gran ejemplo de lo que está sucediendo en nuestros días con la digitalización industrial, permitiéndonos tener acceso, y poder modificar en tiempo real el comportamiento de los diferentes componentes de los sistemas. Es pues en este sentido que la industria 4.0 se pone al servicio de la industria para mejorar la eficiencia, la productividad, la calidad y seguridad de los procesos industriales, y aquí es donde la realidad virtual y la aumentada le proporciona estos nuevos elementos, que son las tecnologías base necesarias para poderse insertar en esta industria 4.0.

De tal modo, permite a las empresas comenzar el camino a su digitalización, aportando conocimientos e información que son de gran utilidad para la optimización de los procesos, con la finalidad de aplicarlos en estas industrias a las áreas de optimización de diseños, mantenimiento y control de planta, entrenamiento del personal en operaciones y formación de operarios, así como la asistencia y resolución de las incidencias.

Figura 13
Evolución de las revoluciones industriales
hasta llegar a la industria 4.0.



Fuente: Recuperado de http://www.idia.es/wp-content/uploads/2016/03/Evolucion-Industria-hasta-4_0.png.

Algunos de los beneficios que se tienen al implementar la realidad virtual y la realidad aumentada en las industrias, tienen que ver con la mejora de los procesos, en la reducción de tiempos de espera, con la mejora de la seguridad, así como el tener grandes ahorros en los costos en general.

El prototipado de productos es un área que implica altos costos de inversión, donde es necesaria la creación de los productos físicamente para poder apreciar todas sus características y analizar de manera detallada su diseño, como sucede en la industria automotriz, donde para analizar el uso real de un automóvil, es necesario construir un prototipo de automóvil de bajo costo, a fin de realizar todo tipo de pruebas, en este sentido la realidad virtual es la herramienta perfecta para reducir costos de prototipado.

Mediante técnicas de despliegue de imágenes avanzadas, como pueden ser realidad virtual y otras inmersivas, se pueden verificar los prototipos digitales en las fases de diseño de los productos, lo que permitirá probarlos de forma remota y realizar modifi-

caciones en caso de ser necesario sin tener que fabricar un prototipo real que nos puede implicar grandes costos para su elaboración. Aquí es donde estas visualizaciones, mediante la simulación, nos permitirán comprender de una manera rápida e intuitiva los cálculos complejos en vez de interpretar complicados gráficos.

Figura 14
Instalación industrial que utiliza la realidad virtual en sus procesos productivos



Fuente: Recuperado de <http://www.innoarea.com/wp-content/uploads/2017/05/BMW-PROTOTIPADO-REALIDAD-VIRTUAL-INNOAREA.jpg>.

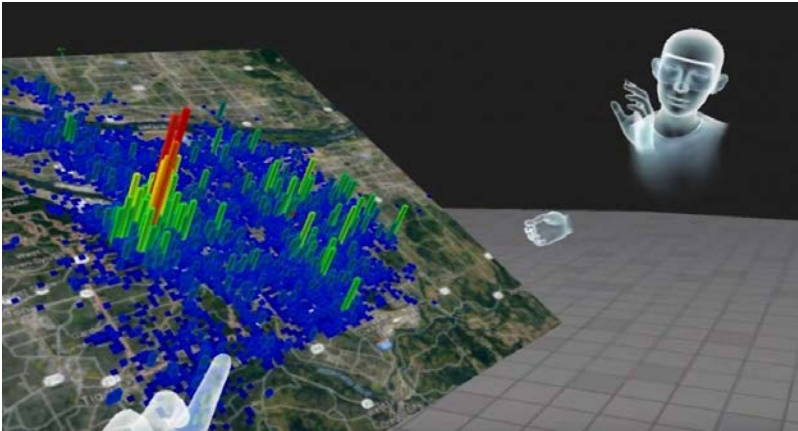
Big data y el análisis de datos en fase de operación y entornos inteligentes

Se usa actualmente el término de *big data* para describir la extracción de cualquier cantidad voluminosa de datos, ya sea que estén estructurados, semiestructurados o no estructurados para obtener información. Son de vital importancia para la mayoría de las empresas ya que éstas han comenzado a almacenar y procesar datos de todo tipo de formatos y tamaños, con la finalidad de extraer información, exigiéndole al mercado plataformas que faciliten a los responsables de los datos las tareas de administración y la seguridad de los mismos, así como la necesidad de revolucionar la visualización y comprensión de gráficos, tablas y flujos de datos en general, al renovar su enfoque de presentación.

La NASA y Caltech crearon una empresa llamada *Virtualitics* para unir el mundo de la *big data* y la realidad virtual, que pretende utilizar la realidad virtual para visualizar los datos encontrados en la web y así revelar conocimientos ocultos en ellos, ya que la visualización en dos y tres dimensiones son muy limitadas para grandes conjuntos de datos, mientras que la solución de esta empresa permite alcanzar las 10 dimensiones al utilizar la realidad virtual y aumentada para identificar patrones de datos, lo que le da a esta empresa una ventaja competitiva.

Figura 15

Análisis y visualización de *big data* utilizando realidad virtual, NASA en busca de la décima dimensión



Fuente: Recuperado de <http://www.estacionvr.com/wp-content/uploads/2017/01/virtualitics-collaborative-big-data-1132x670.jpg>.

Las restricciones que mencionamos anteriormente tienen que ver con la cantidad de datos que el cerebro de los humanos es capaz de procesar en una pantalla bidimensional, restringiendo internamente las capacidades gráficas y de animación que harán las presentaciones de datos más fácilmente absorbentes y analizables.

Otras aplicaciones tienen que ver con la integración de datos de mediciones telemétricas reales de forma remota, de magnitudes físicas en modelos sintéticos de equipamiento, de instalaciones industriales o que se encuentran en localizaciones exteriores, los cuales están permitiendo hacer comprensibles a los humanos

las grandes cantidades de información; por ejemplo, para poder visualizar los resultados de una misión militar mientras se está realizando, al analizar las trayectorias de proyectiles, imágenes y acciones que han efectuado cada uno de los soldados en la zona de acción. En este mismo sentido se pueden utilizar estas visualizaciones de grandes volúmenes de datos, por ejemplo, para visualizar gráficamente, sobre un modelo virtual de una turbina, datos reales de temperatura, presión y fuerza.

Mejora de habilidades y conocimiento del personal con el uso de simuladores y realidad virtual

Hay una gran necesidad de la utilización de herramientas que satisfaga de una forma más económica las crecientes y dinámicas exigencias que tienen las empresas de capacitación, formación y de entrenamiento del personal. De ahí la importancia del diseño de un entorno virtual que permita a los usuarios entrenarse en un entorno controlado y seguro, mejorando sus habilidades, permitiéndoles recrear escenarios y encontrarse en una abstracción de la realidad. De esta forma, cuando se encuentre en una situación real estará familiarizado con los problemas a los que se enfrente.

Figura 16

Entrenamiento quirúrgico utilizando realidad virtual



Fuente: Recuperado de <http://parentesis.com/imagesPosts/usos-realidad-virtual-4.jpg>.

La práctica sobre modelos virtuales permite a múltiples alumnos entrenar sobre un mismo equipamiento, asegurando su integridad y de las personas en general. En la medicina tradicional los cirujanos entrenan con cadáveres y apoyan a doctores más experimentados, lo que con el paso del tiempo les dará oportunidad de intervenir en métodos y procedimientos muchos más complejos que tienen que ver con las cirugías. En este caso, la realidad virtual influye como método alternativo, para que los alumnos realicen sus prácticas como si fueran ambientes reales sin poner en riesgo a los pacientes, ni tener la necesidad, como es frecuente, de contar con cierto número de cadáveres para realizar la práctica.

Un ejemplo son las salas de simulación o de realidad virtual para llevar a cabo entrenamientos para la guerra, donde los ejércitos ya no necesitan entrenar con municiones reales, estos simuladores permiten abaratar los costos y realizar prácticas en diferentes escenarios que no se pudieran replicar en el país donde se vive. En este tipo de escenarios desarrollados con realidad virtual es muy común capacitarse en el desmontaje de maquinaria para su mantenimiento, entrenamiento táctico-militar sobre múltiples escenarios de combate, realizar prácticas de una operación sobre la radiografía real 3D del paciente, planificadores logísticos, entre otras actividades.

Figura 17
Tecnologías inmersivas para capacitación en el uso maquinaria en la industria 4.0



Fuente: Recuperado de http://www.anmopyc.es/noticia/tecnologas_inmersivas_para_maquinaria.

La Asociación Española de Fabricantes de Maquinaria de Construcción, Obras Públicas y Minería (ANMOPYC) en el año 2016 desarrolló un proyecto de industria 4.0 que financió el Ministerio de Industria, sobre tecnologías inmersivas para maquinaria, que busca analizar la viabilidad de diversas tecnologías de este tipo y sus aplicaciones en la maquinaria, con el objetivo de identificar proyectos de desarrollo para que las empresas los implementen como parte de su oferta tecnológica, lo que les permitirá trabajar en entornos virtuales colaborativos con información técnica compleja, como la de los procesos industriales, como si se estuviera en un entorno real, comprobar su funcionamiento y así simplificar la comprensión de grandes cantidades de información compleja.

En concreto, la realidad mixta como combinación de contenidos sintéticos con los contenidos reales mediante técnicas de realidad virtual y aumentada, así como tecnologías de visión para el posicionamiento de los mismos, tienen como objetivo el poner a disposición de las empresas las técnicas disponibles más avanzadas e innovadoras, para mejorar la experiencia de usuario, integrando contenido real y contenido sintético.

Algunos conocimientos que debes tener para desarrollar realidad virtual

Motores gráficos en tiempo real

Los motores gráficos son la arquitectura global que usan los estudios para desarrollar y ejecutar los juegos, proporcionando un *framework* que es una serie de rutinas o librerías de software que facilita y acelera el desarrollo de aplicaciones de modelado en 3D. Éstos cuentan con un motor gráfico, incluyen simulaciones físicas sencillas, detección de colisiones, sonido, animación, el procesador para el sistema de la física, el apartado técnico, las secuencias de comandos, la inteligencia artificial de los personajes y la creación de otras características únicas, son la columna vertebral en el desarrollo de los videojuegos modernos y las aplicaciones empresariales, entre otras necesidades que permitan modelar computacionalmente la realidad.

Unos de los motores de gráficos más populares son los “motores para videojuegos”, éste es el nombre con el que se les conoce a la serie de programas gratuitos o de pago que las empresas o fábricas desarrolladoras de software utilizan para crear videojuegos. Motores que permiten crear nuevos videojuegos, sin la necesidad de tanta codificación, menos complicaciones y en mucho menor tiempo en la creación y su producción, algunos de estas librerías para videojuegos son *Unreal Engine*, *CryENGINE*, *Frostbite Engine*, *Anvil Engine*, *Unity 3D*, *Source*, *Quake Engine*, *M.U.G.E.N*, *RAGE*, *HeroEngine*.

Figura 18

Vista de aplicación de un multijuego colaborativo de realidad virtual realizada con el motor de gráficos *Unity3D* y el visor *Oculus Rift*.



Fuente: Recuperado de <https://www.immerseinteractive.com/wp-content/uploads/2015/11/Collaborative-3.jpg>.

Librerías de realidad aumentada

La realidad aumentada se aplica a los sistemas que utilizan imágenes reales sobre un entorno virtual y mezclan o comunican ambos mundos en cierta medida, permitiendo apuntar el dispositivo móvil hacia una tienda y sobre ella hacer aparecer sus últimas ofertas, las opiniones de otros compradores, e incluso mostrar qué otras compras el usuario ha realizado en los comercios cercanos a donde nos encontramos.

Actualmente se está aplicando en la industria del entretenimiento, ciencia, ejército, educación y casi cualquier cosa donde se pueda conectar el mundo físico o real al mundo digital aumentado o suplementado por la información sensorial generada por computadora de diferentes medios como son los sonidos, gráficos, video o información de posicionamiento y geolocalización a través del GPS, sobreponiendo objetos en dos y tres dimensiones en la pantalla de un dispositivo móvil, que son activados por sus sensores.

Figura 19

Aplicación móvil desarrollada con las librerías para realidad aumentada de la empresa *Vuforia* y modelos 3D hechos con Unity.



Fuente: Recuperado de <https://winblogs.azureedge.net/win/2016/10/IMAGE11.png>.

Aplicaciones de juegos como *Pokémon GO* han hecho que se ponga mucha atención en el desarrollo de aplicaciones móviles de realidad aumentada en la actualidad, y librerías para realidad aumentada como las de la empresa *Vuforia*® de Qualcomm®, nos permiten combinar contenidos reales y sintéticos en una misma imagen en tiempo real.

Integración de dispositivos interacción hombre-máquina de bajo costo

También es importante poder generar realidad virtual o aumentada de bajo costo, para lo cual es sustancial contar con un *background* amplio en la integración de todos los dispositivos de HCI (interacción hombre-máquina por sus siglas en inglés) de bajo costo que existen en el mercado para proporcionar las mejores soluciones posibles en cada momento, por lo que es necesario integrar elementos como los:

- Dispositivos de seguimiento del cuerpo humano completo, como puede ser Microsoft *Kinect* y *Kinect* llamados *full body tracking*.
- Dispositivos de seguimiento de brazos y manos, como el *Leap Motion*, *Hydra Razor* y *Stem controlers*, entre otros llamados *upper body tracking*.
- Dispositivos de seguimiento de la mirada como el *Eye Tribe* o *Tobii* conocido como *eye-tracking*.
- Y por último los multidispositivos que están basados en las distintas necesidades de los clientes, donde hay que adaptar las soluciones propias a los dispositivos de visualización más adecuados, entre los que se encuentran los *smartphones*, tabletas, *surface*, TV 3D, visores de realidad virtual, visores de realidad aumentada, o los *caves* que son entornos de realidad virtual inmersiva que forman salas en forma de cubo, donde hay proyectores orientados a las distintas paredes, incluyendo el techo y el suelo y se utilizan para investigación, exploración, crear prototipos de manera más rápida, ingeniería, diseño y *marketing*.

Figura 20

Estudiantes explorando dentro del laboratorio nacional de Idaho utilizando ambiente de realidad virtual CAVE (*computer assisted virtual environment*).



Fuente: Recuperado de https://energy.gov/sites/prod/files/styles/borealis_article_hero_respondxl/public/P-8442-07_756px.jpg?itok=YhSD8pv9.

Conclusiones

Actualmente estamos viviendo una masificación de las tecnologías de la realidad aumentada, que permiten la representación del mundo físico aumentado con información digital, así como de la simulación inmersiva de los ambientes reales, conocida como realidad virtual, que se ha presentado en juegos como el de *Pokémon Go* y los que mostró Microsoft para su consola de videojuegos Xbox en su lanzamiento a finales del año 2017, que utilizan lentes de realidad virtual como los *HoloLens* o como el dispositivo *Oculus Rift* de Facebook.

En esta fusión que logra crear espacios en los que los objetos y personas —reales o virtuales—, podrán interactuar sin ningún problema no solo es asombroso para la industria del entrete-

nimiento, sino que tiene serias implicaciones en la llamada industria 4.0 donde los sensores oculares ayudarán a que el cliente o el consumidor, pueda ver mucho más allá de la marca o el producto, lo que permitirá un grupo de clientes más preciso, mejor orientado y pertinente. Como consecuencia, permitirá cerrar la brecha entre lo digital y lo físico, o entre lo virtual y lo real, lo que impactará rotundamente en las ventas de productos, lealtad de una marca y la participación del consumidor.

Se menciona que las firmas tecnológicas tardarán entre cinco y diez años en colocar y adaptar servicios de realidad mixta al alcance de los usuarios habituales; por el momento, las gafas de realidad virtual han hecho un buen trabajo, pero en el futuro no se necesitarán 3,000 dólares en producto de ese tipo, ya que los fabricantes trabajan para poner en el mercado gafas de realidad mixta que apenas cuesten unos 300 dólares aproximadamente, éstas serán ligeras, e incluso podrán pasar como unas gafas convencionales de tamaño reducido que ofrecerán tanta potencia como las actuales y, sobre todo, estarán cargadas de aplicaciones realmente útiles que sean de provecho en el día a día de las personas.

Referencias

- BBC Mundo (2017) Qué es la realidad aumentada, cómo se diferencia de la virtual y por qué Apple apuesta fuertemente a ella - Mundo. Recuperado en agosto 31, 2017, de <http://www.bbc.com/mundo/noticias-37678017>.
- Castillo, J. D. C., Oropeza, E. O., & Rodríguez, O. I. L. (2017). *Internet de las cosas y Realidad Aumentada: Una fusión del mundo con la tecnología*. RECIBE, 6 (1): 139-150.
- Castro-González, D., Barbosa, L. H., Prada-Jiménez, V., & Conde-Méndez, G. (2017). Diseño y desarrollo de un entorno virtual inmersivo para instruir el principio de superposición de movimientos a estudiantes de ingeniería. En: *Revista Educación en Ingeniería*, 12 (23): 101-108.
- El Android Libre (2017) Así funcionan las Hololens de Microsoft y son increíbles. Recuperado en septiembre 1, 2017, de <https://elandroidlibre.elespanol.com/2016/05/asi-funcionan-las-hololens-microsoft.html>.
- El Mundo (2017) Qué es la realidad virtual inmersiva. Recuperado en septiembre 1, 2017, de <https://buhomag.elmundo.es/videojuegos/qu-es-la-realidad-virtual-inmersiva/62a10ef6-3eb9-cf40-4a72-4fdc398d4d47>.

- EstaciónVr. (2017) La NASA en Busca de la Décima Dimensión para Visualizar Big Data en VR - Estación VR. Recuperado en septiembre 1, 2017, de http://www.estacionvr.com/nasa_vr/.
- Jofré, N., Rodríguez, G., Alvarado, Y., Fernández, J. y Guerrero, R. A. (2017). El uso de la realidad virtual inmersiva en terapias motrices. En: XIX Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación (WICC 2017). ITBA: Buenos Aires.
- Lacort, J. (2017) Realidad Virtual: Noticias y novedades. Recuperado en agosto 31, 2017, de <https://www.xataka.com/tag/realidad-virtual>
- LaDarling (2017) Computer Aided Virtual Environment | CAVE | La Darling. Recuperado en septiembre 1, 2017, de <http://www.ladarling.com/cave/>
- Ledo, M. J. V., Alonso, B. L., Garrido, A. S., Hernández, A. M., Suárez, I. D. R. M. y Fernández, A. M. T. (2017). Realidad aumentada. *Educación Médica Superior*, 31(2).
- Maturana, J. (2017) HTC Vive, Análisis. Review con características, precio y especificaciones. Recuperado en septiembre 1, 2017, de <https://www.xataka.com/analisis/htc-vive-analisis-esto-si-que-es-realidad-virtual-interactiva>.
- Mijangos, D.; Herrera, M. (2017) Tecnologías Inmersivas | Sistemas Humanos. Recuperado en agosto 31, 2017, de <http://sistemashumanos.com/tecnologias-inmersivas/>.
- Monleón Electrónica (2017) La realidad virtual inmersiva, una manera distinta de ver el mundo - Monleón Electrónica. Recuperado en septiembre 1, 2017, de <http://www.monleon.com/post/la-realidad-virtual-inmersiva-una-manera-distinta-de-ver-el-mundo.html>.
- Mundo Virtual (2017). ¿Qué es la realidad virtual? - Historia, funcionamiento y gafas VR – Mundo Virtual. Recuperado en agosto 31, 2017, de <http://mundo-virtual.com/que-es-la-realidad-virtual/>.
- Pacheco, W. (2017) Cómo funciona el Oculus Rift y todo lo que debes saber sobre este genial dispositivo - Batanga. Recuperado en septiembre 1, 2017, de <http://www.vix.com/es/btg/tech/58486/como-funciona-el-oculus-rift-y-todo-lo-que-debes-saber-sobre-este-genial-dispositivo>.
- Palazuelos, F. (2017) Qué son los motores gráficos y cuáles son los más populares. Recuperado en septiembre 1, 2017, de <https://blogthinkbig.com/motores-graficos/>.
- Papeles de Inteligencia. (2017) Qué es industria 4.0 o cuarta revolución industrial. Recuperado en septiembre 1, 2017, de <http://papelesdeinteligencia.com/que-es-industria-4-0/>.
- Pastor, J. (2017) Virtual Boy, la consola maldita de Nintendo, vuelve a la vida gracias a las Google Cardboard. Recuperado en septiembre 1, 2017, de <https://www.xataka.com/videojuegos/virtual-boy-la-consola-maldita-de-nintendo-vuelve-a-la-vida-gracias-a-las-google-cardboard>.

- Pérez, Ó. A. (2017). Desarrollo de un simulador de tractocamiones utilizando un ambiente inmersivo 3D.
- Prieto, M. (2017). ¿Despegará en 2017 la realidad virtual? [Will virtual reality take off in 2017?]. Expansion.
- Rubio-Tamayo, J. L. Tecnologías de Realidad Virtual y Aumentada como Medios Emergentes para la Divulgación y Comunicación de la Ciencia: Procesamiento y Representación de la Información. *Revista Cine, Imagen, Ciencia*, p. 88.
- Sama, G. (2017) HoloLens de Microsoft: el aparato que introducirá la realidad mixta al mundo - CNET. Recuperado en septiembre 1, 2017, de <https://www.cnet.com/es/analisis/microsoft-hololens/primer-visor/>
- Samsung (2017) GALAXY Gear VR - Descripción. Recuperado septiembre 1, 2017, de <http://www.samsung.com/latin/promotions/galaxynote4/feature/gearvr/>.
- Sitio Del Instituto Politécnico Nacional. (2017) Realidad Aumentada - Instituto Politécnico Nacional. Recuperado en agosto 31, 2017, de <http://www.cedicyt.ipn.mx/RevConversus/Paginas/RealidadAumentada.aspx>.
- Sony (2017) VR | .com. Recuperado en septiembre 1, 2017, de <https://www.playstation.com/es-es/explore/playstation-vr/>.
- TwoReality (2017) La simulación virtual como método de formación de personal. Recuperado en septiembre 1, de <http://www.tworeality.com/blog/la-simulacion-virtual-como-metodo-de-formacion-de-personal/>.
- Virtuix Omni (2017) Omni first of its kind active virtual reality motion platform. Recuperado en septiembre 1, 2017, de <http://www.virtuix.com/>.

Vehículos autónomos, el futuro cercano: retos y oportunidades

Juan Antonio Guerrero Ibáñez
Juan Contreras-Castillo
Ma. Guadalupe Rivera Gutiérrez

Introducción

La sociedad moderna enfrenta una gran cantidad de problemas con el sistema de transporte. Un día típico de una persona que vive en la zona urbana está rodeado comúnmente de problemas como congestionamiento de tráfico, falta de espacios de estacionamiento, altos niveles de contaminación, un incremento en los accidentes automovilísticos, por mencionar algunos. Estos problemas seguirán empeorando debido al crecimiento de la población y la migración hacia las zonas urbanas, tal como lo mostró el Fondo de Población de las Naciones Unidas en su reporte técnico del 2011, donde mostró que, por primera vez en la historia, más de la mitad de la población mundial vive en zonas urbanas (UNFPA, 2011).

En este nuevo siglo, los avances tecnológicos están influyendo en la forma en cómo se pretenden resolver los problemas que enfrenta la sociedad moderna con respecto al sistema de transporte. La industria automotriz está apostándole al uso de la tecnología para cambiar, en forma drástica, la movilidad personal y los sistemas de transporte que conocemos hoy en día, para mejorar la calidad de vida de las personas mediante el desarrollo de la “movilidad inteligente” (NHTSA, Preliminary Statement of Policy Concerning Automated Vehicles, 2013).

El Instituto de Transporte de Texas informó que las personas en Estados Unidos pierden aproximadamente 42 horas al año en problemas de tráfico y que el consumo de combustible de los conductores es de alrededor de tres billones de galones de gasolina por año, ocasionando gastos de 160 billones de dólares, o lo que es equivalente a un gasto por conductor de alrededor de 960 dólares por año (Schrunk, Eilsele, Lomax, & Bak, 2015).

Por otro lado, de acuerdo a un reporte técnico presentado por la *National Highway Traffic Safety Administration* (NHTSA, por sus siglas en inglés) las principales causas de accidentes viales están relacionadas a errores humanos, adjudicándole un 93% del total de accidentes. La tabla 1 muestra los resultados obtenidos de la encuesta nacional de causas de accidentes de vehículos de motor (NMVCCS-*National Motor Vehicle Crash Causation Survey*) que se realizó del 2005 al 2007 (Singh, 2015).

Tabla 1
Razones críticas relacionadas a entorno, vehículo y conductores
(Singh, 2015)

Razones críticas atribuidas a	Estimado	
	Número	Porcentaje $\pm$ 95% límites confiabilidad
Conductores	2'046,000	94% $\pm$ 2.2%
Vehículos	44,000	2% $\pm$ 0.7%
Entorno	52,000	2% $\pm$ 1.3%
Razones críticas desconocidas	47,000	2% $\pm$ 1.4%
Total	2'189,000	100%

Fuente: Encuesta nacional de causas de accidentes de vehículos de motor de la NHTSA.

Estas situaciones han ocasionado que las industrias tecnológicas y automotrices apliquen sistemas computacionales a funciones de conducción, que por más de un siglo han sido desempeñadas por humanos, impulsando la creación de los vehículos automatizados. De acuerdo a Fagnant y Kockelman (2015), la implementación de esta automatización tiene el potencial de reducir los accidentes y congestionamiento de tráfico, incrementando la experiencia de viaje y mejorando las oportunidades de accesibilidad a personas con capacidades de movilidad reducida (Fagnant & Kockelman, 2015).

Algunas otras compañías como Volvo (Volvo Car, 2017), Tesla (Tesla, 2017) y Google (Waymo, 2017) impulsan su desarrollo a vehículos completamente autónomos que proporcionen control sin interacción del humano.

En este capítulo presentamos la tendencia sobre los vehículos autónomos, analizando algunas de las tecnologías usadas para el desarrollo y cuáles son los retos y oportunidades que enfrentan.

Vehículos autónomos

Si bien es cierto que, en el último siglo, el sector automotriz ha experimentado un mayor avance tecnológico enfocándose en la creación de vehículos más seguros, sustentables y eficientes, este inicio del siglo XXI parece posicionar a la industria automotriz en la cúspide de un cambio revolucionario, potenciando no únicamente el entorno de competitividad sino en la forma en cómo se interactuará con los vehículos, marcando el rumbo en el diseño de las nuevas ciudades y carreteras. Esta revolución está viendo sus primeros esfuerzos en el desarrollo de los vehículos autónomos o *self-driving* como también se les conoce (Uhlemann, 2016).

¿Por qué un vehículo autónomo?

Los vehículos autónomos revolucionarán la sociedad, impulsarán las economías globales y transformarán la forma en la que administramos nuestro tiempo, convirtiéndose en un éxito y una forma viable de movilidad personal.

En la siguiente subsección, se presentan diferentes perspectivas que justifican la viabilidad de los vehículos autónomos de acuerdo a un reporte técnico publicado por la empresa KPMG y el *Center for Automotive Research* (CAR) en el 2012 (Silberg *et al.* 2012).

Dinámicas de mercado

Según el informe técnico de KPMG y CAR, el mercado no solamente aceptará los vehículos autónomos, sino que será el motor que dará un impulso a la industria. La ideología planteada es que los consumidores se entusiasman con nuevas alternativas de movilidad que les permitan estar conectados en todo momento y aprovechar el tiempo y energía que desperdician o gastan en congestiones de tráfico. Sven Beiker (2012) de la Universidad de Stan-

ford mencionó en una entrevista para KPMG que: “El cambio de paradigma en la mente del consumidor en relación a la movilidad personal es un factor clave para los vehículos autónomos” (Beiker, 2012).

Otro punto relevante es el costo económico. Si bien es cierto que la industria automotriz ha impulsado la economía de algunos países, por ejemplo, en México, en el 2015 la industria automotriz representó el 18.5% del producto interno bruto (PIB) manufacturero, lo que se reflejó en el 3.2% de su PIB global (Industria Automotriz, 2016), existen otros gastos que se deben de considerar, tales como el gasto por el mantenimiento y la construcción de carreteras. En Estados Unidos, en el 2014 el gobierno federal gastó 43.5 billones de dólares en la construcción de nuevas carreteras (incluyendo puentes), mientras que los gobiernos locales gastaron 48.3 billones de dólares. Con respecto al mantenimiento y operación de las carreteras, la inversión fue de 72.7 billones de dólares entre los dos tipos de gobierno (ASCE, 2017).

Seguridad

De acuerdo a un reporte de la NHTSA del 2016, en Estados Unidos, los accidentes automovilísticos se han incrementado considerablemente, tan es así que 35,092 personas fallecieron en accidentes automovilísticos y 2.44 millones de personas resultaron lesionadas en el 2015 (NHTSA, 2015; Motor Vehicle Crashes: Overview, 2016). Un punto relevante es que el 93% de los accidentes son atribuidos a errores humanos (Johnson, 2013).

Espacio insuficiente

El incremento descontrolado de la población y su migración hacia zonas urbanas ha ocasionado un incremento en el número de vehículos circulando por el sistema de transporte. Sin embargo, esta tendencia también ha ocasionado que se reduzca considerablemente el espacio disponible para la creación de nuevas carreteras o rutas viales. Aunado a esto, la creación de estacionamientos públicos y cocheras forman “zonas muertas” afectando la vitalidad de las calles ya que se están cubriendo gran parte de la huella metropolitana, como lo menciona Eran Ben-Joseph (Ben-Joseph, 2012).

Soluciones de vehículos autónomos

Los esfuerzos para generar vehículos autónomos se han dirigido principalmente a dos grandes categorías: 1) vehículos autónomos basados en tecnologías de sensores, 2) vehículos conectados para enfocarse en situaciones de seguridad vial y administración de tráfico.

Soluciones basadas en sensores

La tecnología de sensores ha tomado mucho impulso en el sector automotriz y está siendo implementada en vehículos para proporcionar el soporte al diseño y desarrollo de una serie de aplicaciones para control de tráfico, seguridad y entretenimiento. Actualmente, el número promedio de sensores en un vehículo está entre 60 y 100, sin embargo, conforme el vehículo se hace “más inteligente”, la cantidad de sensores puede alcanzar hasta 200 (MEMS, 2017). La figura 1 muestra algunos de los sensores más utilizados dentro del vehículo.



Fuente: Guerrero-Ibáñez, J.; Zeadally, S.; Contreras-Castillo, J. (2018). Sensor Technologies for Intelligent Transportation Systems Sensors 18(4), 2212, <https://doi.org/10.3390/S18041212>.

Los sensores se pueden clasificar de acuerdo a la aplicación o al lugar donde son instalados. Fleming (2008) clasifica los sensores en tres categorías de acuerdo al lugar donde son implementados: motor, chasis y estructura. Por su parte, en (Abdelhamid, Hasanein y Takahara, 2014) realizan una clasificación con base en el tipo de aplicación definiendo cuatro categorías: seguridad, diagnóstico, asistencia y monitoreo del ambiente.

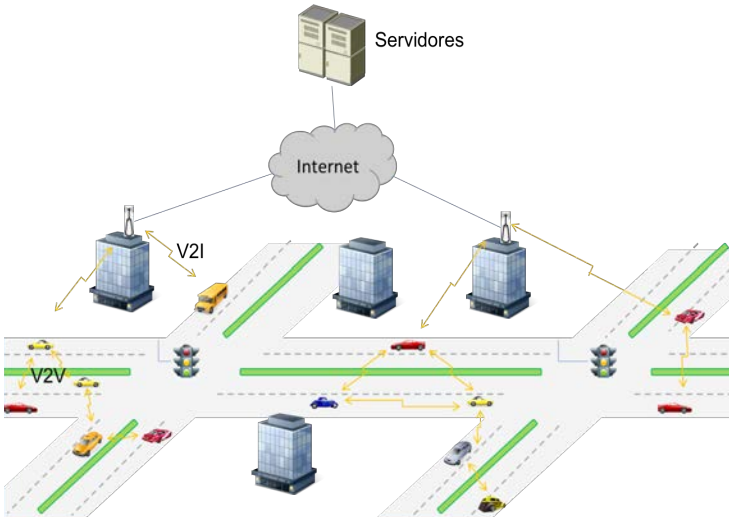
- *Seguridad*: Esta categoría tiene el objetivo de mejorar los sistemas de seguridad y se enfoca en reconocer situaciones de riesgo casi en tiempo real. Algunos ejemplos de sensores utilizados son: de velocidad, cámaras, radares y laser, ultrasónicos de proximidad, de visión nocturna, entre otros.
- *Diagnóstico*: La categoría se centra en coleccionar datos que proporcionen información en tiempo real acerca de las condiciones y desempeño del vehículo con el fin de detectar alguna anomalía. Algunos ejemplos de sensores usados en esta categoría son químicos, de temperatura, composición de gas, presión, entre otros.
- *Asistencia*: Se enfocan en recolectar información que proporcione a los conductores el soporte de confort y aplicaciones de asistencia. Algunos sensores son: de humedad, de temperatura, de posición, de imágenes, de lluvia, de neblina, de distancia, entre otros.
- *Ambiente*: Son responsables de recolectar información de las condiciones del ambiente para ofrecer al conductor y pasajeros alertas y notificaciones que son usados para mejorar sus viajes. Ejemplos: de presión, de distancia, de condiciones del clima, entre otros.

Si bien es cierto que las soluciones basadas en sensores ofrecen un cierto nivel de asistencia, por sí solos no son capaces de cubrir totalmente las necesidades de los vehículos autónomos, por lo que se ha buscado una integración con la inteligencia artificial (IA) para complementar a los sensores en la toma de decisiones. Sin embargo, esa fusión todavía es deficiente y los algoritmos desarrollado resultan demasiados complejos y muy difícilmente pueden “ver y entender” el entorno de conducción como un humano lo puede hacer. Otro problema es el costo, la mezcla de diferentes sensores para tener una visión de 360 grados del entorno hace que el costo sea muy elevado para la mayoría de los consumidores. Adicionalmente, se necesita que la información obtenida de los sensores sea útil para todo el entorno de conducción y no únicamente para el vehículo y su propia toma de decisiones.

Soluciones basadas en conectividad

Otra de las soluciones presentadas para los vehículos autónomos se centra en el concepto de interconectar los vehículos mediante tecnologías inalámbricas, creando la visión que se ha manejado en los últimos años de vehículos conectados (*connected-vehicle systems*), los cuales hacen uso de conexión vehículo a vehículos (V2V) y de vehículo a infraestructura (V2I) (Guerrero-Ibáñez, Zea-dally y Contreras-Castillo, 2015). La figura 2 muestra un escenario de ejemplo de este tipo de interconexión. Si bien es cierto que existen diferentes tecnologías inalámbricas en el mercado (WiFi, bluetooth, 802.15.4, LTE, 3G, 4G, entre otras) es DSRC (*Dedicated Short-Range Communication*) la tecnología que más impulso ha tenido para la comunicación V2V debido a que opera usando el espectro libre, tiene baja latencia, alta fiabilidad, interoperabilidad y su nivel de privacidad y seguridad lo que la hace viable para aplicaciones de seguridad activa.

Figura 2
Escenario de comunicación V2V y V2I



Fuente: Contreras-Castillo, Zeadally, & Guerrero-Ibáñez, 2017.

Los principales obstáculos a los que se enfrenta esta solución son los siguientes:

- Para que se tenga una comunicación V2V completa, todos los vehículos deberán estar equipados con dispositivos que les permitan comunicarse, de otra forma no se podrá alcanzar un máximo nivel de éxito de la solución. Una solución sería que los nuevos vehículos estén equipados con estos nuevos dispositivos, sin embargo, se deben generar mecanismos que permitan la adopción de esa tecnología para los vehículos actuales.
- Otro obstáculo está relacionado con la comunicación V2I, ya que se requerirá infraestructura adicional a la existente para el sistema de transporte, lo que podría implicar una barrera con relación a los costos de inversión. Si bien es cierto que se podría argumentar el uso de las tecnologías inalámbricas existentes (por ejemplo, WiFi o la tecnología celular), las limitantes que tienen cada una de ellas las hace poco viables para cubrir todas categorías de aplicaciones (por ejemplo, las redes celulares tienen proble-

mas de latencia, lo que las hace inviables para aplicaciones de seguridad activa).

En Silberg *et al.* (2012) se presenta una evaluación de una serie de métricas donde se analizan la viabilidad de las dos soluciones para el desarrollo de las aplicaciones de seguridad crítica. La tabla 2 muestra un resumen de los resultados obtenidos.

Tabla 2
Evaluación de las soluciones propuestas

	Elemento	Métrica			
		Costo	Fiabilidad	Madurez	Dependencia regulatoria
Basado en conectividad	GPS	Bajo	Medio	Alto	Medio
	CELULAR	Medio	Bajo	Bajo	Medio
	DSRC	Medio	Medio	Bajo	Alto
Basado en sensores	LIDAR	Alto	Medio	Bajo	Medio
	CÁMARA	Bajo	Alto	Medio	Bajo
	RADAR	Bajo	Alto	Medio	Bajo

Fuente: Silberg, y otros, 2012.

De la tabla anterior se puede observar que la convergencia entre las dos soluciones contribuiría considerablemente en el éxito de los vehículos autónomos.

Convergencia de las soluciones

La convergencia de las dos soluciones proporcionaría una complementación que solventaría las deficiencias de cada una de ellas. El principal beneficio de esta convergencia sería una reducción en el costo y la complejidad de las soluciones individuales. Integrar la comunicación inalámbrica al entorno de sensores reduciría la implementación de sensores adicionales, lo que reduciría en una disminución de los costos de producción y al mismo tiempo los de inversión en la infraestructura necesaria para los vehículos conectados mediante el uso de sensores en algunos casos. Por otro lado, la combinación de sensores y la interconexión de vehículos facilitarían la recolección de información tanto desde el punto de vista de los sensores, como desde el entorno global de comunicación, disminuyendo la complejidad de los algoritmos necesarios en las soluciones de sensores.

Sistemas actuales

En la actualidad existen algunos sistemas que ya están siendo implementados en los vehículos como parte de esa evolución hacia los vehículos autónomos. La tabla 3 muestra el resumen de algunos de estos sistemas.

Tabla 3
Sistemas integrados en los vehículos autónomos

Sistema	Descripción
Alerta de colisión con soporte de frenado	Este sistema está pensado en asistir al conductor cuando se detecta un posible evento de colisión, preparando los frenos para uso y en algunos casos, frenado automático si el vehículo transita a velocidades menores a 60km/h.
Control de cruceo adaptativo	Este sistema mantiene una distancia previamente configurada entre el vehículo que se está conduciendo y el vehículo que va adelante.
Alerta de salida de carril	Este sistema alerta al conductor cuando se aleja de las marcas de carril, o cuando hace un cambio brusco de carril.
Información de señales de tráfico	El sistema reconoce las señales de las avenidas y carreteras, desplegándolas en el tablero y alertando al conductor cuando se rebasa un límite legal de velocidad.
Piloto asistente de estacionamiento	Este sistema ayuda al conductor a estacionarse, identificando un espacio vacío adecuado para estacionarse automáticamente.
Alerta de cruce de tráfico	Este sistema detecta cuando hay vehículos cruzando o se aproximan cuando el conductor está dando reversa para salir de un espacio de estacionamiento.

Beneficios e inconvenientes de los vehículos autónomos

Existen muchos beneficios y limitaciones a las que se enfrentan los vehículos autónomos, sobre todo porque tendrán un comportamiento diferente de los vehículos controlados por una persona.

Beneficios de los vehículos autónomos.

Uno de los beneficios de los vehículos autónomos es que reducirían los accidentes ocasionados por distracciones humanas, fatiga o por falta de condiciones adecuadas por ingerir bebidas alcohólicas.

Otro beneficio de los vehículos será el control de congestiónamiento y operación del tráfico mediante la diseminación de información y ajuste automático de la velocidad y frenado de tal forma que reduzca el consumo de combustible y mejore el flujo vehicular en las ciudades. Los vehículos usarán los carriles y las intersecciones de forma más eficiente a través de la coordinación de una gran cantidad de vehículos, regulación adecuada de avances y la selección más eficiente de rutas. De esta manera, el tráfico sería regulado más fácilmente en zonas urbanas para prevenir los congestionamientos viales y reducir los tiempos de viaje considerablemente.

Los problemas ocasionados por la búsqueda de estacionamiento serían reducidos ya que el vehículo simplemente podría dejar a sus pasajeros en un sitio y posteriormente buscar un lugar para estacionarse automáticamente.

Finalmente, los vehículos autónomos incrementarán la productividad, considerando que el tiempo gastado en la conducción podría ser empleado en realizar otras actividades.

Inconvenientes

Uno de los inconvenientes principales hasta el momento de los vehículos autónomos es su alto costo en el mercado, lo que lo limita a un área de población muy reducida.

Los *hackers* podrían acceder al software del sistema del vehículo y controlarlo, afectando su operación. El mal funcionamiento de la computadora, por mínimo que sea, podría ocasionar accidentes que fueran mayores a los ocasionados por un humano conduciendo. En caso de que el vehículo sufriera o estuviera involucrado en un accidente, ¿de quién sería la culpa del vendedor, del diseñador del software o del propietario del vehículo? Los vehículos autónomos dependen de la colección de ubicación e información del usuario lo que incrementa el problema de privacidad.

Retos de los vehículos autónomos

Si bien es cierto que hay ciertas condiciones o situaciones que el vehículo autónomo puede reconocer fácilmente, el reto es la generación de mecanismos más sofisticados para reconocer diferentes objetos en diferentes situaciones, es necesario la creación de sensores más sofisticados o que tengan un mejor desempeño para las diferentes tareas asignadas.

Por otro lado, los algoritmos de inteligencia artificial deben de tener las capacidades de tomar decisiones en tiempo real con base en la evaluación de diferentes factores.

la *National Highway Traffic Safety Administration* (NHTSA, por sus siglas en inglés) propone cinco niveles que definirán el nivel de autonomía de un vehículo, tal como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4
Niveles de autonomía para los vehículos

Nivel	Descripción
Nivel 0	En este nivel, el conductor tiene el control total de todos los sistemas del vehículo.
Nivel 1	Define un nivel de autonomía limitada, pero con control de un conductor, en todo momento, para todas las situaciones de conducción.
Nivel 2	Este nivel define un grado parcial de autonomía en donde la computadora y el <i>software</i> pueden tener el control del nivel de aceleración y frenado del vehículo.
Nivel 3	Se define un nivel de autonomía parcial dentro del cual <i>software</i> y sensores pueden controlar los sistemas de aceleración y frenado, así como también monitorean el entorno de conducción, alertando al conductor de alguna situación de riesgo para que tome el control en cualquier momento.
Nivel 4	En este nivel se tiene un alto grado de autonomía donde sensores, LIDAR, cámaras y <i>software</i> pueden guiar el vehículo a una posición segura si el conductor no detecta alguna situación de peligro.
Nivel 5	Es el nivel de completa automatización donde la tecnología tiene el control total del vehículo.

Fuente: Safety, 2017.

Otro reto es definir cómo serán tratados los vehículos, por ejemplo, ¿será necesario que un conductor con licencia esté en un vehículo autónomo? En este sentido, el secretario de Transporte de Estados Unidos comentó: “Cuando el vehículo esté operado por el software, la NHTSA pensará la forma de regular la seguridad del vehículo. Cuando un ser humano opere el vehículo, las leyes de cada estado aplicarán su reglamento” (Gardner, 2016).

Otro problema legal es la tendencia que tienen algunos fabricantes de vehículos autónomos a eliminar tanto el volante como los pedales de freno y aceleración. Sin embargo, algunos estados de la Unión Americana tienen sus leyes donde especifican que un volante y pedales son indispensables.

Finalmente, otro de los retos que se plantean es la concientización de los consumidores sobre el nivel de autonomía del vehículo que adquieren. Si bien es cierto que los vehículos pueden reunir todos los requerimientos de seguridad, el usuario debe evitar que, por descuido o desconocimiento, pueda generar accidentes de consecuencias mayores.

Conclusiones

Para mucha gente los vehículos autónomos parecen una posibilidad distante, sin embargo, la tecnología autónoma está avanzando a pasos agigantados y algunas características ya están disponibles en algunos modelos actuales. Esta tecnología traerá beneficios en relación a la reducción de accidentes de tráfico, mejora en el control de congestionamiento en las ciudades y un ahorro en el consumo de combustible, entre algunos que podemos mencionar. No obstante, existen muchos retos y barreras que tienen que resolverse y que en algunos sentidos están frenando su inserción en el mercado. Por un lado, los fabricantes tienen que generar investigación que les permita reducir los altos costos que actualmente tiene la fabricación de los prototipos de vehículos autónomos. Por otro lado, los gobiernos tienen que centrarse en los impactos legales y en la sociedad que tendrán los vehículos autónomos en la movilidad tradicional, identificando las mejoras que tendrán que realizarse en el sistema de transporte para que se maximicen los beneficios a la sociedad moderna. Como se pudo observar en este capí-

tulo, los retos y beneficios son muchos y consideramos que los vehículos autónomos serán una realidad y el nuevo modo de desplazamiento en unos pocos años.

Bibliografía

- Abdelhamid, S., Hassanein, H. y Takahara, G. (2014). Vehicle as a mobile sensor. *Procedia Computer Science*, 34, pp. 286-295.
- ASCE (2017). *2017 Infrastructure report card*. ASCE.
- Beiker, S. (30 de mayo de 2012). Entrevista KPMG. KPMG.
- Ben-Joseph, E. (2012). *ReThinking a lot*. Massachuset: The MIT Press.
- Contreras-Castillo, J., Zeadally, S. y Guerrero-Ibáñez, J. (2017). A seven-layered model architecture for Internet of Vehicles. *Journal of Information and Telecommunication*, pp. 1-19.
- Fagnant, D y Kockelman, K. (2015). Preparing a Nation for Autonomous Vehicles: Opportunities, Barriers and Policy Recommendations for Capitalizing on Self-driven Vehicles. *Transportation Research*, A(77), pp. 167-181.
- Fleming, W. (2008). New Automotive sensors - a review. *IEEE Sensors Journal*, 8(11), pp. 1900-1921.
- Gardner, G. (20 de 09 de 2016). What next for self-driving vehicles? Here are some clues. Recuperado el 10 de 10 de 2017, de USA Today: <https://www.usatoday.com/story/money/cars/2016/09/20/10-observations-self-driving-regulations/90730626/>.
- Guerrero Ibañez, J., Zeadally, S. y Contreras-Castillo, J. (2015). Integration challenges of Intelligent Transportation Systems with Connected vehicle, cloud computing, and Internet of Things Technologies. *IEEE Wireless Communications*, 22(6), pp. 122-128.
- Industria Automotriz, s. m. (2016). Secretaría de Economía. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/127499/Secretor_Industria_Automotriz.pdf.
- Johnson, T. (2013). Enhancing Safety Through Automation. Obtenido de http://www.sae.org/events/gim/presentations/2013/johnson_tim.pdf.
- MEMS, J. (2017). Automotive Sensors and Electronics Expo. Recuperado el 12 de mayo de 2017, de <http://www.automotivesensors2017.com/>.
- NHTSA (2013). Preliminary Statement of Policy Concerning Automated Vehicles. National Highway Traffic Safety Administration. Washington: U.S. Department of Transportation.
- NHTSA (2016). 2015 Motor Vehicle Crashes: Overview. U.S. Department of Transportation. Washington: National Center for Statistics and Analysis.

- Safety, A. D. (2017). U.S. Department of Transportation. Obtenido de https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.dot.gov/files/documents/13069a-ads2.0_090617_v9a_tag.pdf.
- Schrank, D., Eilsele, B., Lomax, T. y Bak, J. (2015). *2015 URBAN MOBILITY SCORECARD. The Texas A&M Transportation Institute and INRIX*. The Texas A&M Transportation Institute and INRIX.
- Silberg, G., Wallace, R., Matuszak, G., Plessers, J., Brower, C. y Subramanian, D. (2012). *Self-driving cars: The next revolution*. KPMG and CAR. U.S.A.: KPMG and CAR.
- Singh, S. (2015). *Critical reasons for crashes investigated in the National Motor Vehicle Crash Causation Survey. (Traffic Safety Facts Crash-Stats, Report No. DOT HS 812 115)*. National Highway Traffic Safety Administration. Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration.
- Tesla (2017). Hardware para conducción autónoma en todos los autos. Recuperado el 3 de octubre de 2017, de https://www.tesla.com/es_MX/autopilot?redirect=no
- Uhlemann, E. (2016). Connected-vehicles applications are emerging. *IEEE Vehicular Technology Magazine*, pp. 25-28.
- UNFPA (2011). *Technical Report: State of World Population 2011: People and Possibilities in a World of 7 Billions*. United Nations Population Fund. New York: ONU.
- Volvo Car, C. (2017). Conducción autónoma. Recuperado el 3 de octubre de 2017, de Volvo cars: <https://www.volvocars.com/es/servicios-cliente/conectividad/coche-autonomo>.
- Waymo (2017). Waymo. Recuperado el 3 de octubre de 2017, de Waymo Self-Driving Car Project: <https://waymo.com/>.

Autores/as

Armando Román Gallardo

Actualmente se desempeña como profesor-investigador de tiempo completo en la Facultad de Telemática de la Universidad de Colima. Su formación académica reside en la ingeniería en sistemas computacionales y la maestría en ciencias computacionales por la Universidad de Colima; y el doctorado en educación por la Universidad de Baja California. Sus intereses de investigación se centran en los procesos de desarrollo de software.

Érika Margarita Ramos Michel

Actualmente se desempeña como profesora-investigadora de tiempo completo en la Facultad de Telemática de la Universidad de Colima. Es ingeniera en comunicaciones y electrónica y maestra en ciencias área telemática por la Universidad de Colima, con doctorado en ciencias de la computación por el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada-Baja California (CICESE). Sus intereses de investigación incluyen procesamiento de señales e imágenes, tecnología educativa e inteligencia computacional aplicada.

Fermín Pascual Estrada González

Actualmente se desempeña como profesor-investigador de tiempo completo en la Facultad de Telemática de la Universidad de Colima. Maestro en ciencias computacionales por la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad de Colima. Sus áreas de interés son las arquitecturas y redes de computadoras, el cómputo embebido y el internet de las cosas.

Jorge Rafael Gutiérrez Pulido

Actualmente se desempeña como profesor-investigador de tiempo completo en la Facultad de Telemática de la Universidad de Colima. Su formación académica reside en la licenciatura en informática y la maestría en telemática por la Universidad de Colima, y el doctorado en ciencias computacionales por la Universidad de Nottingham (Reino Unido). Sus intereses 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.

Juan Antonio Guerrero Ibáñez

Actualmente se desempeña como profesor-investigador de tiempo completo en la Facultad de Telemática de la Universidad de Colima. Obtuvo el título de ingeniero en Sistemas Computacionales y el grado de maestro en ciencias área telemática por la Universidad de Colima, y el grado de doctor en ingeniería telemática por la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) en Barcelona, España. Sus principales áreas de interés 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.

Juan José Contreras Castillo

Actualmente se desempeña como profesor-investigador de tiempo completo en la Facultad de Telemática de la Universidad de Colima. Obtuvo el título de ingeniero en sistemas computacionales por la Universidad de Colima, el grado de maestro en ciencias de la computación y el doctorado en electrónica y telecomunicaciones por el Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada (CICESE), Baja California. Sus intereses de investigación involucran las telecomunicaciones, la tecnología aplicada a la educación y la educación a distancia.

Juan Manuel Ramírez Alcaraz

Actualmente se desempeña como profesor-investigador de tiempo completo en la Facultad de Telemática de la Universidad de Colima. Obtuvo el grado de doctor en ciencias de la computación por el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de

Ensenada (CICESE), en Baja California. Recibió el grado de maestría en telemática de parte de la Universidad de Colima y el título de ingeniero en sistemas computacionales de parte de la misma institución. Sus áreas de interés se enfocan en *Cluster, Grid* y *Cloud Computing*, calendarización, paralelismo y virtualización.

Ma. Guadalupe Rivera Gutiérrez

Ingeniera en sistemas computacionales por la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad de Colima. Laboró en la Universidad de Colima como administradora del centro de cómputo de la Facultad de Trabajo Social y de la Facultad de Telemática. Actualmente es directora general de la empresa *Innova Thing* S.A. de C.V. Sus áreas de interés son las redes de sensores y el internet de las cosas.

María Andrade Aréchiga

Actualmente se desempeña como profesora-investigadora de tiempo completo en la Facultad de Telemática de la Universidad de Colima. Tiene la maestría en educación con especialidad en matemáticas por el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey y el doctorado en ciencias de la computación por el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE). Sus intereses de investigación se centran en el desarrollo, implementación y evaluación de ambientes de aprendizaje, tecnología educativa y matemáticas.

María Eugenia Cabello Espinosa

Actualmente se desempeña como profesora-investigadora de tiempo completo en la Facultad de Telemática de la Universidad de Colima. Su formación académica reside en la licenciatura en física por la Universidad Nacional Autónoma de México, la maestría en ciencias de la computación por la Fundación *Arturo Rosenblueth*, el diplomado de diseño gráfico asistido por computadora por la Universidad de Colima, así como varios títulos otorgados por la Universitat Politècnica de València (España): la especialidad en programación declarativa e ingeniería de la programación, el diploma de estudios avanzados, la maestría en ingeniería de software, métodos formales y sistemas de información, y el doctorado en programación declarativa e ingeniería de la programación. Sus intere-

ses de investigación se centran en 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.

Pedro Damián Reyes

Actualmente se desempeña como profesor-investigador de tiempo completo en la Facultad de Telemática de la Universidad de Colima. Es ingeniero en sistemas computacionales por el Instituto Tecnológico de Colima, maestro en ciencias área telemática por la Universidad de Colima y doctor en ciencias de la computación por el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE). Sus trabajos de investigación se encuentran enfocados en al desarrollo de aplicación conscientes del contexto y realidad aumentada.

Raymundo Buenrostro Mariscal

Actualmente se desempeña como profesor-investigador de tiempo completo en la Facultad de Telemática de la Universidad de Colima. Doctor en ciencias área computación, por la Universidad Autónoma de Baja California, maestro en ciencias en electrónica y telecomunicaciones por el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), Baja California, e ingeniero en electrónica y telecomunicaciones por la Universidad de Colima, Colima. Sus áreas de interés se enfocan en las redes inalámbricas de sensores (WSNs), en el paradigma del internet de las cosas (IoT), sistemas embebidos, y la evaluación del desempeño de sistemas de comunicaciones.

Ricardo Acosta Díaz

Actualmente se desempeña como profesor-investigador de tiempo completo en la Facultad de Telemática de la Universidad de Colima, donde realiza investigación sobre “ambientes inteligentes”. Es doctor en educación, maestro en ciencias de la computación e ingeniero en sistemas computacionales. Fue consultor de la Organización de Estados Americanos en el Desarrollo del Portal Educativo de las Américas. Realiza un postdoctorado en curriculum, innovación pedagógica y formación, con enfoque en desarrollo de apli-

caciones móviles que utilizan la gamificación como estrategia didáctica.

Salvador Macías Elizarrarás

Actualmente se desempeña como profesor-investigador de tiempo completo en la Facultad de Telemática de la Universidad de Colima. Su formación académica reside en la ingeniería en agronomía y la maestría en ciencias (cómputo aplicado) por el Colegio de Posgrados; al presente estudia el doctorado en gerencia y política educativa en la Universidad de Baja California. Sus intereses de investigación son la gestión y administración en el desarrollo del software, las tecnologías de información y los sistemas de información.

Sara Sandoval Carrillo

Actualmente se desempeña como profesora-investigadora de tiempo completo en la Facultad de Telemática de la Universidad de Colima. Su formación académica reside en la ingeniería en telemática y la maestría en telemática por la Universidad de Colima. Sus intereses de investigación se basan en el desarrollo de software dirigido por modelos y las tecnologías de la información.

Silvia Berenice Fajardo Flores

Actualmente se desempeña como profesora-investigadora de tiempo completo en la Facultad de Telemática de la Universidad de Colima. Es ingeniero en sistemas computacionales por el Instituto Tecnológico de Colima, maestra en tecnologías de información por la Universidad de Monash, Australia, y doctora en ciencias computacionales por la Universidad París VIII Vincennes-Saint-Denis, Francia. Ha trabajado en proyectos de tecnología para la educación, y sus intereses actuales de investigación son en las áreas de HCI, accesibilidad e interfaces no visuales.

Tecnologías disruptivas de información, coordinado por Armando Román Gallardo, Sara Sandoval Carrillo, María Eugenia Cabello Espinosa y José Román Herrera Morales, fue editado en la Dirección General de Publicaciones de la Universidad de Colima, avenida Universidad 333, Colima, Colima, México, www.ucol.mx. La edición se terminó en diciembre de 2018. En la composición tipográfica se utilizó la familia Veljovic Book. El tamaño del libro es de 22.5 cm de alto por 16 cm de ancho. Programa Editorial: Alberto Vega Aguayo. Gestión administrativa: María Inés Sandoval Venegas. Corrección: Glenda Gilda Herrera Callejas. Cuidado de la edición: Alberto Vega Aguayo.

El libro *Tecnologías disruptivas de información* está integrado por ocho capítulos que abordan temas de tecnología actuales. Destacan los tópicos *big data*, internet de las cosas, inteligencia artificial, cómputo cognitivo, interfaces de usuario, robots inteligentes conversacionales, realidad virtual y aumentada, y vehículos autónomos.



UNIVERSIDAD DE COLIMA