

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA
SANTIAGO - CHILE



“ELABORACIÓN DE MATERIAL DE DOCENCIA PARA EL
DESARROLLO DE CIUDADES INTELIGENTES
SOSTENIBLES CON TECNOLOGÍAS DISRUPTIVAS”

ELIECER MARCIAL ZAMBRANO REYES

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL EN INFORMÁTICA

Profesor Guía: Mauricio Solar
Profesor Correferente: Sergio Murua

Octubre - 2022

DEDICATORIA

A mi madre, padre y hermano, quienes me han apoyando en cada decisión de mi vida y me han hecho la persona que soy.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a cada uno de los investigadores del área, para cada una de las tecnologías y campos de ciudades inteligentes. Sin sus conocimientos y esfuerzos, jamás habría logrado este hito. También a mis compañeros de trabajo, que me apoyaron en la realización de esta memoria con el tiempo y flexibilidad.

RESUMEN

Resumen—

Las ciudades inteligentes (o Smart Cities), son un campo atractivo para el desarrollo tecnológico global. Aprovechar las investigaciones realizadas en diversas áreas, como Blockchain, Big Data, Machine Learning, por ejemplo, y aplicarlas para mejorar la calidad de vida de cada uno de los ciudadanos es un desafío y necesidad que todos los involucrados deben analizar. Así, se propone la elaboración de un curso, bajo el proyecto ERASMUS, permitiendo que distintos profesionales logren interiorizarse de manera efectiva en las tecnologías disruptivas, de tal manera que pueda ser aplicado a ciudades inteligentes sostenibles, en vías de mejorar el bienestar social. Para ello, se definirá en primera instancia el problema a abordar y su marco conceptual, abarcando las principales innovaciones, como *Big Data*, *Blockchain*, IoT, IA, entre otras, de manera preliminar.

Palabras Clave— ciudad inteligente; tecnología disruptiva; curso; aprendizaje; innovación.

ABSTRACT

Abstract— Smart Cities are an attractive field for global technological development. Taking advantage of research in various areas, such as Blockchain, Big Data, Machine Learning, for example, and apply them to improve the quality of life of each citizen is a need and challenge that all involved should analyze. Thus, it is proposed the development of a course, under the ERASMUS project, allowing different professionals to achieve effective internalization in disruptive technologies, so that it can be applied to sustainable intelligent cities, in the process of improving social welfare. For this purpose, the problem to be addressed and its conceptual framework will be defined in the first instance, covering the main innovations, such as *Big Data*, *Blockchain*, IoT, IA, among others, in a preliminary way.

Keywords— Smart City; disruptive innovation; course; learning; innovation.

GLOSARIO

AR: Augmented Reality, o realidad aumentada.

IA: Inteligencia Artificial.

IoT: *Internet of Things* o internet de las cosas.

M2M: Comunicación *machine-to-machine* sin usuarios involucrados (directamente).

ML: *Machine Learning* o aprendizaje automático.

P2M: Comunicación *peer-to-machine*, o entre usuario-máquina.

P2P: Comunicación *peer-to-peer* o una red entre pares, usuarios en igualdad de condiciones.

SSC: Sustainable Smart Cities o ciudades inteligentes sostenibles.

VR: Virtual Reality o realidad virtual.

LAN: Local Area Network, red de area local, es una red formada por computadoras, en un área reducida.

WAN: Wide Area Network, red de área amplia, es una red que abarca un conjunto de redes locales (LAN).

SD-WAN: Software Defined WAN, variación de una WAN, en la que las conexiones entre routers son reemplazadas por aplicaciones y virtualización.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	IV
ABSTRACT	IV
GLOSARIO	V
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1: DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	4
1.1 Objetivos	7
1.1.1 Objetivo General	7
1.1.2 Objetivos Específicos	7
CAPÍTULO 2: MARCO CONCEPTUAL	10
2.1 Tecnologías disruptivas y ciudades inteligentes	10
2.2 Big Data	10
2.3 Internet de las cosas (IoT)	12
2.4 Inteligencia Artificial y Aprendizaje Automático	13
2.5 Blockchain	15
CAPÍTULO 3: PROPUESTA DE SOLUCIÓN	17
3.1 Introducción a tecnologías disruptivas en ciudades inteligentes	17
3.1.1 Introducción	17
3.1.2 Desarrollo	17
3.2 De comunidad a ciudad inteligente	20
3.2.1 Conclusiones	22
3.2.2 Referencias	22
3.3 Internet de las Cosas	23
3.3.1 Introducción	23
3.3.2 Desarrollo	23
3.4 Aplicaciones actuales de Internet de las Cosas	27
3.4.1 Conclusiones	27
3.4.2 Referencias	28
3.5 Fundamentos de <i>Blockchain</i>	29
3.5.1 Introducción	29
3.5.2 Desarrollo	29
3.5.3 Conclusiones	36
3.5.4 Referencias	37
3.6 Fundamentos de Inteligencia Artificial y <i>Machine Learning</i>	38
3.6.1 Introducción	38

3.6.2	Desarrollo	38
3.6.3	Aplicaciones y ejemplos de Inteligencia Artificial y Machine Learning en ciudades inteligentes	46
3.6.4	Conclusión	46
3.6.5	Referencias	47
3.7	Realidad virtual y aumentada (VR y AR)	48
3.7.1	Introducción	48
3.7.2	Desarrollo	48
3.7.3	Conclusión	58
3.7.4	Referencias	58
3.8	Fundamentos de <i>Big Data</i>	59
3.8.1	Introducción	59
3.8.2	Desarrollo	59
3.8.3	Conclusión	62
3.8.4	Referencias	63
3.9	<i>Cloud, Fog y Edge Computing</i>	64
3.9.1	Introducción	64
3.9.2	Desarrollo	64
3.9.3	Aplicaciones actuales en Cloud, Fog y Edge Computing:	69
3.9.4	Conclusión	71
3.9.5	Referencias	71
CAPÍTULO 4: VALIDACIÓN DE LA SOLUCIÓN		72
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES		85
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		88

ÍNDICE DE FIGURAS

1.1	Población urbana mundial estimada y proyectada, para regiones más desarrolladas y menos desarrolladas, 1950-2050	4
1.2	Análisis gráfico para Santiago de Chile.	5
2.1	El qué, dónde, y cómo del Internet de las Cosas.	13
2.2	Clasificación de técnicas de aprendizaje automático.	14
2.3	Framework para ciudad inteligente segura.	16
3.1	Tipos de sensores en un mundo inteligente.	24
3.2	Comparación entre red eléctrica tradicional y red eléctrica inteligente.	26
3.3	Diagrama de ejemplo de una cadena de bloques	30
3.4	Ejemplo de verificación de transacciones	30
3.5	Ejemplo de funciones de regresión, observándose tres tipos: lineal, de segundo grado, y sexto grado	44
3.6	Conjunto de datos, al que se le aplica <i>k-means clustering</i>	45
3.7	Capaz en una ciudad inteligente	49
3.8	Modelo conceptual de VR	49
3.9	Modelo de hardware de VR	51
3.10	Modelo de software de VR	52
3.11	Oculus Quest 2, con las gafas VR y sus controladores. Fuente: https://www.oculus.com/	54
3.12	Ruinas e imagen en realidad aumentada de Dashuifa. Fuente: Display systems and registration methods for mixed reality applications, https://www.researchgate.net/	55
3.13	Usuario utilizando Microsoft Hololens, para interactuar con objetos de realidad mixta. Fuente: https://www.microsoft.com/es-es/hololens	55
3.14	Ejemplo de una “captura” en Pokémon GO, Fuente: https://pokemongolive.com/	56

3.15 Traducción con Google Lens, Fuente: https://lens.google/intl/es-419/	57
3.16 Google Maps AR, Fuente: https://emiliusvgs.com/	57
3.17 Servicios en modelos Cloud, donde <i>On-premises</i> corresponde a dispositivos privados. Fuente: Lea, Perry	65
3.18 Comparación en distancia y recursos entre componentes Near-Edge y Far-Edge. Fuente: Lea, Perry	68
3.19 Relaciones entre los componentes de las distintas capas. Fuente: Lea, Perry	70
4.1 Conocimiento de Big Data.	73
4.2 Conocimiento de Blockchain.	73
4.3 Conocimiento de Inteligencia Artificial.	73
4.4 Conocimiento de Internet de las cosas.	74
4.5 Conocimiento de Machine Learning.	74
4.6 Conocimiento de Realidad Virtual/Aumentada.	74
4.7 Aspectos relevantes de una ciudad (1).	76
4.8 Aspectos relevantes de una ciudad (2).	77
4.9 Aspectos relevantes de una ciudad en porcentajes (1).	78
4.10 Aspectos relevantes de una ciudad en porcentajes (2).	79
4.11 Relevancia tecnológica.	80
4.12 Relevancia tecnológica en porcentajes.	81
4.13 Secciones en clase/curso.	82
4.14 Secciones en clase/curso en porcentajes.	83
4.15 Consideraciones de tiempo.	84

INTRODUCCIÓN

CONTEXTO

Los avances tecnológicos han permitido mejorar la calidad de vida de cada uno de los individuos que habitan las ciudades a nivel mundial. Así, con la globalización y expansión de las comunicaciones se ha logrado ampliar el rango de posibilidades que podemos manejar, surgiendo así las “tecnologías disruptivas”, que de manera superficial, se puede definir como aquellas innovaciones que buscan solucionar problemas mediante acercamientos poco ortodoxos, permitiendo redefinir nuevas áreas y mejorar procesos.

Con lo anterior, dado que las tecnologías disruptivas (o emergentes) son campos de desarrollo recientes, el conocimiento de cómo funcionan, que aplicaciones, ventajas y desventajas pueden tener, atrae a miles de personas y organizaciones interesadas en implementar herramientas para mejorar sus capacidades y ser partes de la nueva ola de la revolución informática.

No obstante, los conceptos, componentes, algoritmos e investigaciones hacen que el proceso de entender cada una de estas tecnologías un trabajo arduo, requiriendo leer libros, revistas e investigaciones a fondo, y aprender a utilizarlas. Además de lo complejo que es adquirir este conocimiento, aplicar dichas tecnologías emergentes pensando en mejorar la calidad de vida de la sociedad, como es una ciudad inteligente, aumenta la dificultad considerablemente, tomando en cuenta que existen miles de personas que pueden verse beneficiadas por su implementación, pero las condiciones físicas, como el terreno, la infraestructura y los costos energéticos son variables extras que pueden limitar su uso. Por lo tanto, es necesario que, para interiorizarse e iniciar los pasos hacia este tipo de tecnologías aplicadas a ciudades, y crear las llamadas ciudades inteligentes, o *smart cities* de una manera sostenible y consciente de los recursos de la sociedad, entender, mediante conceptos fundamentales de las tecnologías disruptivas, sus aplicaciones y ventajas en ellas, sin la necesidad de conceptos técnicos complejos, para comprender y particularizar su funcionamiento a la realidad de cada sociedad que los interesados en adquirir conocimiento posean.

Así, a continuación, se presentará para entender la metodología de esta memoria, una definición del problema donde se mostrará en detalle las necesidades que cubren el marco de las ciudades inteligentes, donde se observarán factores de desarrollo para una ciudad, y relacionarlo con la necesidad de aplicar tecnologías disruptivas en su infraestructura; con ello, se presentará la solución acorde para esta problemática, lo cual corresponde a la elaboración de material docente mostrando las ventajas de las tecnologías disruptivas aplicadas en *Smart Cities*, de tal manera que, si un futuro académico requiera iniciar un curso para estas tecnologías aplicadas a ciudades, posea un punto inicial para sus investigaciones.

Se presentará además un breve marco conceptual, el que permitirá visualizar de manera preliminar cómo las tecnologías disruptivas se relacionan con las ya mencionadas ciudades

inteligentes sostenibles, así como sus características dentro del contexto, donde por el momento, corresponderán a *big data*, *internet of things*, *inteligencia artificial* y *blockchain*.

Continuando, se presentará la propuesta de solución, que mostrará las partes fundamentales de cada *Lecture* o clase (introducción, desarrollo, conclusión, referencias) de tal manera que, cuando el profesional deba realizar clases sobre alguna tecnología, sepa que conceptos fundamentales debe explicar en ellas. Cabe notar que los conceptos estarán ordenados a modo de secciones por tecnología que clases propiamente tal, permitiendo que si, el docente necesita expandir una clase debido a que el conocimiento es muy profundo, pueda dividir la información e investigar más a fondo.

Por último, se presentará conclusiones generales respecto a la investigación realizada, entendiendo que conceptos importantes quedaron remarcado, futuras consideraciones y aprendizajes logrados, para así realizar un análisis profundo de cómo las tecnologías disruptivas pueden cambiar el desarrollo de las ciudades, hasta alcanzar las anheladas ciudades inteligentes sostenibles (SSC).

Respecto al contenido de cada sección, se ha utilizado el apoyo y recomendación de investigación por parte del proyecto *Cap4city* junto al programa *Erasmus+*, que tienen como principales objetivos el fortalecimiento y la creación de capacidades de las instituciones académicas situadas en ciudades de América Latina y Europa para:

1. Mejorar la calidad de la educación superior en el ámbito de la ciudades inteligentes sostenibles (SSC), aumentando su relevancia para el mercado laboral y la sociedad en genera;
2. Aumentar las competencias en los países en desarrollo de América Latina para hacer frente a los desafíos del mundo digital;
3. El desarrollo continuado de las competencias en materia de SSC a través de programas de formación y educación;
4. Educación y enseñanza multidisciplinar orientada a los problemas de las SSC;
5. Desarrollo de una red de cooperación entre los socios de diferentes regiones del mundo
6. Colaboración con los socios, la administración municipal, las empresas y otras partes interesadas en las SSC y;
7. El intercambio de conocimientos, experiencias y buenas prácticas y las iniciativas conjuntas sobre SSC entre los socios académicos ubicados en diferentes ciudades y países y en toda Europa y América Latina, todos ellos apoyados por su ecosistema local de SSC.

Con ello, se busca generar los cimientos para que las instituciones, y la sociedad en las que están inmersas puedan potenciar y generar capacidades para abarcar las diferentes necesidades de una ciudad inteligente sostenible, que incluye la utilización de tecnologías disruptivas.

CAPÍTULO 1

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El creciente desarrollo de las ciudades a nivel mundial ha permitido integrar nuevas herramientas tecnológicas en el diario vivir de las personas. Tampoco es novedad que existe un aumento considerable en la cantidad de personas que habitan las ciudades en general, donde incluso, para 2050 [United Nations y Social Affairs, 2019], se prevé que un 80 % de la población mundial aproximadamente vivirá en una , por lo que nos encontramos en la absoluta necesidad de implementar e investigar nuevas metodologías que permitan desarrollar nuestra sociedad hacia el bien común y, por lo tanto, implementar ciudades inteligentes sostenibles (Sustainable Smart Cities, SSC).

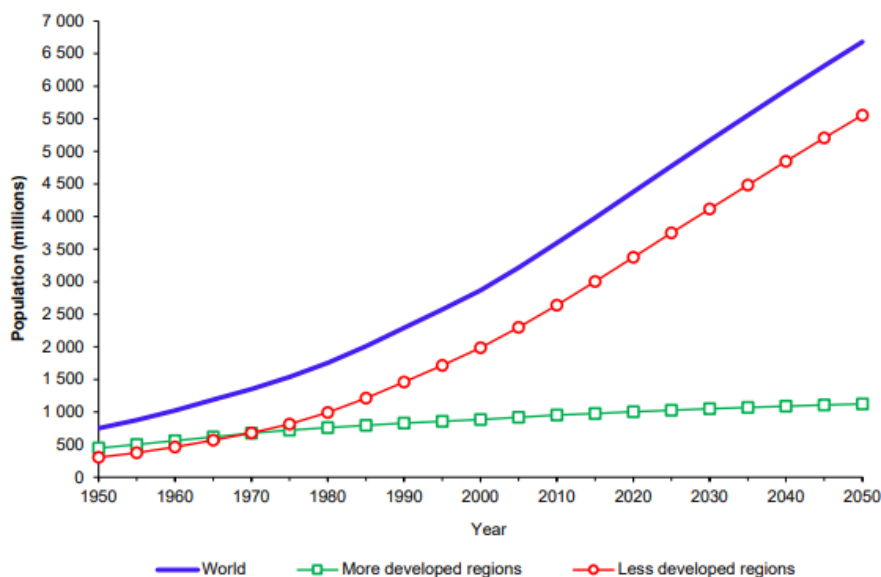


Figura 1.1: Población urbana mundial estimada y proyectada, para regiones más desarrolladas y menos desarrolladas, 1950-2050

Fuente: United Nations & Social Affairs.

Así, hoy en día, muchas herramientas tecnológicas han sido de utilidad al diario vivir en todo el mundo. Internet las 24 horas, drones de vigilancia, nuevos métodos de transporte como Uber, Cabify son algunos ejemplos iniciales hacia un desarrollo en Smart Cities. No obstante, el camino para implementar SSC es largo, no sólo por la necesidad de implementar nuevas tecnologías a la vida cotidiana, sino también para mejorar nuestra sociedad de manera integral, respetando el medioambiente y actuando de manera eficiente.

Dicho lo anterior, para garantizar que las ciudades en todo el globo contengan las condiciones ideales para sus habitantes, se creó el Índice IESE Cities in Motion o ICIM [University of Navarra IESE Business School, 2020] que compila diferentes indicadores para

generar un *ranking* entre ellas, simplificando el análisis a nueve medidas que logran sintetizar lo más relevante para una ciudad, siendo una base para el desarrollo integral de una ciudad inteligente sostenible:

- Capital humano
- Cohesión social
- Economía
- Gobernanza
- Medioambiente
- Movilidad
- Proyección internacional
- Tecnología
- Planificación urbana

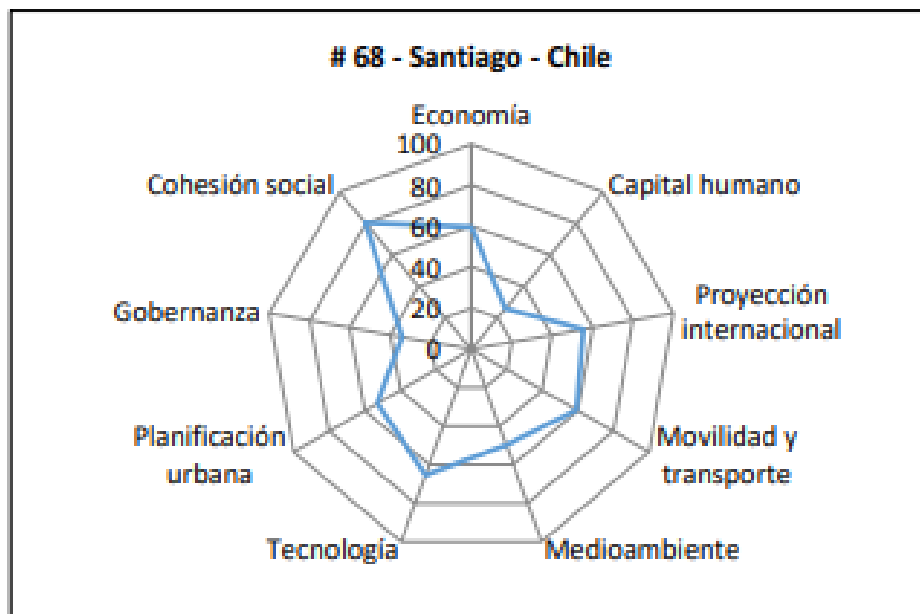


Figura 1.2: Análisis gráfico para Santiago de Chile.
Fuente: University of Navarra.

Así, permitiendo que aquellos que estén interesados en el desarrollo en su zona puedan tomar medidas, en vías del progreso. Para el caso de Santiago, de la figura 1.2, se observa que uno de los puntos más fuertes de la capital es su nivel tecnológico y proyección internacional,

no obstante, dichas ventajas se ven desaprovechadas por la baja importancia al capital humano de la urbe, que en síntesis, muestra que hay un poco interés en educar a la población en todo ámbito, y como el mismo IESE revela: “Una urbe con una gobernanza inteligente tiene que ser capaz de atraer y retener talento, crear planes para mejorar la educación e impulsar tanto la creatividad como la investigación”, lo que muestra una necesidad obligatoria por generar cultura en la sociedad, aprovechando las innovaciones que las tecnologías disruptivas pueden entregar.

A nivel Latinoamericano, Chile se ubica en el mayor puesto en el ICIM (University of Navarra IESE Business School, 2020), y aún con lo anterior, su ubicación es el puesto 68 de 174, donde además, casi la totalidad de ciudades en la región está en rangos por sobre 100, lo cual demuestra que existe una enorme brecha entre países de Europa, Asia y Norteamérica, por lo tanto, es indispensable que, como Latinoamérica, se corrijan las condiciones de las ciudades, para alcanzar un desarrollo idóneo en miras de mejorar la eficiencia y calidad de vida de sus habitantes.

Continuando para el caso de Chile, el 19 de agosto, el Consejo Regional Metropolitano de Santiago [Consejo Regional Metropolitano de Santiago, 2020] ¹ aprobó la implementación del Centro Integrado de Gestión Regional, lo cual indica que a nivel nacional nos encontramos en uno de los primeros pasos formales para la implementación de *Smart Cities*. Sin embargo, se observa que dicho centro estará más enfocado en desarrollar un “centro de control”, dejando de lado la filosofía ideal de *Smart City*, notándose que, al ser una propuesta que recién está viendo la luz, existe poco conocimiento sobre el tema, y surge la necesidad de profesionales expertos en el área, sumándose a la necesidad de nuevos métodos de enseñanza que deben ser propuestos, aprovechando las ventajas que las tecnologías disruptivas han brindado en contexto más específicos, como a nivel comercial o investigativo, por ejemplo.

Analizando además el problema a un fin social, existe una necesidad de crear una ciudad inclusiva, ya sea para adultos mayores y personas con discapacidades, donde el diseño no es óptimo y desarrollar nuevas herramientas tecnológicas, por ejemplo, para ayudar a organizar centros de distribución de medicamentos, señalización con smartphones para personas no videntes, o implementar aplicaciones que permitan un monitoreo en tiempo real de las condiciones de salud de cada paciente en el caso actual del COVID-19, demuestran la necesidad de un compromiso por parte de los profesionales a implementar tecnologías adecuadas en las ciudades.

Evidenciándose el problema a grandes rasgos, existe poco o nada de avance respecto a la aplicación de tecnologías emergentes en ciudades inteligentes, y más aún, no se evidencia una manera de preparar e incentivar estudios en dicha área, por lo que, esta memoria busca, bajo el proyecto ERASMUS titulado “*Strengthening Governance Capacity for Smart Sustainable Cities*”, implementar un curso que permita a nuevos profesionales comprender, aplicar, analizar y sintetizar (usando la taxonomía de Bloom) las tecnologías disruptivas en el desarrollo de las ciudades inteligentes sostenibles, logrando así poder integrar nuevas tecnologías

¹Obtenido de: <http://www.coresantiago.cl/core-aprueba-primer-smart-city-de-chile/>

en un campo más allá de lo teórico, permitiendo mejorar el desarrollo de la ciudad y sus habitantes.

1.1. Objetivos

Para solucionar el problema evidenciado, en esta tesis se espera cumplir con los siguientes objetivos:

1.1.1. Objetivo General

Diseñar e implementar un curso que permita a nuevos profesionales comprender, aplicar, analizar y sintetizar tecnologías disruptivas en el desarrollo de las ciudades en vías de la sostenibilidad.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Estudiar e investigar las temáticas relacionadas con tecnologías emergentes y el desarrollo de Smart Cities.
- Organizar los contenidos en una secuencia: de lo general a lo particular, de lo simple a lo complejo, etc.
- Jerarquizar y elegir los contenidos: los que son prioritarios, que deben trabajarse y los que pueden dejarse afuera.
- Definir la exhaustividad de los temas a tratar. Cuánto de cada tema y a qué profundidad.
- Desarrollar “Lectures” (clases) por temáticas.

METODOLOGÍA

La elaboración de material útil para cualquier ámbito, ya sea profesional o académico, requiere amplio conocimiento del tema en cuestión a tratar. Dado que el enfoque aplicado busca generar las bases para que los futuros profesionales logren entender cómo implementar tecnologías emergentes de manera práctica, tanto en empresas del ámbito privado, o incluso instituciones públicas, es necesario definir que tópicos o temáticas, en el ámbito de las tecnologías emergentes, son claves para lograr un desarrollo considerable en las ciudades inteligentes sostenibles.

Contenido del material:

- Introducción a tecnologías emergentes en ciudades inteligentes.
- Bases de datos y su análisis. (Probablemente complementar con BI)
- Internet de las cosas.

Estructura de "Lecture"

El contenido de estudio será principalmente dividido en diferentes secciones con temáticas relacionadas de manera directa a una tecnología emergente, entregando un acercamiento conciso, de tal manera que el interesado en desarrollar de manera formal un curso de tecnologías disruptivas aplicadas a ciudades inteligentes, genere una investigación a fondo y con mayor detenimiento de cada temática, con el fin de lograr una comprensión profunda de los temas, y discernir que información podría ser relevante de incluir para instruir de la manera más clara, la información de las tecnologías emergentes propuestas.

Dicho lo anterior, cada "Lecture", o sección de este estudio, abarcará cuatro puntos específicos:

1. **Introducción:** Esta sección plantea un acercamiento inicial, a modo de motivación para entender el propósito de la sección, así como proveer de ejemplificaciones básicas. Con ello, se espera que exista un entendimiento básico del tema, y se logre relacionar su relevancia con el tópico general de ciudades inteligentes sostenibles.
2. **Desarrollo:** En este apartado, se provee de la información de manera efectiva, como ya ha sido mencionado, de tal manera que sea un acercamiento a la información específica de los temas, adquiriendo conocimientos fundamentales de la tecnología, sus aplicaciones y en lo posible, ejemplos en la vida real. Lo anterior, cabe mencionar, no se limita solamente a la información expuesta en la sección, sino que invita a que quien estudie el desarrollo de manera profunda, pueda potenciar su conocimiento del tema con referencias externas, estudios más detallados y casos de uso mucho más complejos, para así complementar la información de la manera que mejor se estime conveniente.
3. **Conclusiones:** Se espera concretar qué conceptos relevantes se logran entender de las tecnologías estudiadas, así como identificar posibles desafíos y proveer un punta-pié inicial para que quien se vea interesado en la tecnología en específico y logre encontrar puntos relevantes para su estudio, y continuar mejorando su material personal.
4. **Referencias:** Representan los principales documentos de estudio utilizados para basar la sección en específico. Cabe mencionar que algunas referencias han sido utilizadas

dentro de las secciones para lograr un mayor entendimiento del tema, pero no aparecen en esta sección dado que sólo representa el material principal de estudio en el que está basado el "*lecture*". Aún así, si existe una referencia dentro de la sección, aparecerá en la sección de bibliografía final, mientras que si se estima no necesario agregar dicha referencia, la información será posible encontrar en los materiales de consulta que aparezcan en esta sección.

Principales tecnologías emergentes

- Big data
- Blockchain
- Inteligencia Artificial
- Internet of Things
- Machine Learning
- Realidad Virtual y aumentada
- Cloud Computing

CAPÍTULO 2

MARCO CONCEPTUAL

2.1. Tecnologías disruptivas y ciudades inteligentes

Para la elaboración del curso, es necesario establecer una revisión respecto a las innovaciones creadas durante el último tiempo en *smart cities*, y que permitirán dar un acercamiento inicial en el contexto. Como se ha evidenciado, el estudio respecto a las ciudades inteligentes lleva varios años siendo analizado por diferentes investigadores, quienes han entregado diferentes puntos de vista, todo en miras de mejorar las ciudades a futuro.

Dado lo anterior, es posible observar que existen una serie de tecnologías disruptivas las cuales han sido desarrolladas de manera particular según su objetivo, las cuales pueden ser aplicadas al rubro de ciudades inteligentes sostenibles para mejorar las capacidades de las mismas. Entre ellas, las que se esperan presentar en un futuro curso corresponden a:

- *Big Data*.
- Internet de las Cosas (IoT)
- Inteligencia Artificial (IA) y *Machine Learning* (ML)
- *Blockchain*.
- Ciberseguridad.
- Realidad Virtual y Aumentada (VR/AR).
- Computación en la nube.

Donde cada una representa un complejo campo de estudio por si misma, por lo que, una introducción a cada tema es de vital importancia para comprender de manera correcta los temas, e inculcar su potencial para SSC. A continuación, se verán de manera introductoria, aquellas tecnologías referidas a big data, IoT, IA, ML y blockchain.

2.2. Big Data

No es ajeno saber que actualmente la cantidad de información disponible sobrepasa las capacidades de procesamiento individual que poseen las personas. La utilización de sensores en tiempo real, los datos del clima, redes sociales, entre muchas otras aplicaciones, han requerido la utilización de herramientas innovadoras que garanticen mejorar la calidad de vida

de las personas. Dentro de ello, diversas recomendaciones y aplicaciones de *big data* para ciudades inteligentes han aparecido, donde, para el año 2015 [Al Nuaimi *et al.*, 2015], se ha demostrado que el análisis de grandes volúmenes de datos es un núcleo importante para comprender el avance de la sociedad, relacionándose directamente con campos también atingentes a ciudades inteligentes sostenibles, tales como *IoT* y computación en la nube. De lo anterior, existen diversas áreas donde *big data* puede generar un gran impacto:

- **Salud:** Su principal enfoque está dirigido al bienestar de los pacientes. Un monitoreo constante respecto a las condiciones de salud del paciente, como la frecuencia cardíaca, niveles de azúcar, presión sanguínea en todo momento, no sólo en un centro de salud sino todo el día, abre las posibilidades de salvar múltiples vidas, más aún en el contexto actual, en el cual la pandemia ha demostrado que se requiere mantener a cada habitante identificado y analizado, para tomar medidas de contingencia cuando sea necesario, observando, por ejemplo, correlaciones entre patrones de conducta versus contagios.
- **Energía:** El manejo de la energía es clave en una ciudad inteligente. Analizar en tiempo real cómo los distintos componentes de la *smart city* consumen los recursos energéticos permitirá facilitar las tomas de decisiones respecto a la satisfacción de demanda de los usuarios, ajustando precios como correspondan, e incluso disminuir el impacto ambiental que podría generar.
- **Transporte:** Existen varios ejemplos prácticos donde *big data* posee un rol importante para el transporte, como en el reconocimiento de patrones del tráfico, reducción en la congestión al observar que vías se ocupan más. Reducir gastos innecesarios en entregas o también la comunicación constante entre cada vehículo mediante sensores son ejemplos de donde se puede trabajar para la ciudad.
- **Medioambiente:** Uno de los aspectos más complejos de analizar es el comportamiento de la naturaleza. El clima varía constantemente, y mantener los datos de cómo puede impactar una tormenta en la ciudad, o una sequía en el entorno para el mundo agrícola, permitirá que se tomen medidas de contingencia de manera más eficiente.
- **Seguridad:** Analizar el entorno cuando ocurran imprevistos y mantener todo en orden cuando sea necesario, requiere mantener datos de la geografía constantemente, e inclusive, mediante ello, evitar que sectores en riesgo sean afectados considerablemente en un terremoto entrega confianza a la sociedad, donde en Chile sería una excelente variable a considerar.
- **Educación:** Con la pandemia, se observa que es necesario generar nuevas metodologías de enseñanza para la sociedad. Además, si se monitorea de manera correcta cada individuo, como sus notas, materias donde hay dificultades, entre muchas otras variables, es posible generar una retroalimentación importante para mejorar las condiciones de aprendizaje y evitar estrés tanto para académicos como estudiantes. Además, para fines investigativos, se ha observado que *big data* suele ser de gran ayuda para

el análisis de datos astronómicos, por ejemplo junto con otras tecnologías disruptivas, como *Machine Learning* para el análisis de imágenes, generar nuevas posibilidades para aprender del universo en general.

- **Gobernanza:** Finalmente, es de vital importancia que los gobiernos posean todas las herramientas que le permitan mantener un control de todos los procesos, negocios, ciudadanos, salud, medioambiente, entre muchos otros factores, para entregar mayor confianza a las personas, y evitar la sensación de desconexión que se suele tener en la actualidad. Como se mencionaba con anterioridad, es bastante relevante que, para el caso de Santiago, se haya creado un nuevo centro que permita monitorear dichos aspectos de manera estatal, para así mantener un control real y asegurar el cumplimiento de las políticas que la ciudad implemente.

Donde en general, uno de las grandes ventajas es el manejo eficiente, a costa de asegurar privacidad, calidad de datos, aumento en costos y procesamiento, entre otras, que deben analizarse de manera consciente con las entidades gubernamentales para aplicarlas de manera efectiva.

2.3. Internet de las cosas (IoT)

Uno de los campos más atractivos en ciudades inteligentes es el desarrollo de tecnologías en el campo de IoT, que permiten evidenciar el aspecto tecnológico que una ciudad en la actualidad espera implementar manteniendo una conexión permanente entre los objetos cotidianos. No obstante su aplicación requiere de una gran labor a nivel integral, para relacionar pequeños componentes, como sensores, con grandes bases de datos presentes considerando por ejemplo, *big data*.

Con lo anterior, para el año 2017, [Batalla *et al.*, 2017] se observa que el internet ha tenido un crecimiento mediante olas, y con el pasar de los años la cantidad de información y dispositivos disponibles aumentarán considerablemente. De lo anterior, se desprende que IoT está conformado principalmente por cuatro componentes que interactúan entre sí:

- **Personas:** Sujeto que interactúan dentro del sistema. Entregan constantemente información, acorde a sus necesidades.
- **Datos:** En IoT, los datos no son sólo consultas a bases de datos. Deben ser constantemente obtenidos y analizados para que las cosas puedan tomar las decisiones de la manera más inteligente posible.
- **Cosas:** Todos los objetos que interactúan con las personas y permiten generar datos, o analizar los mismos. Dichas cosas deben estar “conscientes” de su contexto, ya que según como el ambiente impacta en ellos deben tomar las mejores decisiones para satisfacer las necesidades de los usuarios

- **Procesos:** Se refiere a cómo las interacciones entre los demás componentes entregan los mejores resultados para el mundo de las IoT, con conexiones rápidas y fluidas.

Los cuales interactúan entre sí.

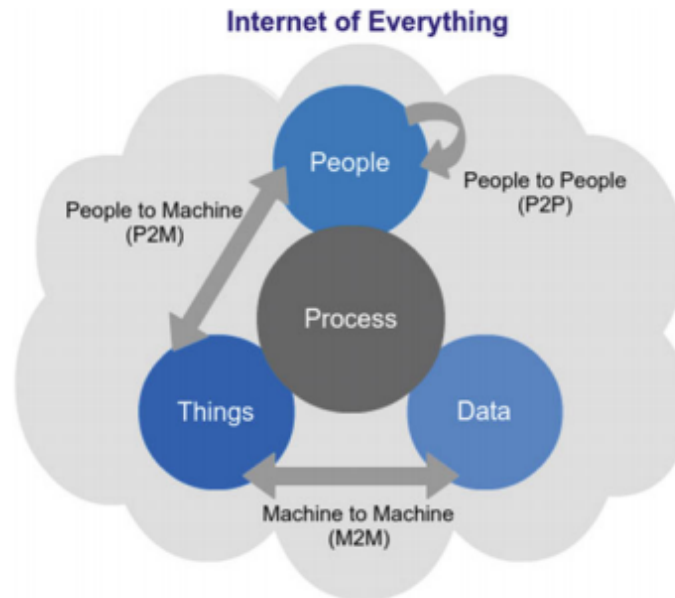


Figura 2.1: El qué, dónde, y cómo del Internet de las Cosas.
Fuente: [Batalla et al., 2017].

2.4. Inteligencia Artificial y Aprendizaje Automático

La inteligencia artificial (IA) junto con el aprendizaje automático (ML) tienen una variedad de aplicaciones que siguen siendo desarrolladas, y cada una de las disciplinas posee una variedad de capas y particularizaciones que permiten solucionar problemas del día a día, como el reconocimiento facial, por ejemplo. Aún así, dada la complejidad de cada uno de los temas, es imperante que al momento de construir el capítulo que abarque esta sección del curso, se entreguen los lineamientos iniciales que inviten al futuro estudiante a interiorizarse en el tema y pueda ser una experiencia enfocada en aprender correctamente para mejorar las ciudades a nivel mundial.

Con lo anterior, este año [Ullah et al., 2020] se investigó respecto a las aplicaciones de dichas tecnologías en el campo de las ciudades inteligentes, clasificando en primer lugar el aprendizaje automático en tres categorías:

- **Aprendizaje supervisado**, donde existe un conjunto de datos que servirán de entrenamiento para una red de inteligencia artificial, y generará una función para predecir

valores según un conjunto de prueba. Ejemplos son regresión lineal y logística, y clasificadores

- **Aprendizaje no supervisado**, donde no existe un dataset de entrenamiento ni con datos categorizados, sino que el mismo conjunto de datos de entrada será analizado para observar el comportamiento de los datos entre ellos. Ejemplos son “clustering”² y reducción de dimensionalidad.
- **Aprendizaje reforzado**, donde un agente coexiste en un medioambiente desconocido, y dependiendo de sus acciones, se genera un “premio”, según cómo afecta a la utilidad óptima. Cabe mencionar que lo más relevante en este acercamiento, es el balance entre la **explotación** que busca maximizar la utilidad con la información actual y **exploración**, que se refiere a encontrar nuevas alternativas dentro del medioambiente, donde diferentes acercamientos probabilísticos suelen analizar dichos parámetros.

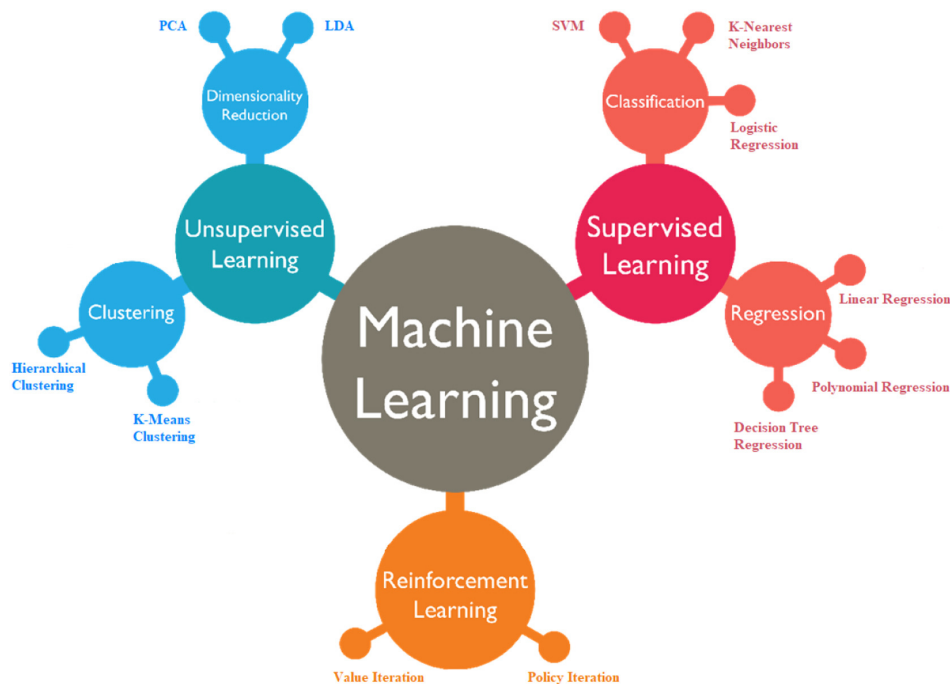


Figura 2.2: Clasificación de técnicas de aprendizaje automático.

Fuente: [Ullah *et al.*, 2020].

²Clustering: Método que consiste en agrupar conjuntos de datos según sus variables

2.5. Blockchain

Las cadenas de bloques, o *Blockchain* aparecen como una prometedora alternativa a los métodos tradicionales de transacciones a nivel mundial. En resumen, su gran ventaja resulta su estructura misma, al basarse en la comunicación y dependencia directa entre pares, donde, para obtener la información relevante en un bloque dentro de la red, se deben conocer también cómo se relaciona con otros bloques, donde un atacante se vería prácticamente imposibilitado de acceder por la complejidad de acceso. En [Biswas y Muthukkumarasamy, 2016], se planteó implementar un *framework* que utiliza *blockchain* y dispositivos inteligentes, para generar comunicaciones seguras dentro de una ciudad inteligente, donde se observan cuatro capas que conforman dicho sistema:

1. **Capa física:** Corresponden a sensores y actuadores que están inmersos en el contexto de la ciudad. Están sujetos al estándar requerido.
2. **Capa de Comunicación:** Todo lo referido a la red misma, utilizando tecnologías como Wifi, Bluetooth, 3G-4G-5G, y todos los protocolos que sean necesarios, tanto para la cadena de bloques misma.
3. **Capa de bases de datos:** En blockchain, un “ledger” distribuido corresponde a una base de datos que almacena los registros uno después del otro dentro de la cadena. Debe ser accesible por cada miembro autorizado, por lo que su actualización es bastante costosa. Se recomienda utilizar un ledger privado, ya que evita acceso de atacantes y reduce la carga que un ledger público realiza al mantener los datos disponibles para todo el mundo dentro de la cadena.
4. **Capa de interfaz:** La interfaz corresponde a todas las aplicaciones que interactúan entre ellas para alguna tarea. Por ejemplo, un *smartphone* puede proveer información de su ubicación a una *smart home* para que encienda el calefactor a 5 minutos de llegar a la casa. Todo lo anterior tomado en cuenta las medidas de seguridad de las capas anteriores.

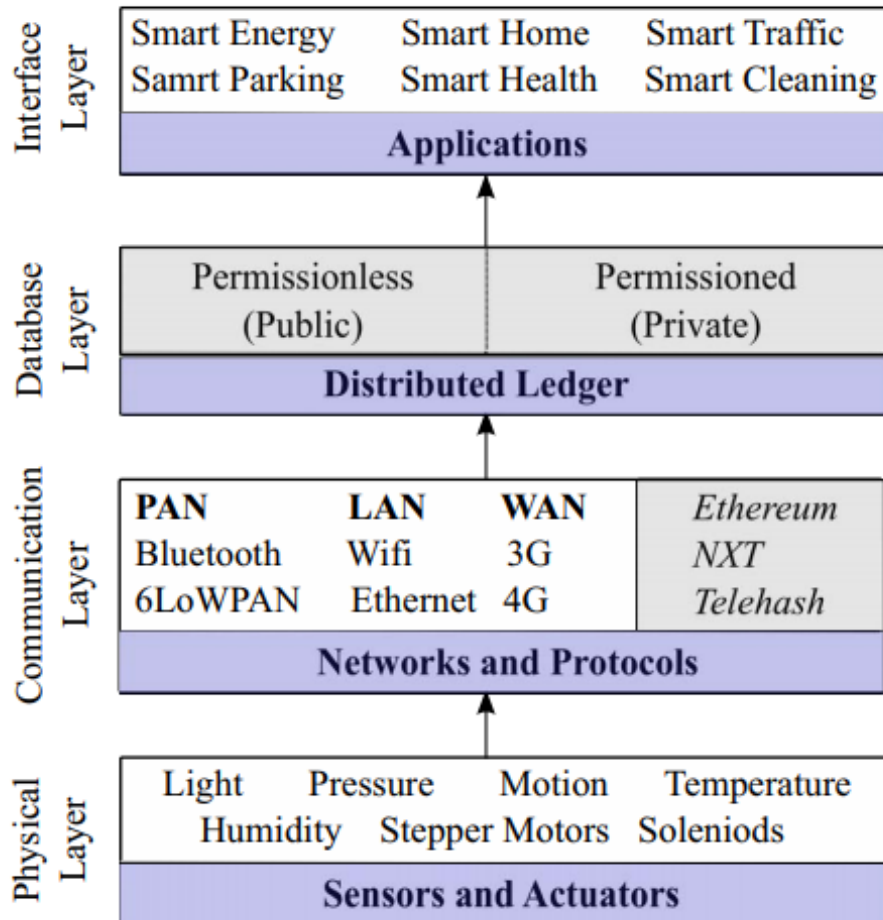


Figura 2.3: Framework para ciudad inteligente segura.

Fuente: [Biswas y Muthukkumarasamy, 2016].

CAPÍTULO 3

PROPUESTA DE SOLUCIÓN

3.1. Introducción a tecnologías disruptivas en ciudades inteligentes

3.1.1. Introducción

La siguiente sección corresponderá a entregar una introducción a ciudades inteligentes, relacionándolas con el avance de tecnologías emergentes en variados campos. Gigantes de la tecnología, tales como Amazon, Uber han sido ejemplos de cómo el saber aprovechar diferentes tipos de tecnologías disruptivas, como inteligencia artificial, cloud computing, entre otras, ha impactado en un cambio radical en la cultura de la sociedad. Reducciones significativas en tiempos de viaje, recomendaciones adecuadas, predicción y mejor satisfacción para los usuarios son mínimos casos de cómo el esfuerzo en cambiar la estructura, e irrumpir con innovaciones únicas mejora la calidad de vida de todos. Por ello, en este material, se busca mostrar y ejemplificar distintas tecnologías disruptivas que han visto la luz en los últimos años y cómo pueden ser parte de los pilares para construir una sociedad basada en el desarrollo sostenible y tecnológico.

3.1.2. Desarrollo

Desde el inicio del siglo XXI, las tecnologías emergentes (o disruptivas, del idioma inglés *disruptive*) han sido las protagonistas del nuevo desarrollo cultural de toda la humanidad. Metodologías para la construcción de ciudades inteligentes sostenibles aún están siendo investigadas, y su implementación debiese ser un punto clave para los gobiernos a nivel global, y así considerar un desarrollo continuo a nivel organizacional, económico, tecnológico y cultural.

Además de la implementación de tecnologías, es necesario comprender los conceptos claves de por qué son relevantes para el desarrollo de una ciudad inteligente, cuales son los beneficios y desafíos a considerar dentro de una ciudad y que se espera en un futuro respecto al avance de las mismas. Así, uno de los primeros pasos a considerar es entender el concepto de una ciudad inteligente.

¿Qué es una *Smart City*?

El concepto de smart city, o ciudad inteligente abarca diferentes definiciones y significados, según qué aspecto de una ciudad es considerado como base. Lo más relevante, es entender qué es una smart city para su población, y aunque el concepto de utilizar tecnologías

inteligentes es tentador, a veces los avances se olvidan de un aspecto importante y mucho más crítico: la sociedad. Así, una definición básica de smart city es aquella ciudad que busca replantear su infraestructura tecnológica de tal manera que se pueda mejorar la calidad de vida de sus ciudadanos. Por lo tanto, el rol de una smart city está enfocado en proveer mejores servicios de salud, oportunidades educacionales, seguridad ante desastres naturales y hechos por el ser humano, libertad y estabilidad política y social, prosperidad económica y de negocios, mejores viviendas, transportes, energías y todas sus utilidades.

Con ello, hay una cierta cantidad de características claves para una ciudad inteligente, las cuales abarcan varias áreas de la sociedad:

- **Completar las necesidades de los ciudadanos**, como educación, salud, vivienda, buena infraestructura, equidad digital.
- **Sostenibilidad/Economía circular**, que incluye gestionar el cambio medioambiental, urbanización y hacer frente al crecimiento de la población y cambio climático.
- **Trabajo y competitividad**, que abarca mejorar la competitividad de la ciudad, crecimiento económico, crear trabajos y programas de re-entrenamiento.
- **Planificación inteligente, y soporte a ciudadanos**, con análisis de datos inteligente, involucramiento amplio de los ciudadanos, retener a la juventud.
- **Infraestructura y recursos**, mejorando servicios clave para los ciudadanos y negocios, confiablemente y efectivo en costo.
- **Tecnología e IA**, usando tecnología inteligentes para soportar necesidades de la comunidad.
- **Seguridad**, que incluye la protección contra ciberataques, desastres naturales, infraestructura protegida, y respuesta a primeras necesidades.

Beneficios, desafíos y preocupaciones en smart cities

Desarrollar una ciudad inteligente sostenible no es solamente buscar, aprender e implementar una tecnología disruptiva en cualquier situación. Es deber de los responsables entender cuales son las necesidades de su comunidad, de tal manera que poner en práctica dichas tecnologías no afecte áreas como el empleo, la inmigración, demografía, la economía urbana o aspectos básicos como la seguridad de sus habitantes. Es más, debido a que en una smart city, la tecnología debe ser accesible para todos los miembros de la sociedad, también permite que ciberdelincuentes aprovechen el aumento de personas conectadas para encontrar nuevas víctimas, por lo que es necesario que es sumamente necesario que, junto a la implementación de herramientas modernas, también exista un desarrollo en el área de

ciberseguridad, generando respaldos, enseñando a los ciudadanos a proteger sus datos personales y utilizar herramientas debidamente protegidas, inclusive para la famosa *blockchain*, que promete ser una tecnología disruptiva segura, pero no está exenta de vulnerabilidades.

Además de los desafíos en ciberseguridad, también se debe poner especial énfasis en lo conocido como *super-automatización*, que en términos simples, se refiere a la utilización cada vez más creciente de herramientas y aplicaciones automáticas para trabajos en cualquier organización. El uso creciente de tecnología permite minimizar costos de manera considerable, además de requerir menos personas para el funcionamiento de las herramientas. Por el otro lado, esto provoca un reemplazando de la mano de obra por máquinas, lo que puede ser considerado una amenaza importante para el progreso y empleo de las personas, por lo que es sumamente importante que los gobernantes sepan definir nuevas áreas laborales y capacitaciones, de tal manera que las máquinas no sean un reemplazante, sino una herramienta más para mejorar el trabajo de las personas.

Junto a la creciente tecnología, la cantidad de datos en movimiento y almacenados también aumenta, requiriendo que los grandes volúmenes de datos sean tratados por disciplinas especializadas, como *big data* y generar un análisis profundo que pueda ser utilizado en cualquier rubro de la ciudad. No obstante a la vez se debe garantizar que la privacidad de las personas sea debidamente protegida y se respeten los derechos individuales de cada uno, con la elaboración de políticas y leyes nuevas por ejemplo.

Aunque se podrían enumerar un sinnúmero de desafíos y preocupaciones, como también es posible evidenciar claros beneficios de su implementación. En resumen, se reconoce que una ciudad inteligente puede lograr los siguientes beneficios:

- Mejor planificación y crecimiento económico.
- Menor polución y reducción en consumo energético.
- Infraestructura mejorada y más rápida.
- Menos viajes laborales y mejores sistemas de transporte.
- Reducción en accidentes de tráfico.
- Mejor control del crimen.
- Mejor acción de respuesta del gobierno
- Mejor costo-eficiencia y competitividad.

Pero a su vez, debe mantener controlados los siguientes desafíos:

- Ciberataques

- Tecno-terrorismo.
- Controles industriales vulnerables
- Debilidades en interfaces humano-máquina.
- Mantenimiento y actualización.
- Interacción humana reducida.
- Desastres naturales.
- Privacidad reducida
- Distorsión de procesos democráticos.

3.2. De comunidad a ciudad inteligente

El Foro de Comunidades Inteligentes (Intelligent Community Forum, ICF), se especializa en evaluar ciudades en todo el mundo mediante jueces debidamente seleccionados, considerando los siguientes criterios para definir si una ciudad ha alcanzado el estado de inteligente, las cuales son:

1. *Servicios de red con ancho de banda suficiente*, que incluye soporte al gobierno, medicina, educación, propiedades privadas y empresas comerciales, considerando sus costos, si estos son competitivos y condiciones operacionales.
2. *Sistemas de transporte inteligente*, que incluye servicios públicos evaluando su calidad y áreas de extensión, automóviles, trenes, transporte aéreo, comprobando su naturaleza e inteligencia, como también servicios aéreos e incluso bicicletas, en términos de su control y respuesta a patrones de tráfico y seguridad.
3. *Sistemas de energía inteligentes y versátiles y grado de sostenibilidad*, evaluando su respuesta y métodos de respaldo para servicios de emergencia cuando hay cortes, y su protección contra ciberataques.
4. *Servicios públicos de alta calidad y gestionados eficazmente*, donde se deben mantener los servicios básicos, como agua, electricidad, desagüe y gas, operando con máxima eficiencia
5. *Sistemas de educación de alta calidad*, donde la viabilidad de una comunidad, ya sea en lo político, económico o futuro cultural debe ser asegurada con un sistema educacional de calidad y entrenamiento según las necesidades de la gente.
6. *Sistemas de salud mejorados*, que incluye cuidado médico, sanitario, deportes y programas de atletismo para mantener la población saludable.

7. *Espíritu comunitario y procesos políticos*, para incrementar la participación ciudadana en tomas de decisiones, desarrollando infraestructura TI nueva y capaz, junto a *software* que asegure su efectiva operación. Además, se debe incluir un proceso político que permita definir sistemas de tal manera que la ciudad opere efectivamente y cumpla con objetivos cívicos, de tal manera que exista una fuerte retroalimentación de ciudadanos en vías de crear un mejor futuro.
8. *Vivienda, trabajos y empleo*, donde una ciudad inteligente debe ser capaz de aumentar las viviendas disponibles, trabajos y empleos significativos, así también asegurar estabilidad fiscal y lograr crecimiento financiero económico sostenido, creando índices importantes para medir el avance de la ciudad.
9. *Estabilidad fiscal, calidad de la planificación financiera y expansión económica*, El bienestar financiero y el crecimiento sostenible, basados en una economía dinámica y una base fiscal viable, están estrechamente relacionados con los puestos de trabajo y los factores de empleo. Esto requiere un equilibrio óptimo dentro de una comunidad, donde un crecimiento de la población desmedido generará problemas tanto en las capacidades de infraestructura, vivienda y trabajos disponibles.
10. *Sistemas de control automatizados seguros y efectivos para toda infraestructura*, como las redes SCADA, algoritmos, robótica, inteligencia artificial pueden mejorar la eficiencia, reducir costos de gobierno y permitir que una ciudad inteligente florezca, ayudando a optimizar la eficiencia energética, aliviar horas punta, mejorar sistemas de transporte, entregar sistemas de utilidad más efectivos, entre otros. Tampoco se debe olvidar que cada sistema implementado debe ser robusto en cuanto a seguridad, como ciberataques.
11. *Servicios artísticos, culturales y librerías*. Una ciudad inteligente no sólo se debe limitar al éxito económico, sino que debe desarrollarse en ámbitos más allá, como en la cultura, arte y deportes, asegurando que sus ciudadanos puedan involucrarse y avanzar en todo ámbito al mismo nivel que en política financiera y económica.
12. *Sostenibilidad de crecimiento y desarrollo*, que involucra dimensiones económicas, políticas, culturales, de salud, educación, tecnológicas, considerando el bienestar de sus ciudadanos y asegurando una economía circular, con un control de desechos, uso de energías limpias y minimizar la contaminación.
13. *Planificación eficaz e integradora a largo plazo para acomodar el crecimiento*, existen siete puntos claves que una ciudad considera para su crecimiento: población, medioambiente, energía, gobierno, economía, cultura, religión y coherencia lingüística, y tecnología. Un plan exitoso para una ciudad inteligente siempre considera todos sus factores clave, no sólo algunos, para asegurar el avance a través del tiempo.
14. *Visión a largo plazo*, donde es deber de los líderes de la ciudad, trabajadores públicos y la comunidad mantener una visión que va más allá de los logros inmediatos, con objetivos y metas comunes a largo plazo para asegurar la mejora continua y evolución positiva, y alcanzar una verdadera *smart city*.

Cada uno de los puntos de la IFC no son sólo limitados a estos criterios, sino que pueden existir muchos más siempre en vías de garantizar el bienestar de la sociedad, e implementar beneficios, por ejemplo, con las tecnologías disruptivas, pueden otorgar.

3.2.1. Conclusiones

El desarrollo de una *smart city* no está solamente ligado a que tan alto son sus niveles tecnológicos aplicados a la sociedad. No pueden existir tecnologías disruptivas para ciudades si sus áreas de utilización no implican una mejor calidad de vida para las personas. Por ello, para entender el buen uso de las nuevas herramientas, aplicaciones y dispositivos que dichas tecnologías pueden brindar, es necesario analizar de manera consciente, cada una de las características que conforman una ciudad inteligente, tomando en cuenta los beneficios y desafíos propios de su implementación.

De manera general de esta sección, se concluye que existe una multitud de áreas que una *smart city* puede mejorar si se implementan de manera efectiva. Dentro de ello, los servicios de transporte, salud, internet y educación se observan los más llamativos, y posiblemente, los que puedan abarcar a un mayor rango de personas que aprovechen de la mejor manera sus beneficios, por lo que desarrollar tecnologías disruptivas en dichas áreas es un punto calve a considerar.

Otro punto clave que se logra concluir de esta sección, es la importancia de fomentar una comunidad *inteligente* para la ciudad dado que las personas serán los principales involucrados y beneficiados dentro de las soluciones que provee cada tecnología, por lo que es vital que sepan cómo usar cada herramienta y dispositivo, y que sean capaces de entregar sus opiniones frente a las nuevas aplicaciones y aparatos, esperando que las tecnologías no sólo sean utilizadas por personas de mayores recursos, sino por cada individuo para aprovechar al máximo las ventajas que provee una ciudad inteligente.

3.2.2. Referencias

- Pelton J.N., Singh I.B. 2019. The Coming Age of the Smart City. In J.N. Pelton & I. B. Singh (eds.) *Smart Cities of Today and Tomorrow: Better Technology, Infrastructure and Security* (pp.1-27). Cham: Copernicus.

3.3. Internet de las Cosas

3.3.1. Introducción

El internet de las cosas (o IoT, del inglés *Internet of Things*) es uno de los conceptos directamente relacionados con el desarrollo de una ciudad inteligente, vinculándose directamente con diferentes disciplinas, que puede incluir sensores inteligentes conectados a la nube, dispositivos de monitorización de tráfico, iluminación inteligente, como también la capacidad de conectar *smartphones*, computadores, refrigeradores, aire acondicionado, y muchos otros dispositivos a través de internet. Esto ha permitido que ideas imposibles hace un par de años estén siendo en la actualidad continuamente implementadas y mejoradas, manteniendo la relación humano-máquina más cercana que nunca.

Esta sección busca introducir conceptos iniciales del paradigma de *IoT*, lo que abarca un breve desarrollo de conceptos iniciales, aplicaciones en tecnologías de ciudades inteligentes, aplicaciones prácticas y reales en las ciudades inteligentes y conclusiones generales del desarrollo de internet de las cosas.

3.3.2. Desarrollo

Dentro de los principales atractivos del Internet de las Cosas, es abarcar una amplia gama de disciplinas, lo que incluye dispositivos electrónicos como sensores y cámaras, el análisis de datos de la información obtenida, la transmisión por diferentes canales de red para ser almacenadas en la nube, entre otras, lo que requiere que el campo sea profundamente estudiado, requiriendo profesionales de diferentes áreas. Según Mckinsey, se estima que para el año 2025, IoT tendrá un impacto económico de 11 billones de dolares, que a su vez podría ser el equivalente al 11 % de la economía mundial. Con ello, también se espera que 1 billón de dispositivos IoT estarán en continuo funcionamiento, por lo que es sumamente importante la labor profesionales capacitados para enfrentarse al futuro escenario, que requiere conocimiento de tecnologías en tiempo real.

Internet de las Cosas: Conceptos iniciales

El paradigma de Internet de las Cosas implica relacionar dos conceptos claves: "internet de las cosas". Con internet, una definición sencilla abarca a las aplicaciones y protocolos conectados a través de una red de computadores de manera global, que permiten a millones de usuarios comunicarse sin parar. No obstante, al hablar de las "cosas", parece que cualquier entidad pudiese conectarse al internet. Dichas entidades, para caber dentro del IoT, requiere que sean capaces de permitir la comunicación y transmisión de su información a través del internet, como sensores, teléfonos inteligentes e incluso humanos, las 24 horas.

Aplicaciones de Internet de las cosas

Considerando los avances que IoT abarca dentro del paradigma, y con lo ya discutido previamente, múltiples áreas pueden verse beneficiadas con el uso de tecnologías inteligentes en la infraestructura de la red. Desde aplicaciones enfocadas en la industria [Yuqiang *et al.*, 2010], aviación, sistemas automáticos [Gascon y Asin, 2020], salud, construcciones o compras inteligentes, son algunos ejemplos de la variedad de soluciones que pueden aportar en ciudades inteligentes.

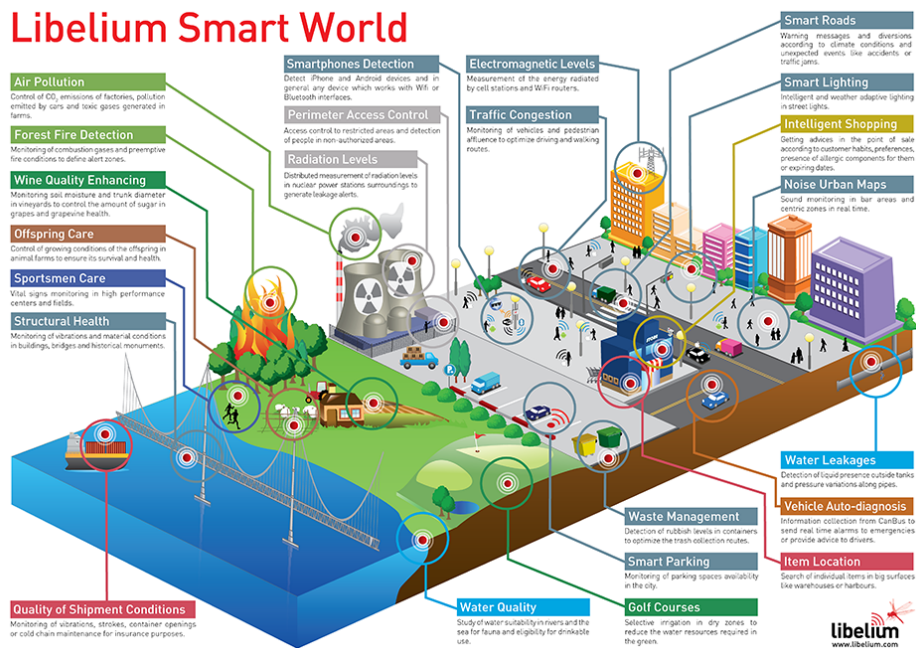


Figura 3.1: Tipos de sensores en un mundo inteligente.

Fuente: Libellium.com.

En la Figura 3.1, se observa a modo de resumen, un compilado de distintas aplicaciones de IoT, pensando en un mundo más desarrollado, incluyendo no sólo ciudades inteligentes, sino otros servicios que están intrínsecamente relacionados a las urbes. Dentro de los 50 tipos de aplicaciones, se destacan las siguientes iniciativas centralizadas en ciudades inteligentes:

1. **Estacionamiento inteligente:** Monitoreo de espacios libres en estacionamientos para ciudades.
2. **Salud estructural:** Monitoreo de vibraciones y condiciones de los materiales en edificios, puentes y monumentos históricos.
3. **Mapas de ruido urbano:** Monitoreo del sonido en áreas de bares y zonas céntricas en tiempo real.

4. **Detección de smartphones:** Detectar dispositivos inteligentes en general, incluyendo smartphones u otros dispositivos que requieran WiFi o Bluetooth.
5. **Niveles de campos electromagnéticos:** Medición de la energía irradiada por estaciones celulares y *routers* WiFi.
6. **Congestión del tráfico:** Monitoreo de niveles de vehículos y peatones para optimizar rutas de conducción y a pie..
7. **Iluminación inteligente:** Luminarias en calles de manera inteligente, adaptativas al clima y a la luz natural.
8. **Gestión de desechos:** Detección de niveles de basura en contenedores, para optimizar las rutas de recolección.
9. **Caminos inteligentes:** Autopistas inteligentes con mensajes de advertencia y desvíos de acuerdo a las condiciones climáticas y eventos inesperados, como accidentes, o congestión vehicular.

Junto a lo anterior, y para concretar específicamente los tipos de aplicaciones que podrían encontrarse dentro de IoT, se pueden categorizar de tres maneras:

1. **Control y Accionamiento:** En la actualidad, el uso de APIs para monitorear y controlar dispositivos puede ser aplicado en diversos dominios. Dentro de sus principales ventajas, se encuentran la posibilidad de enviar datos de rendimiento, uso de energía y generar acciones programadas a partir de sensores con anterioridad, permitiendo que otras aplicaciones puedan tomar las APIs, idealmente de manera gratuita y proveer análisis y manejo de datos de una manera más compleja a partir de su información. Algunos ejemplos incluyen **medidores inteligentes**, de electricidad, agua o temperatura, formando incluso una **red eléctrica inteligente**, permitiendo el monitoreo y participación del almacenamiento, transmisión y consumo energético, y detectar anomalías en tiempo real para todas las partes de la red así como descentralización del flujo.
2. **Procesos de negocio y análisis de datos:** Respecto al uso de IoT en el análisis de datos, Riggins et al [Riggins y Wamba, 2015] identifica cuatro niveles:
 - Nivel Sociedad, con IoT empleado para mejoras a nivel de gobierno, infraestructura y servicios para mejorar su eficiencia y transparencia.
 - Nivel Industrial, centrado en las industrias de fabricación, *retail*, y servicios a nivel empresarial.
 - Nivel Organizacional, que aplica las mismas ventajas que a nivel sociedad, pero centrado a organizaciones particulares.
 - Nivel Individual, que mejora la calidad de vida y eficiencia de individuos.

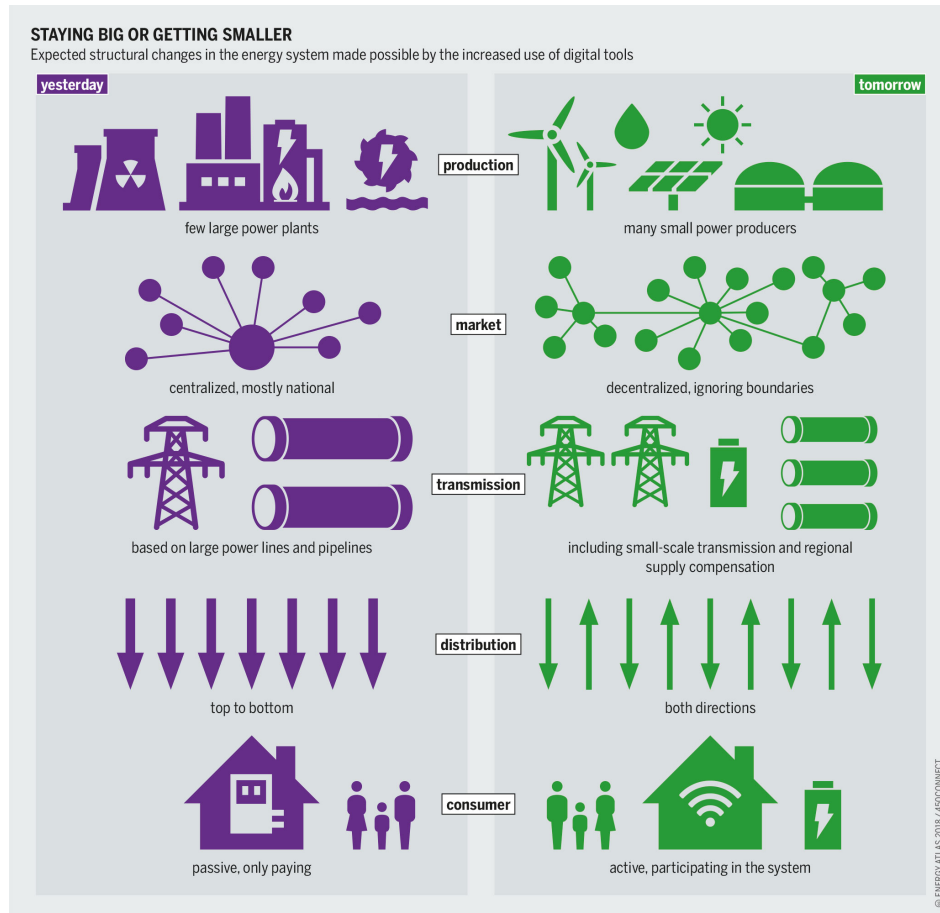


Figura 3.2: Comparación entre red eléctrica tradicional y red eléctrica inteligente.
Fuente: Bartz/Stockmar, Energy Atlas, CC BY 4.0.

3. **Recolección de información y consumo colaborativo:** El uso de las conocidas redes sociales han llevado a que la utilización de dispositivos inteligentes tomen mayor relevancia en la gran mayoría de las personas, dando paso al **SIoT** (*Social Internet of Things*), que promete unir los objetos alrededor con las redes sociales, permitiendo un uso mucho más atractivo e inteligente”. Con lo anterior, y tomando ejemplos como Facebook o Twitter, es posible analizar las relaciones y comunidades en las redes, para proveer servicios IoT mucho mejor localizados, ampliando el paradigma hasta el “*metaverso*” en el que *Meta* (anteriormente Facebook) plantea embarcar a las comunidades, aprovechando las ventajas de los aparatos IoT, como realidad virtual y aumentada (VR/AR), y desarrollar un nuevo mundo de posibilidades enfocado en las redes sociales por internet.

3.4. Aplicaciones actuales de Internet de las Cosas

Dentro de las principales aplicaciones, internet de las cosas puede ser utilizado en varias áreas de una ciudad, funcionando tanto como el principal componente como también un puente para otras tecnologías relevantes. Algunas aplicaciones como ejemplo en ciudades inteligentes son:

- **Superfast Wifi y 5G en Ciudad de Sunderland:** En la actualidad, el ayuntamiento de Sunderland está buscando convertir la ciudad en una de las más avanzadas smart cities del mundo, potenciando el uso de grillas de energía solar, además de potenciar el uso de redes IoT conexión entre campus de universidades, además de contar con “Superfast Wif” un wifi de alta velocidad para apoyar a los estudiantes de uso público, además de contar con laboratorios 5g para probar futuras implicaciones de la tecnología en la fabricación, salud y otros sectores.
- **Smart Parking en City of Huntington Park, California:** Un caso actual de uso de IoT, abarca el sistema de aparcamiento inteligente para automatizar el estacionamiento de vehículos. El sistema contiene sensores que ayudan a identificar las plazas vacantes en las zonas de aparcamiento y a encontrar fácilmente una plaza libre. Según Laura Tate, el uso de este sistema ahorra tiempo a los conductores, al facilitar la búsqueda de estacionamiento y costes de combustible, evitando que los conductores den vueltas innecesarias para estacionar. Las redes de IoT, como LoraWan e IoT de banda estrecha, ayudan a ampliar estos proyectos de estacionamiento, Ayudando a las ciudades y a los propietarios de estacionamientos a agilizar el proceso de pago y a aumentar los ingresos [Tate, 2021].
- **New York City, ciudad inteligente modelo:** Actualmente la ciudad de New York, se encuentra entre las mejores ciudades inteligentes del mundo, presentando múltiples proyectos enfocados en mejorar la calidad de vida de la ciudadanía. Entre ellos, McKinsey & Company [Woetzel *et al.*, 2018], en un reporte de las ciudades más avanzadas, declara que para 2025, en la ciudad de New York, el tiempo de viaje entre trabajo y hogar, se vería reducido en 15 minutos en promedio solamente enfocándose en aplicaciones del estilo de transporte público, ahorrando incluso hasta 30 minutos de tiempo de viaje utilizando sensores IoT, por ejemplo, para predecir el comportamiento del tránsito .

3.4.1. Conclusiones

Implementando IoT en una ciudad inteligente permite abarcar una gran cantidad de áreas de uso, que además requieren también la utilización de otras tecnologías de apoyo para su correcta utilización. Se observa que el uso de tecnologías IoT representan una base para una

infinidad de aplicaciones, donde el tráfico, el uso de energía, el monitoreo del medioambiente, redes WIFI y 5G para comunicación constante, son sólo un par de ejemplos prácticos de uso cotidiano, y en un futuro serán la norma para mejorar nuestra calidad de vida.

Junto a lo anterior es necesario considerar el apoyo de políticas y capacidades por parte de los gobiernos para lograr la coordinación de diferentes tecnologías, ya sea de manera pública o con el apoyo de privados, para implementar Internet de las cosas, llegando a ser vital el uso de marcos de referencia internacionales si es necesario, o coordinar la estrategia junto a otras ciudades más avanzadas.

3.4.2. Referencias

- Batalla, J. M., Mastorakis, G., Mavromoustakis, C. X., y Pallis, E. (2017). Beyond the Internet of Things Everything Interconnected. Springer International Publishing

3.5. Fundamentos de *Blockchain*

3.5.1. Introducción

Considerando las principales ventajas de las cadenas de bloques (*blockchain*), la anonimidad, descentralización, persistencia o seguridad, son algunos puntos que hacen atractiva su implementación. Las criptomonedas, como Bitcoin, deben su existencia a estas estructuras, y prometen ser el futuro de las divisas internacionales independientes, demostrando además que su potencial no sólo se limita al mundo de los negocios, sino que puede ampliarse hacia servicios del día a día, llegando hasta las IoT. En esta sección, se espera introducir los principales conceptos de *blockchain*, cómo funciona, de manera superficial, en un punto de vista tecnológico, y las ventajas en sus aplicaciones, en miras de un desarrollo en ciudades inteligentes.

3.5.2. Desarrollo

El hito más relevante de *blockchain* son las criptomonedas, principalmente con el nacimiento de Bitcoin, que durante el último año, ha visto unas variaciones considerables, principalmente debido a la influencia del mercado asiático, superando su valor máximo incluso para noviembre de 2021 sobre los US\$ 66.000 [Moreno, 2021] lo cual ha impulsado diferentes divisas con el mismo principio y motivado a inversores de todo el mundo a ser parte de esta nueva tendencia.

Arquitectura de *Blockchain*

Blockchain, como su traducción sugiere, es una cadena de bloques, donde dichos bloques, se encuentran ordenados en forma de secuencia, manteniendo la información como una lista completa de registros de transacciones, similar a un libro de contabilidad público convencional [Lee Kuo Chuen, 2015]. Cada bloque apunta a un valor *hash*, referenciando su bloque predecesor, o *padre*, donde además, para el caso de *ethereum*, también es posible encontrar bloques hijos de un mismo padre (*uncle blocks* o bloque tío). El bloque inicial es llamado bloque *génesis*, que como su nombre implica, no posee un padre. En la figura 3.3 se observa una estructura básica de la cadena, donde sucesivos bloques referencian a un valor *hash* de su bloque padre, hasta alcanzar el bloque *génesis*.

De manera específica, un **bloque** se encuentra formado por un **encabezado** (*header*) y un **cuerpo** (*body*). Para el encabezado, es posible encontrar las siguientes partes:

- **Versión del bloque:** Indica cual es el conjunto de reglas para validar los bloques.

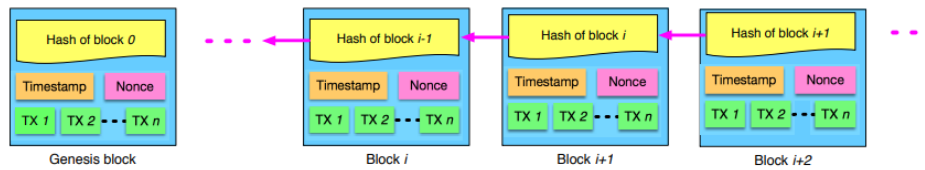


Figura 3.3: Diagrama de ejemplo de una cadena de bloques
Fuente: Zheng, Z et al.

- **Hash del bloque padre:** Es un valor *hash* de 256 bits que apunta a su bloque predecesor.
- **Hash de la raíz del árbol de Merkle:** Valor *hash* de todas las transacciones del bloque.
- **Marca de tiempo:** La marca actual de tiempo en segundos, a partir de 1970-01-01T00:00 UTC.
- **nBits:** Valor *hash* que representa al objetivo (*target*) actual, en formato compacto. Varía según la dificultad actual, y determina el mínimo objetivo que debe cumplir el bloque.
- **Nonce:** Un campo de 4 Bytes, que inicia con 0, y aumenta cada vez que ocurra un cálculo de un *hash*.

Para el caso del encabezado, se encuentra un contador de transacciones y una lista de ellas, limitadas por el tamaño disponible del bloque y cada transacción. Respecto a la validación de autenticidad de las transacciones, se suele utilizar **firmas digitales** para comprobar que la información enviada es verídica entre usuarios. Por ejemplo, para la primera fase, conocida como **firma**, el valor *hash* obtenido del bloque es encriptado mediante una clave privada por el primer usuario, enviándolo de manera segura a otro usuario. Para la segunda fase de **verificación**, este usuario toma la información encriptada, y la descifra mediante una clave pública del primer usuario, verificando que el hash descifrado es equivalente a la información del bloque *hasheado* por el primer usuario. En la figura 3.4 se puede apreciar de manera gráfica lo presentado por Zheng et al. en su estudio.

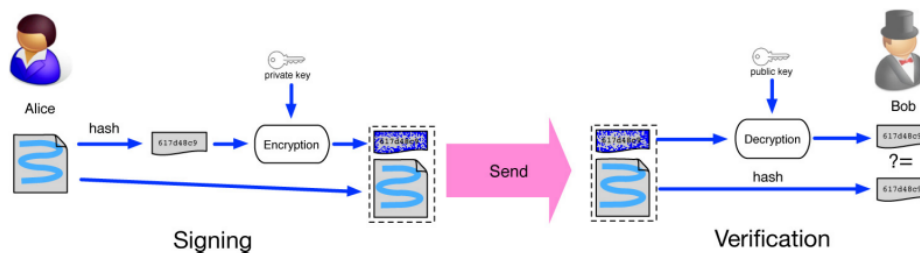


Figura 3.4: Ejemplo de verificación de transacciones
Fuente: Zheng, Z et al.

Características claves de Blockchain

De manera fundamental, *blockchain* cuenta con las siguientes características:

- **Descentralización:** En sistemas clásicos, las transacciones son validadas por una entidad central de confianza, como bancos, lo que genera una fuerte dependencia de la calidad de los servicios que proveen, como servidores, internet, etc. En *blockchain*, dado que la red se mantiene según la interacción entre pares (P2P), no existe una entidad que genere retrasos en las transacciones.
- **Persistencia:** Debido a que las transacciones en la red deben ser confirmadas y almacenadas en los bloques por toda la red, es prácticamente imposible su manipulación indebida. Además, cada bloque también podría ser validado por otros nodos, lo que aumenta la capa de seguridad y evita falsificaciones.
- **Anonimidad:** Los usuarios dentro de *blockchain* interactúan con direcciones generadas por la red, sin ocupar directamente sus datos personales, como en sistemas tradicionales. Incluso, es posible para una misma persona mantener varias direcciones para aumentar la capa de anonimidad, que además implica una cierta capa de privacidad a las transacciones.
- **Auditabilidad:** Al almacenar una marca de tiempo en cada bloque, resulta mucho más rápido de verificar los registros en la cadena, permitiendo incluso revisar de manera iterativa cada bloque involucrado.

Algoritmos de consenso

El consenso en *blockchain*, de manera concreta, establece métodos que permitan garantizar que los datos transmitidos a través de los bloques es confiable, sin necesidad de contar que los nodos o usuarios involucrados sean confiables, ya que los algoritmos permiten asegurarlo. Dicho problema está relacionado directamente con el de los generales bizantinos [Lamport *et al.*, 2019], donde los generales deben atacar al mismo tiempo al enemigo, pero no es posible comunicarse de manera confiable entre ellos por posibles traidores. Así, se plantean diferentes maneras de solucionarlo en *blockchain*

1. **Prueba de Trabajo:** Esta estrategia, conocida como PoW (*Proof of Work*) fue planteada en sus inicios sobre Bitcoin [Nakamoto, 2008], conocida por ser requerir alta capacidad de procesamiento para la autenticación. En este método, cada nodo de la red está constantemente calculando un valor hash del encabezado del bloque, que a cada instante varía. Para visualizar de mejor manera el consenso, se puede definir los siguientes pasos:

- a) El consenso requiere que el *hash* calculado sea menor que un cierto valor. Así, todos los participante de los nodos calculan dicho valor según diferentes *nonces*, hasta alcanzar el objetivo deseado. Cabe mencionar que la obtención de un *nonce* es un proceso bastante complejo, dado que deberá ser un número aleatorio, relacionado con el *hash*, que debe ser menor al objetivo. Si no se encuentra el número, se debe repetir nuevamente el proceso para el nodo [Maldonado, 2020].
- b) Cuando uno de los nodos obtiene el valor deseado, todos los demás deben confirmar mutuamente que dicho valor está correcto.
- c) Luego de la confirmación, se debe validar que las transacciones, en el nuevo bloque aceptado no poseen fraudes.
- d) Así, con el conjunto de transacciones aprobadas y autenticadas, permite generar un nuevo bloque en la cadena.

Así, los nodos que calculan los *hashes* en la red, son los conocidos **mineros** en PoW, que se encargan de minar en la red. Dado que se requiere bastante poder computacional para los cálculos respectivos, se ofrece una parte de Bitcoins en este caso, como un incentivo a los mineros.

En una red descentralizada como en la que se realizan los pasos anteriores, puede ocurrir que varios nodos generen un bloque válido al encontrar un *nonce* adecuado casi al mismo tiempo. Con ello, se generan dos ramas, donde los mineros trabajan, digamos B y G. Si un nuevo bloque es agregado después del ya mencionado, por ejemplo en B, todos los mineros de G saltan a la rama de B, dejando los demás bloques *huérfanos*. Cuando se crean 6 bloques en B, al menos en Bitcoin, se considera como rama válida.

2. *Prueba de participación*: La PoS, o *Proof of Stake*, es una alternativa a los costos energéticos que provoca el procesamiento en PoW. Se basa fundamentalmente en que los participantes demuestren propiedad sobre una cierta cantidad de monedas, ya que es creíble que ha mayor cantidad de inversión en la red, menor probabilidad de que esa persona realice un ataque en ella. No obstante, debido a que la persona más rica podría tener el control total de la red y generar los bloques de manera individual, puede generar rechazo por los demás participantes.

Para solucionar ese problema, se han planteado varias soluciones.

- *Blackcoin*: Mediante un número aleatorio, busca quien será el siguiente generador, en relación al tamaño de su participación en la red.
- *Peercoin*: Se basa en la antigüedad de las monedas. Si el participante tiene monedas más antiguas, tendrá mayor probabilidad de ser el siguiente minero del bloque nuevo.
- *Pruebade actividad*: Combina PoW y PoS, requiriendo que un bloque minado debe ser registrado por una cierta cantidad de mineros para ser válido. Así, si un minero posee el 50 % de las monedas, no podrá controlar la creación del bloque.

- *Burstcoin*: Basado en "prueba de capacidad" como un tipo de participación, requiere que los mineros deban asignar grandes espacios en disco para minar un bloque.
3. *Prueba de participación delegada (DPoS)*: En términos simples, se diferencia de PoS, en que este es una democracia directa, mientras que en DPoS, es una democracia representativa: Los interesados o *Stakeholders* eligen a sus delegados, quienes serán los encargados de minar el bloque. Con ello, se reduce significativamente los nodos para validar y su confirmación es mucho más rápida, afinando los parámetros como el tamaño del bloque o intervalos de manera más personalizada. Junto a lo anterior, la seguridad se mantiene, ya que si un delegado llega a ser un riesgo para la red, se puede votar para su retirada.
 4. *Tolerancia a fallas bizantinas práctica (PBFT)*: Se busca de manera general evitar las fallas bizantinas, al existir nodos que tengan comportamientos maliciosos. La gran ventaja es que puede manejar hasta un tercio de nodos maliciosos replicados. En términos simples, al generar un nuevo bloque, se inicia un *round*, donde se escoge un líder, quien ordena las transacciones. además, cada round se divide en otras tres fases, donde, para que un nodo pueda avanzar en ellas, es requerido que dos tercios de los nodos participantes voten por su validez. Con ello, se observa que no existe un proceso de *hashing* como en los demás consensos, ya que todos los nodos deben ser conocidos en la red.

Aplicaciones de Blockchain

Con las principales definiciones de *blockchain*, su potencial puede ser aplicado a diversas áreas de la tecnología, que abarcan términos específicos como sensores, redes eléctricas o análisis de datos, como puntos más generales, como **Finanzas, IoT, Servicios públicos y sociales, Sistemas de reputación, y Seguridad y privacidad.**

1. **Finanzas**: Dentro de las principales aplicaciones de *blockchain* se encuentra el mundo de las finanzas, que incluyen una variedad de criptodivisas con diferentes métodos implementados, y que proponen una alternativa a los grandes sistemas bancarios, con las ventajas ya mencionadas de descentralización y reducción de riesgos y costos por la dependencia de sistemas únicos. Junto a lo anterior, sistemas a nivel de transformación empresarial también pueden ser potenciados con *blockchain*. Además, yendo a un punto más cercano a ciudades inteligentes, para Oficinas Postales [Jaag y Bach, 2017], dado que funcionan como intermediarios entre clientes y vendedores simplemente, se estudió que era posible generar una especie de "moneda de correos" para aumentar el tipo de servicios provisto, considerando la gran confianza intrínseca que poseen y sus conexiones con el *retail*.

2. **Internet de las Cosas:** Como se ha mencionado en otras secciones, IoT abarca una amplia gama de tecnologías en todo rubro, y *blockchain* no es la excepción. Uno de los grandes atractivos de IoT está en el *E-business*, donde se puede utilizar *blockchain* como moneda para intercambiar "bienes digitales", como datos de sensores, aplicaciones o información en general, sin necesidad de recurrir a entidades bancarias, utilizando sólo intercambio entre criptomonedas (IoTcoins, por ejemplo, que representan las "propiedades digitales.^{en} IoT, con Bitcoins) de manera directa [Zhang y Wen, 2015]. Otro punto relevante incluye la seguridad y privacidad en IoT, donde es posible mantener sistemas de monitoreo automático, donde mediante *blockchain* se puede garantizar la autenticidad de la información sin necesidad de intermediarios [Hardjono y Smith, 2016].
3. **Servicios públicos y sociales:** Otro tema relevante que impulsa a *blockchain* como uno de las tecnologías emergentes más prometedoras es su aplicación a servicios que puedan ser aprovechados en ciudades inteligentes y sostenibles, tales como:
 - **Registro de propiedades:** Una de las formas básicas de uso de *blockchain* para servicios públicos, es el registro de bienes raíces y propiedades, donde la información de adquisición, transacciones y datos relevantes pueden ser almacenados y publicados en *blockchain*, donde la compraventa de los derechos de propiedad puede ser rápidamente registrado en los bloques, mejorando la eficiencia de los servicios públicos.
 - **Ahorro energético:** Otro método atractivo de promover energías limpias, es lo propuesto por Gogery y Zitoli: "solarcoin"[Gogerty y Zitoli, 2011], que busca generar criptomonedas a partir de métodos de minado con energía solar, y premiar con las mismas a aquellos usuarios no mineros que también usen energía solar.
 - **Educación:** En materia de la creciente educación online, el uso de criptomonedas por parte de profesores y estudiantes permitiría que, por instancia, generar una *blockchain* de aprendizaje generados por los docentes, y a medida que se logran objetivos, se premia con dicha moneda, para ser utilizada en futuros cursos u otras instancias que requieran costos [Devine, 2015].

En general, en el estudio realizado por Zheng et al., cabe destacar que dentro de las principales opciones para utilizar *blockchain* abarca la creación de contratos y firmas digitales, como matrimonios, impuestos o patentes, que reducirían cuellos de botella en los servicios, y proveer ahorros en costos ecológicos, como papel.

4. **Sistemas de reputación:** Continuando, otro punto relevante es la utilización de *blockchain* para sistemas de reputación, que se enfoca principalmente en la administración o categorización de que tan confiables son las personas que integran una comunidad. Por ejemplo, en el caso de portales y comunidades en internet, si se realiza una transacción donde un usuario A le envía a B un documento digital, B puede enviar de regreso un puntaje, a través de un valor *hash* y claves públicas/privadas, los mineros pueden contactar con ambos usuarios para comprobar, a través de *blockchain* si no existen

fraudes, lo que evita vulnerabilidades en los sistemas, reconocidos por ser fácilmente manipulables con usuarios falsos.

5. **Seguridad y privacidad:** Finalmente, dado lo expuesto con anterioridad, aplicaciones en el ámbito de la seguridad y privacidad suelen beneficiarse en gran medida de la arquitectura de *blockchain*. Uno de las técnicas habituales en la seguridad es el reconocimiento de patrones habituales en cuanto a vulnerabilidades. Usualmente, dichos patrones son almacenados en sistemas centralizados, con las falencias propias de dichos sistemas, hasta verse incluso vulnerables a ataques. Por ello, con *blockchain*, es posible generar mejoras hacia un sistema de red distribuido, donde sirve como soporte para el almacenamiento de la información medular. Así, BitAV [Noyes, 2016] es un ambiente *anti-malware*, que siguiendo el mismo principio, distribuye dichos patrones en la red a través de *blockchain*, mejorando sustancialmente la transmisión de la información relevante, manteniendo un ambiente seguro.

Desde el punto de vista de privacidad, es bastante conocido los problemas que ha tenido Meta y Facebook, que ha afectado la integridad de sus usuarios a nivel mundial, estando expuesta la información de 500 millones [Kelly, 2021] de personas. Dicha información, y que involucra no sólo a Meta, sino a cualquier aplicación que administra datos personales, se suele encontrar en servidores centrales, susceptibles a ataques y divulgación de información. Por ello, *blockchain* puede ser utilizado como una manera para descentralizar los sistemas, permitiendo que los usuarios mantengan propiedad sobre sus **datos, transparencia, auditabilidad** y acceso mucho más personalizado que los sistemas tradicionales.

Aplicaciones actuales de Blockchain

- **Dubai Blockchain Strategy:** Dubai es reconocida por ser una de las ciudades líderes en innovación en la región del Oriente medio, y mediante una propuesta impulsada por el Jeque Hamdan, junto a la Digital Dubai Office y la Dubai Future Foundation, desde el 2020 se está trabajando en la Dubai Blockchain Strategy, buscando que la ciudad sea la pionera en utilizar Blockchain como base para garantizar el bienestar de Dubai y el planeta. Para ello, se basan en tres pilares: Eficiencia de gobierno, Creación industrial y Liderazgo internacional. En la actualidad, junto a IBM y Consensus, se está trabajando en una serie de *Workshops*, para identificar servicios prioritarios. Según las estimaciones realizadas, se espera que la estrategia involucre unos 5,5 billones de dirham (1,5 billones de dólares) en ahorro anualmente sólo en el procesado de documentos, lo cual promete ser revolucionador para todas las ciudades del mundo. Con ello la estrategia busca generar una plataforma para compartir recursos e iniciativas, para impulsar el avance de blockchain en todas las ciudades del planeta [Digital Dubai, 2020].
- **e-Estonia, primera nación digital:** Debido a fuertes ataques DDoS, Estonia ha sido uno de los pioneros en utilizar blockchain como base para la transformación digital, incluso

antes de su masificación a nivel global. Actualmente, el país trabaja en la implementación de e-Estonia, un país digitalizado que establece una armonía entre el desarrollo urbano y el digital mediante sistemas convencionales para ambas infraestructuras. Uno de los programas más populares es el de la residencia electrónica, que demuestra la idea de un entorno empresarial ampliamente accesible. Con el sistema de identidades digitales, todos los que viven en la Unión Europea pueden establecer a distancia una institución en Estonia. De este modo, la solución elimina las fronteras geográficas, reduce el papeleo y ahorra tiempo a los empresarios europeos. Además, desde 2017, se ha trabajado junto a Bitnation, una empresa enfocada en blockchain, para la implementación de un notario público digital, siendo la Capital Tallin el foco para diferentes iniciativas startups para blockchain [Yafimava, 2019].

- **Transformación digital en Yinchuan:** Siendo sólo la primera de 1000 ciudades chinas a ser transformadas digitalmente, el gobierno a empezado un plan de reemplazo de documentos, tickets y otras credenciales con ID de reconocimiento facial para Yinchuan, para impulsar el desarrollo tecnológico. Con ello, los ciudadanos no requieren comprar tickets para el transporte público, sino que con software de escaneo facial enlazados a cuentas de bancos, se retira directamente el dinero, así también para adquirir alimentos, los usuarios utilizan sólo aplicaciones para comprar, sin necesidad de compras físicas. Respecto a Blockchain, en 2017, el Comité Nacional de Expertos en Tecnología de seguridad financiera en Internet presentaron Directrices sobre el cumplimiento de Blockchain, lo cual representa uno de los primeros pasos para vincular de manera gubernamental blockchain con el uso de tecnologías habituales por los usuarios, como el reconocimiento facial [Yafimava, 2019].

3.5.3. Conclusiones

De esta sección, se observa que la rama de *blockchain* está en constante evolución en búsqueda de proveer un método confiable, pero a la vez reducido en costos, y que es fundamental que los profesionales generen nuevas investigaciones en el área, y sean participantes continuos, no sólo como dueños de criptomonedas, sino como una nueva tecnología que apoye al desarrollo sustentable de las ciudades inteligentes.

Se ha observado que dentro de los principales desafíos que impone la implementación de *blockchain* es la cantidad enorme de recursos que consume, lo cual no se limita solamente al uso de energía de procesamiento, sino también de manera eficiente. Se ha observado que Bitcoin es bastante lento para generar nuevas monedas, considerando la cantidad de energía que demanda, por lo que requiere en general, si se desea sustentar las criptomonedas como un nuevo tipo de divisa confiable, solucionar problemas de almacenamiento y diseño en general. Otro desafío que se observa es en el diseño mismo de las cadenas y la privacidad de los involucrados. Se suele creer que *blockchain* no posee fallas en esta materia, al contrario dado que los valores de las transacciones son de conocimiento público en la red, podría permitir que se rastree y se vincule transacciones en la red con datos personales de usuarios.

Finalmente, se espera que a futuro, *blockchain* pueda potenciar su uso en varios ámbitos de las tecnologías de la información, como inteligencia artificial, para resolver los problemas de manera más eficiente, o establecer enlaces con Big Data para realizar análisis con datos de manera más segura, con todas las implicaciones que requiere estudiar sus aplicaciones a las ciudades inteligentes.

3.5.4. Referencias

- Zheng, Z., Xie, S., Dai, H-N., Chen, X. and Wang, H. (2018) 'Blockchain challenges and opportunities: a survey', *Int. J. Web and Grid Services*, Vol. 14, No. 4, pp.352-375.

3.6. Fundamentos de Inteligencia Artificial y *Machine Learning*

3.6.1. Introducción

El concepto de Inteligencia Artificial (IA, o AI, en inglés), junto a "*Machine Learning*" (ML) o Aprendizaje Automático han captado la atención de áreas de todo rubro, desde análisis de datos médicos, búsqueda en la web, sistemas de recomendación, como también negocios y finanzas, demostrando que cada vez es más necesario implementar en ciudades modelos que permitan reducir costos y mejorar tiempos, así como proveer a los habitantes de servicios de calidad y personalizados, con mínimo esfuerzo de las personas. Con lo anterior, estas disciplinas no deben ser tomadas a la ligera. ML & AI son dos ramas que fácilmente pueden abarcar un curso completo por separado, por lo que en esta sección se busca introducir de manera superficial los conceptos claves de cada estrategia, con el fin de proveer el conocimiento necesario para relacionarlas con su viabilidad en ciudades inteligentes, de manera que, al momento de plantear ideas que mejoren el bienestar de la sociedad, pueda considerarse como un posible canal para solucionar problemas.

3.6.2. Desarrollo

Introducción a Inteligencia Artificial

Para comprender la lógica detrás de la Inteligencia Artificial (IA), Chowdhary [Chowdhary, 2020] propone un acercamiento hacia la *automatización de un comportamiento inteligente*, reconociendo de primera mano que es la inteligencia. En términos simples, se define inteligencia como la unión entre la percepción, análisis y reacción que un individuo posee.

No obstante, el estudio de este concepto, ha llevado que muchos estudiosos propusieran definiciones de inteligencia, según el campo de estudio, que más se acercara a su propia realidad:

- "La capacidad de aprender o generar ganancias a través de la experiencia".
- "Habilidad para adaptarse de manera personal a cambios relativamente de la vida".
- "Una persona posee inteligencia en la medida en que ha aprendido, o puede aprender, a ajustarse".
- "Capacidad de un organismo para resolver nuevos problemas".
- "Un concepto global que implica la capacidad de un individuo para actuar con determinación, pensar racionalmente, y tratar eficazmente con el entorno".

- “La inteligencia es una capacidad mental muy general que, entre otras cosas, implica la capacidad de razonar, planificar, resolver problemas, pensar de forma abstracta, comprender ideas complejas ideas complejas, aprender rápidamente y aprender de la experiencia”.

Lo anterior nos lleva a varias interrogantes, que indagan incluso en el ámbito filosófico de un individuo, que pueden resumirse a, ¿la inteligencia es sólo un concepto exclusivo de los seres vivos? ¿Se podrá crear una máquina verdaderamente consciente e inteligente, con las herramientas disponibles?

La Prueba de Turing

En 1950, Alan Turing, estableció una prueba empírica para demostrar si una máquina es inteligente o no, llamada **Prueba de Turing**. Básicamente, esta prueba consta de la comunicación de tres individuos: un interrogador y dos interrogados, pero con la consideración de que un interrogado será una máquina, mientras que el otro es una persona. Junto a lo anterior, el interrogador además no puede ver ni oír a los interrogados, sólo pueden comunicarse a través de interfaces, como pantallas y teclados. Así, el interrogado no conoce quien es la máquina. Así, el interrogador debiese ser capaz de reconocer, a través de los mensajes textuales quien es la máquina. Alan Turing postula entonces que, si el interrogador no logra reconocer quien es la máquina, se puede considerar que esta es una *máquina inteligente*. Aunque existen críticos debido al método empleado, esta prueba aún no logra ser mejorada como la alternativa para encontrar máquinas inteligentes, lo que demuestra lo potente del modelo, y la complejidad de analizar un concepto tan abstracto como la inteligencia.

Objetivos de IA

De manera general, el principal objetivo de IA es el estudio de sistemas computacionales inteligentes, es decir, que posean un comportamiento humano, sean capaces de resolver problemas o posean razonamiento.

A su vez muchos investigadores además han analizado qué objetivos deben cumplir las IAs. Algunos definen que deben *simular la consciencia humana*, otros piensan que, al contrario, deben *poseer inteligencia sin considerar aspectos humanos*. Otros definen que deben *poseer artefactos útiles para solucionar las necesidades humanas, sin considerar si poseen inteligencia*.

Con ello, el objetivo científico de IA es determinar teorías respecto a la representación del conocimiento, aprendizaje, sistemas basados en reglas, y la búsqueda de varios temas que explican la inteligencia.

Para los ingenieros, el objetivo de IA es que las máquinas adquieran la suficiente habilidad para resolver problemas de la vida real, usando técnicas como representaciones del conocimiento, aprendizaje automático, sistemas de reglas y estado del espacio de búsqueda.

Además, no se delimita a ámbitos técnicos e investigativos, la filosofía, psicología y biología han cada vez más acercado sus posturas a esta rama, permitiendo que cada profesional pueda compartir sus ideales por una meta en común.

Características de una IA

Distintos métodos de abordar una IA requiere definir diferentes aspectos generales para su implementación:

- **Representación:** Todo sistema requiere de una representación del conocimiento para su funcionamiento, donde aquellos basados en reglas suelen utilizar reglas *if-else*, mientras que otros, como redes neuronales, se basan en conexiones con ponderaciones.
- **Aprendizaje:** Toda IA debe aprender de su ambiente, ya sea mediante la ingesta de información a través de las reglas en sistemas basados en ellas, o determinar que tipo de conexiones son las más apropiadas.
- **Reglas:** Una IA debe mantener consideradas un conjunto de reglas de manera implícita o explícita, donde en los sistemas basados en reglas las definen de manera directa mientras que en redes neuronales están presentes en sus conexiones.
- **Búsqueda:** La búsqueda en una IA puede ser encontrando, por ejemplo, la secuencia de estados que permiten una solución más rápida, o la búsqueda de conexiones óptimas, en el ámbito de ponderaciones.

Campos y aplicaciones de IA

El desarrollo de diferentes métodos de implementación de IAs, así también las diferentes disciplinas que se han visto involucradas y han potenciado el desarrollo en el área, han propiciado diferentes campos donde el uso de otras tecnologías de apoyo permiten entregar resultados aplicados. Dentro de los campos observados, se tiene:

- **Procesamiento de voz:** Las aplicaciones del procesamiento son variadas, como dictado de palabras, traductores, dispositivos activados por voz, entre muchos otros ejemplos, por lo que el uso de IA es clave para entregar soluciones acordes. Los principales desafíos del procesamiento de voz se encuentran en, cómo convertir las ondas recibidas

correctamente a texto y cómo diferenciar frases similares habladas, como "la casa es interesantez" "la caza es interesante".

- **Procesamiento del Lenguaje Natural (NPL):** Aunque para el ser humano, entender mensajes y dar respuestas es algo tan cotidiano como alimentarse, para las máquinas inteligentes comprender un simple texto como "Juan juega fútbol, no tenis", o incluso frases donde el contexto es parte principal de su estructura requiere un gran esfuerzo para deducir la información y que respuesta entregar. Así, en NPL, los investigadores se encargan principalmente de desarrollar máquinas que sean capaces de entender el significado de lo que se quiere comunicar, comprendiendo la estructura del lenguaje e idioma utilizado (sustantivos, pronombres, verbos, etc.) y relacionarla con un contexto, idealmente inferido del mismo mensaje o de otras fuentes de información, y así proveer respuestas adecuadas. Algunas aplicaciones incluyen el procesamiento de palabras, *Question-Answering*, traductores, corrección de escritura y resumir, categorizar y extraer información.
- **Planificación:** Este campo se encarga, como su nombre indica, de definir el orden adecuado de acciones para alcanzar un objetivo, lo que requiere definir claramente cuales será los componentes del dominio del plan a seguir. Otro punto relevante en planificación es definir pequeños sub-objetivos, para verificar el estado de la planificación, de tal manera de realizar algoritmos que permitan encontrar el orden óptimo de acciones que cumplan el objetivo final. Ejemplos comunes de planificación incluye los problemas de asignación de exámenes [Zhu *et al.*, 2021], elaboración de mallas curriculares [Correa, 1965] y definir rutas de vehículos [Laporte, 1992].
- **Ingeniería y sistemas expertos:** Principalmente se encarga de el procesamiento simbólico en máquinas y cómo representar el conocimiento, lo que usualmente incluye lógica proposicional y de predicados, como también grafos.
- **Sistemas difusos:** Estos sistemas se basan principalmente en la incertidumbre de la información, reduciendo significativamente el esfuerzo y costo de procesamiento. Contratan con sistemas clásicos, que requieren definir concretamente que debe responderse, como cargos de trabajadores, miembros de una clase, ya que los conceptos manejados son vagos: antiguo, nublado, rápido.
- **Modelos cerebrales y evolución:** De los campos más atractivos de la IA corresponden a cómo representar modelos del cerebro y la evolución, donde las "IA Simbólicas" toman un papel importante, dado el alto nivel de abstracción que es necesario implementar, junto al complejo desarrollo matemático para su funcionamiento hacen que los lenguajes simbólicos sean los más adecuados.

Otro punto relevante en IA es la evolución humana misma, donde es requerido emplear técnicas apoyadas en la genética celular, dado origen a las *redes neuronales artificiales* y a los *algoritmos genéticos* (AG), donde cada paso en su funcionamiento recuerda la evolución de las especies misma. Así, estas dos formas de representar la

evolución tienen particularidades en sí basadas en los seres vivos, donde en términos simples las redes neuronales buscan el reconocimiento de patrones para aprender, mientras que los AG se basan en la mejora continua de las especies, utilizando conceptos como reproducción, cruzamiento y mutación en los datos de entrada, para entregar resultados óptimos, que puede ser aplicado a varias áreas de IA.

Introducción a Aprendizaje Automático (ML)

El aumento constante de datos en todo el mundo, que incluye tanto a la multitud de empresas e industrias como a los usuarios comunes, ha permitido el desarrollo de diferentes ramas de la ciencias de computación, convirtiéndolas en una necesidad en diferentes rubros, como el mundo de los negocios, la física o biología, por nombrar algunos. Con ello, la implementación del aprendizaje automático, o *Machine Learning* (ML) ha tomado mayor atractivo, debido al potencial que permite explotar gracias a la gran cantidad de datos en circulación y almacenados.

En diferentes campos de las TI, un algoritmo podría solucionar fácilmente problemas, como predecir el comportamiento de cuando envía mayor cantidad de *emails* una cuenta de correo. No obstante, reconocer cuales correos son *spam* y cuales no de un conjunto de datos es una tarea aparte. El segundo caso requiere comprender una capa de abstracción más compleja, o en términos simples: el contexto. Aquí es donde ML adquiere importancia. Las máquinas con simplemente un algoritmo podrían encontrar resultados simples, pero al combinar la gran cantidad de datos, se puede construir el conocimiento para *aprender* de resultados anteriores, y lograr diferenciar la información de manera precisas, a través de *patrones* en los conjuntos de datos.

Así, aunque el proceso de reconocimiento de patrones en la información podría no ser perfecto, el trabajo simplificado gracias al potencial de las máquinas permite considerarlas como una buena aproximación a lo que se espera, considerando además que su mayor ventaja es la capacidad de predecir posibles resultados con un bajo margen de error.

Campos y aplicaciones de *Machine Learning*

Dada la complejidad de ML, se han desarrollado diferentes tipos de metodologías para trabajar los datos. De manera general, ML se divide en tres categorías:

1. Aprendizaje supervisado.
2. Aprendizaje no supervisado.
3. Aprendizaje reforzado.

Aprendizaje supervisado

Esta categoría se enfoca principalmente en generar predicciones a partir de un conjunto de datos de ejemplo, los cuales estarán categorizados de manera previa por humanos, así, la máquina logrará procesar la información y aprender. Con ello, al encontrarse nuevos conjuntos de datos, las predicciones tendrán un rango de cercanía a lo esperado, según un margen de error. Dentro de este tipo de aprendizaje, existen aplicaciones típicas para su uso:

1. *Aprendizaje de asociaciones*: Uno de los ejemplos clásicos de asociaciones implica su uso en supermercados. Los clientes suelen comprar varios productos en su viaje, por lo que es necesario analizar que tan probable es que un usuario lleve un producto Y luego de llevar un producto X. Dado lo anterior, el concepto *probabilidad condicional* toma un papel importante, de tal manera de determinar, por ejemplo, que tan probable es que un cliente compre queso, si lleva en su canasta pan, o en términos matemáticos: $P(\text{queso}|\text{pan}) = 0,7$.

Con dicha información, es posible generar una regla de asociación definiendo, *70 % de los clientes que compran pan, también comprarán queso*.

2. *Clasificación*: Otra sub-categoría dentro de aprendizaje supervisado es la clasificación de datos. Por ejemplo, normalmente los bancos deben categorizar que tan riesgoso es entregar préstamos a un conjunto de clientes, por lo que, un clasificador con ML, a partir de datos como la edad, profesión, ahorros, sueldos, etc. determina si el cliente es un cliente de alto riesgo a no pagar su préstamo o no. Así, una regla típica sería:

Sí sueldo $>\theta_1$ y ahorros $>\theta_2$ **entonces** cliente-bajo-riesgo **si no** cliente-alto-riesgo.

Donde θ_1 y θ_2 representan un valor para diferenciar las clases (discriminante).

3. *Regresión*: Una de las técnicas típicas, que no se limita sólo a ML, sino a estadística en general, es la regresión, donde se busca encontrar una función que relacione variables independientes y dependientes. La principal diferencia con clasificación, radica en que, mientras clasificación asigna valores booleanos al conjunto de entrada, en regresión la idea es aprovechar valores reales (no booleanos) y ajustarlos a una función que permita, cuando se ingresen nuevos datos de entrada, predecir su ubicación.

En la figura 3.5 se observan tres tipos de regresiones aplicadas a las variables kilometraje (independiente) y precio (dependiente), observándose que la curva que mejor se ajusta a los datos de entrada es la de sexto grado. No obstante, un problema típico de la regresión y ML en general, es el concepto de *sobreajuste (overfitting)*, lo que implica que, aunque la función de sexto grado cubre todas las "X" exactamente, si se agrega un valor nuevo, que se quiera predecir, lo más probable es que tenga un mayor error que las demás regresiones. Dicho lo anterior, aunque la regresión de segundo grado no cubre todos los puntos, se observa que es la que menor error podría generar en una futura predicción.

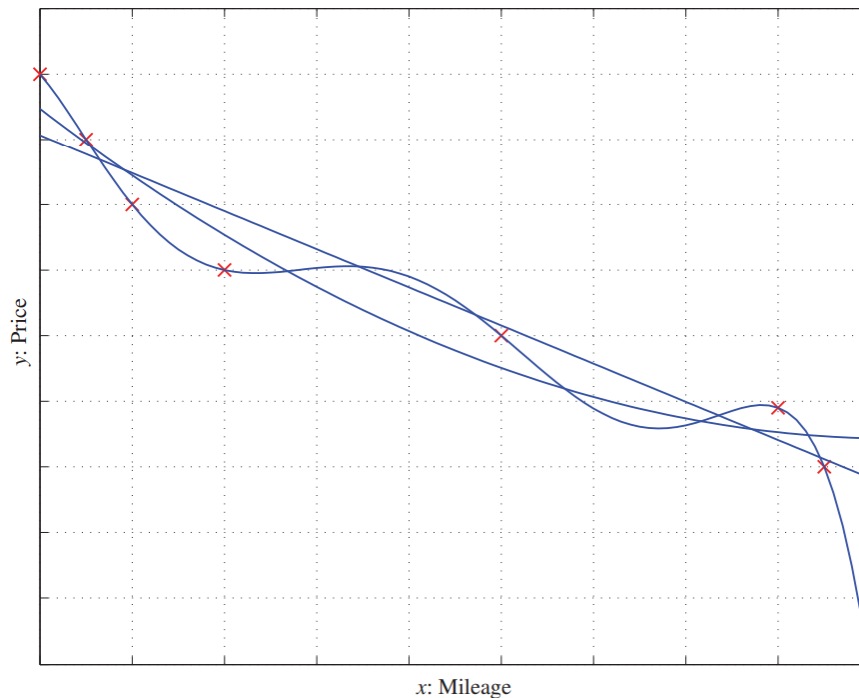


Figura 3.5: Ejemplo de funciones de regresión, observándose tres tipos: lineal, de segundo grado, y sexto grado

Fuente: Alpaydin, E (2014).

Aprendizaje no supervisado

Mientras que en aprendizaje supervisado se busca categorizar datos según un conjunto de datos de entrada a uno de salida, provistos por un supervisor, en aprendizaje no supervisado no existe dicha persona, la máquina debe ser capaz de generar grupos sólo con los datos de entrada. Dado que no existe una persona que supervise la información, se busca encontrar regularidades o patrones dentro de la información, mediante estimaciones de densidad entre los datos de entrada.

Así, uno de los métodos más conocidos de estimación de densidad es el *agrupamiento o clustering*, que a partir de los datos recibidos se encarga de encontrar grupos, donde cada grupo comparte alguna similitud según las variables y categorías que existan. Por ejemplo, una compañía cuenta con los suficientes datos de clientes, por lo tanto, una de las maneras de trabajar dichos datos es comprobar la distribución de los perfiles, según su demografía, gastos, profesiones, etc. para así determinar a que grupos priorizar, o también para encontrar posibles excepciones de clientes que podrían mejorar los servicios.

En la figura 3.6 se observa un ejemplo de *clustering* de datos a través de *K-means*, una técnica clásica que agrupa los datos según la distancia a un centroide.

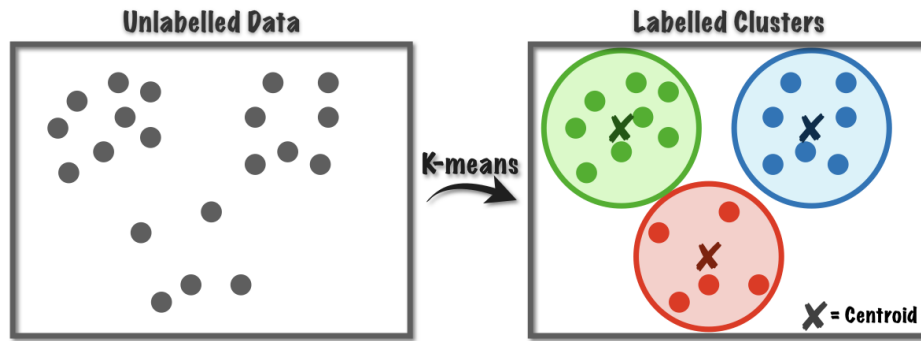


Figura 3.6: Conjunto de datos, al que se le aplica *k-means clustering*

Fuente:

<https://medium.com/@luigi.fiori.lf0303/k-means-clustering-using-python-db57415d26e6>.

Aprendizaje reforzado

A veces, los datos de salida suelen ser una secuencia de acciones donde una sola no es relevante, sino más bien la *política*, que es la secuencia de acciones correctas para alcanzar el objetivo final. En este caso, *machine learning* se debe encargar de evaluar la buena calidad de las políticas, aprendiendo a su vez de secuencias pasadas para poder generar una buena política. Dado que se busca reforzar dichas acciones, su nombre es aprendizaje reforzado o por refuerzo.

Algunas aplicaciones de aprendizaje por refuerzo se encuentran en el área de juegos. Por ejemplo, en el ajedrez, la cantidad de reglas y movimientos disponibles a simple vista no es tan larga. No obstante es conocida su complejidad para lograr ganar una partida, donde es necesario que la máquina logre encontrar la combinación correcta de acciones en el momento y ajustar su política según los cambios de estados del tablero. Otro ejemplo más cercano a la realidad es la navegación robótica. El robot, a partir de su estado actual, buscará cual conjunto de acciones le permitirá llegar de manera óptima a su objetivo, sin tocar ningún obstáculo.

Dicho lo anterior, se observa que el aprendizaje reforzado no sólo depende de los algoritmos implementados en la máquina, sino también de cómo reciben los datos, donde los sensores juegan un papel fundamental para su funcionamiento, donde por ejemplo, un robot con una cámara sólo puede tomar acciones con lo que ve en ese instante, pero debe estar en constante flujo de información para tomar las acciones pertinentes, que incluso puede involucrar a otros agentes robóticos, como en los robots que juegan fútbol.

3.6.3. Aplicaciones y ejemplos de Inteligencia Artificial y Machine Learning en ciudades inteligentes

Respecto a Machine Learning, su uso puede ser ampliamente visto en otras disciplinas que están relacionadas con ciudades inteligentes. A continuación, se presentarán ejemplos de diferentes soluciones que han sido investigadas de su uso en ciudades inteligentes:

- **Redes de sensores inalámbricos basadas Internet de las cosas (WSN-IoT):** Al año 2021, los autores Sharma, Haque y Blaabjerg [Sharma *et al.*, 2021], realizaron una investigación enfocada en encontrar como diferentes dispositivos y tecnologías, basadas en Internet de las cosas, utilizan Machine Learning para las redes de sensores inalámbricos, donde por ejemplo, al año 2020 [Alablani y Alenazi, 2020], se presentó, para Manhattan, Nueva York, una estrategia llamada *Evaluated Delaunay Triangulation-based Deployment for Smart Cities (EDTD-SC)*, la cual consiste en una estrategia de despliegue de sensores tipo WSN, para monitorear el medioambiente, utilizando el método de agrupamiento *k-means*, resultando en un 30 % de mejora comparado a otras técnicas habituales de ubicación de sensores
- **Chat de voz en Japón:** Aunque la IA y ML puede ser utilizados por diversas áreas, como planificación urbana o análisis de patrones, también puede ser utilizada para mejorar la eficiencia de los gobiernos en las ciudades inteligentes. Actualmente, el gobierno japonés se encuentra trabajando junto a la empresa Bespoke, en la implementación de un chatbot (BeBot) para ayudar en la gestión de las ciudades. Con ello, las ciudades japonesas han sido capaces de informar debidamente de desastres naturales y otras preocupaciones mediante IA [Bespoke Inc., 2022].
- **Smartathon:** Este año, Arabia Saudita impulsó el Global AI Summit, enfocado principalmente en la Smartathon, que busca que los participantes desarrollen modelos de IA que contribuyan, para este caso en específico, en la polución visual, detectándola y clasificándola, con el apoyo de científicos de datos y practicantes de AI en todo el mundo. Para ello, se espera que los participantes entreguen el modelo, su método y la presentación de la solución, para optar por un premio de 1.000.000 de SAR [Global AI Summit, 2022].

3.6.4. Conclusión

El uso de IA y ML para manejar la información involucra un profundo estudio para lograr su utilización al máximo esplendor. Muchas herramientas que en la actualidad se utilizan del diario, como Google Maps, Netflix, Twitter poseen una capa de IA y ML como su base para entregar resultados en un tiempo óptimo y dirigido específicamente a cada usuario, con el sólo requisito de acceder a internet.

Dentro de los principales desafíos que enfrentan IA y ML incluye las mejoras al tratamiento de los datos, y el desarrollo de nuevas políticas que involucren tanto la privacidad como la protección de datos de manera concreta para los ciudadanos en todo el mundo. Actualmente, el uso de IA está siendo foco de discusión a nivel ético por varias naciones, respecto a los límites del desarrollo tecnológico y de las capacidades que implica al desarrollo de la humanidad. Es sumamente relevante que todos los gobiernos empiecen a dar sus lineamientos respecto al uso de IA y ML, para buscar los mejores medios para innovar en el área sin involucrar un empeoramiento de la calidad de vida de las personas.

3.6.5. Referencias

Referencias principales:

- Chowdhary, K. R. (2020). Fundamentals of artificial intelligence. Springer Nature.
- Alpaydin, E. (2014). Introduction to Machine Learning. Cambridge, MA: MIT Press.

3.7. Realidad virtual y aumentada (VR y AR)

3.7.1. Introducción

Con el avance de las ciudades inteligentes, junto con diferentes herramientas relacionadas a IoT, será cada vez más necesario implementar interfaces adecuadas, donde la virtualización cumplirá una labor atractiva para que la sociedad pueda utilizar de una manera intuitiva tecnologías que, de manera tradicional con computadores, pueda ser complejo. Desde el uso de interfaces para la educación, como herramientas gráficas que puedan ser útiles para medicina e incluso videojuegos que aprovechan el potencial de la realidad aumentada y virtual, se ha observado que es un campo de desarrollo innovador y a la vez complejo, requiriendo que cada vez más que existan profesionales capaces de entender la tecnología, a la vez de vincularlo con la percepción humana.

Dado que el desarrollo de VR y AR está en una etapa temprana de investigación, en esta sección se presentará de manera introductoria su uso en la vida diaria, de tal manera de entender futuros desarrollos e invitar a los interesados a interiorizarse en el tema, además de presentar aplicaciones actuales del uso de realidad virtual y aumentada en el mundo.

3.7.2. Desarrollo

Realidad Virtual

Con el desarrollo de nuevas tecnologías para ciudades inteligentes, categorizar las diferentes herramientas es una necesidad. Con ello, Bian et al. [Bian et al., 2013] relacionaron de manera directa las herramientas de realidad virtual con la capa de aplicación de una ciudad inteligente, según la figura 3.7, donde las grandes ventajas de VR sobre métodos tradicionales de virtualización, es permitir que las personas puedan interactuar de manera directa con objetos virtuales que imitan la realidad de manera precisa, utilizando no sólo la visión con la interfaz, sino también el tacto, oído, e incluso se espera en un futuro, gusto y olfato.

Aunque VR suena bastante atractiva para potenciar ciudades inteligentes, se debe tener en cuenta que deben considerarse dos factores esenciales: un *hardware* diseñado de tal manera de integrar de manera adecuada los sentidos de las personas y un *software* capaz de conectar cada herramienta física. El primer factor a veces suele ser un gran limitante para su desarrollo, dado que los costos aún siguen siendo elevados para su implementación, no obstante, el desarrollo de diferentes *frameworks* enfocados en VR y AR han reducido considerablemente el costo del *software*.

Así, para entender cómo se relacionan el software y hardware en VR, se puede modelar de manera conceptual cómo se organiza su estructura, donde en la figura 3.8 se observan cuatro componentes principales, que además pueden ser agrupados en dos maneras de operar los

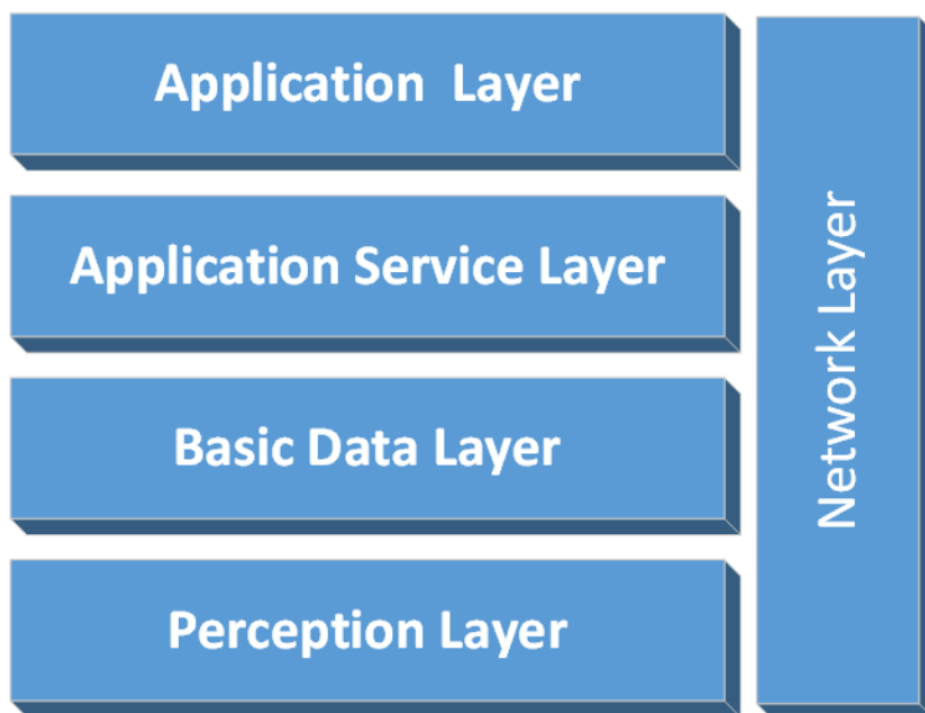


Figura 3.7: Capaz en una ciudad inteligente
Fuente: Bian et al. (2013).

datos:

- *Operación básica de datos*, que se encarga de manejar asuntos generales de datos, como limpieza y medidas de aceleración de los mismos.
- *Operación avanzada de datos*, enfocada en la interacción real con las interfaces, como pantallas 3D , operación de gestos, control de voz, entre otras.

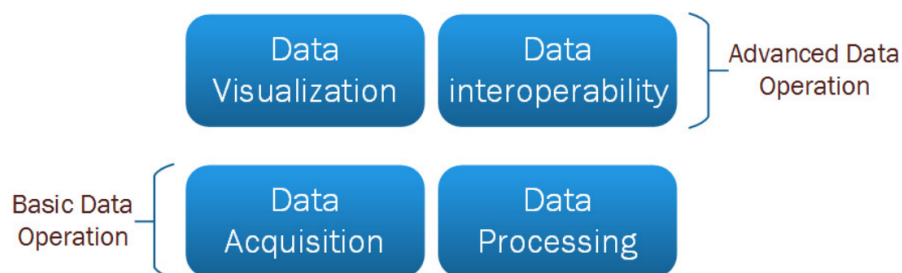


Figura 3.8: Modelo conceptual de VR
Fuente: Bian et al. (2013).

Modelo de Hardware

Entender cómo el diseño de hardware impacta en VR va más allá de la creación de herramientas, debido a que existen una multitud de aplicaciones, sensores, pantallas 3D, audífonos envolventes, por lo que se debe sintetizar cada aspecto a un modelo central que abarque cada dispositivo. En este aspecto, el modelo conceptual visto necesita ser profundizado para desarrollar herramientas de hardware a detalle. Para ello, se deben tener en cuenta diferentes consideraciones para su implementación respecto a dicho modelo conceptual:

1. En primer lugar, los datos son de dos tipos: datos de la *smart city*, que son provistos por compañías u organizaciones y datos del usuario, que son recolectados por el hardware.
2. Además, cada parte del modelo conceptual podría tener más de una representación en el modelo de hardware.
3. El modelo de hardware, aunque es más completo y complicado que el modelo conceptual debe considerar otros detalles, como el orden y tipo de cables a utilizar, fuentes de energía, etc.

Así, con el apoyo de la figura 3.9, se puede relacionar cada componente del modelo conceptual en detalle con la figura de manera general. Para el caso de la hardware, los cuatro componentes del primer modelo están considerados, tomando en cuenta las siguientes particularidades:

- *Adquisición de datos*, considera que existen dos maneras de obtener la información (fig. 3.9), los datos obtenidos a partir de la *smart city*, los cuales estarán en servidores especializados, idealmente en la nube, y los datos obtenidos a partir de los sensores que posee el sistema en cuestión.
- *Procesamiento de datos*, que en la parte de hardware es simple, usualmente un computador central.
- *Visualización de datos*, que usualmente incluye interfaces para presentar la información a los usuarios, como pantallas 2D y 3D, guantes con mecanismos para el tacto, simuladores de olores, etc.
- *Interoperabilidad de datos*, que es la parte más compleja de implementar, debido a la dependencia de varios componentes físicos y su conexión entre ellos. Usualmente, los pasos de comunicación entre ellos siguen: Sensores recolectan la información, el computador central analiza dicha información y luego los equipos periféricos interactúan de manera física con el usuario.

Todas las consideraciones de hardware además deben considerar otros aspectos menos técnicos, como el bienestar del usuario, su salud y comodidad con los aparatos VR.

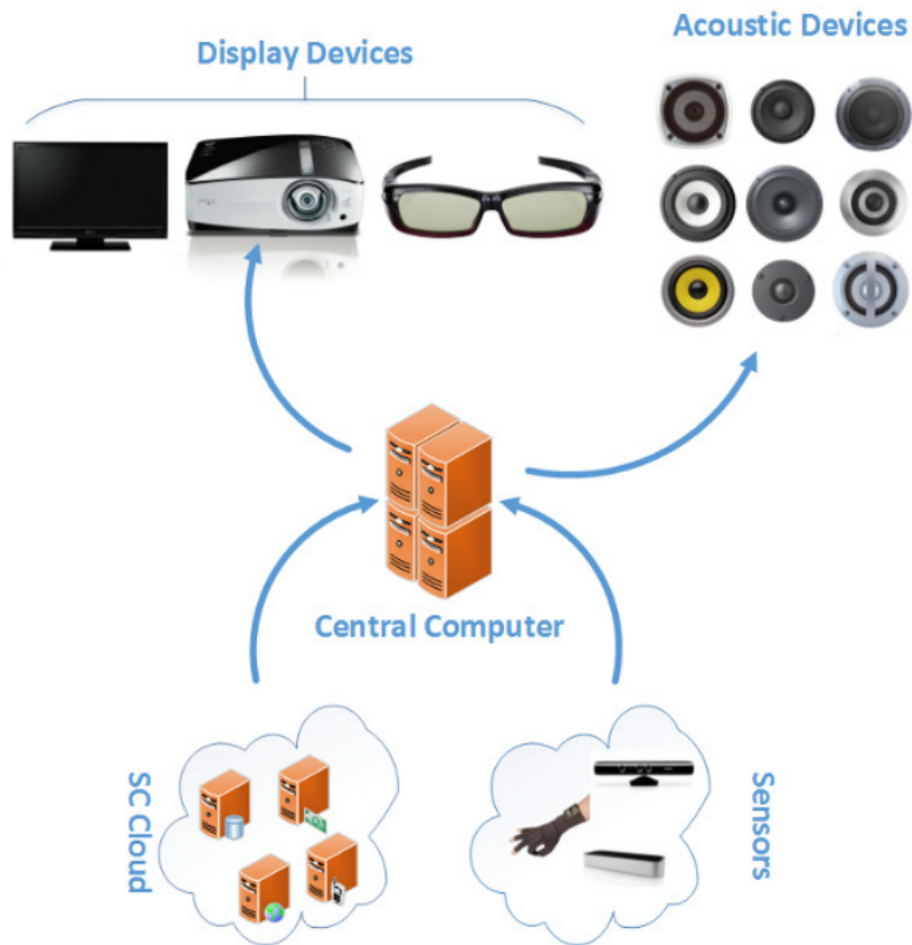


Figura 3.9: Modelo de hardware de VR
Fuente: Bian et al. (2013).

Modelo de Software

El modelo de software no requiere tantas consideraciones físicas por parte de los especialistas debido a la alta disponibilidad de ambientes para manejar los aparatos. Aún con ello, se debe tener en cuenta que es un proyecto de alta calidad de software, por lo que deben tomarse medidas respecto a cómo implementar los *frameworks* disponibles.

Así, el enfoque del desarrollo está centrado en la capa de aplicación del sistema considerando tres componentes del modelo conceptual, según la figura 3.10, dado que la *adquisición de datos* es manejada por parte de los fabricantes de herramientas VR a través de los sensores y los datos en la nube. Para la *agregación de datos*, el software se encarga de combinar la información obtenida de la sección anterior, donde es enviada a la sección de *procesamiento de datos*, que se encarga de transformar y manipular los datos, ya sea para su coordinación, proyección y escala. En dicha etapa, es sumamente importante la abstracción de la información, por lo que software que utilice programación orientada a objetos y clases como Java o C#,

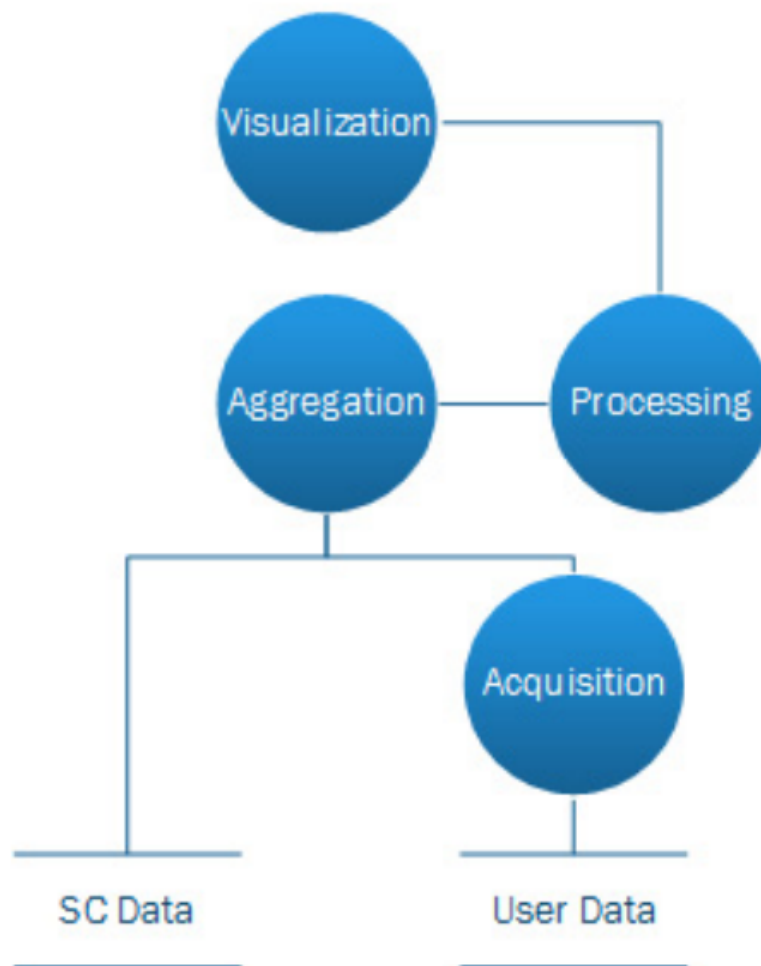


Figura 3.10: Modelo de software de VR
Fuente: Bian et al. (2013).

es vital. Finalmente, para la sección de *visualización de datos*, la información es presentada en los dispositivos de salida o interfaces.

Realidad aumentada

La principal diferencia entre realidad virtual y aumentada (AR), es que, mientras que en VR se desea mantener inmerso al usuario en un mundo completamente virtual, AR busca complementar la realidad misma con componentes virtuales. Como mencionan Furht y Carmigniani [Furht, 2011], esto no se limita a sólo dispositivos de realidad aumentada visual, como lentes o pantallas, sino también puede considerar todos los demás sentidos, como olfato, tacto, oído y gusto aumentado. Con ello, uno de los puntos más prometedores no sólo es promover tecnologías entretenidas para utilizar, sino mejorar, por ejemplo, la vista de personas ciegas o con poca visión mediante señales de audio, o también señales visuales para usuarios sordos.

Respecto a los modelos conceptuales, de hardware y software que anteriormente se observaron para VR, se observa que también pueden ser aplicados para AR, teniendo en cuenta claramente que las interfaces utilizadas serán diferentes, así como el manejo de los datos y el software necesario, que debe ser capaz de reconocer aspectos del mundo real mediante los sensores, y aplicar las configuraciones en las interfaces físicas.

Con lo anterior, para comprender de mejor manera será útil analizar en mayor profundidad los tipos de tecnologías disponibles para realidad aumentada y casos de uso tanto para VR y AR.

Aplicaciones de VR y AR

Dado que tanto realidad virtual como aumentada poseen una interacción directa con la calidad de vida de las personas, es posible enumerar una serie de aplicaciones que involucran su uso en *smart cities*. Así, a partir [Stratigea y Kavroudakis, 2018], se observa las siguientes aplicaciones para VR:

- *Seguridad/Vigilancia*: A través del análisis de mapeos de lugares con frecuencia de delitos, se pueden identificar cómo abordar y resguardar zonas de una manera más directa y consciente, derivando más fuerzas policíacas y asegurando con cámaras y políticas más específicas.
- *Planificación de ciudades*: Mediante el modelado de áreas virtuales, es posible visualizar de mejor manera zonas donde la infraestructura maximiza y optimiza los recursos disponibles. Además, con buenas visualizaciones también es posible identificar áreas en riesgo que de manera teórica no es posible evidenciar.
- *Transporte*: Mediante la virtualización de transporte, es posible identificar rutas más eficientes en transporte público, además de analizar los datos de horas punta de manera directa, para organizar vehículos de manera eficiente.

- *Pruebas a futuro:* Puede ocurrir que en ciertas zonas, la construcción de infraestructura no es tan conveniente en un par de años. Con modelamiento y análisis virtual, es posible identificar dichas áreas, y así evitar gastos de recursos innecesarios.
- *Sostenibilidad:* Mediante el monitoreo y control de los datos disponibles, es posible, por ejemplo, evitar aumentos en la polución del aire, además de identificar áreas que presentan más riesgo de contaminación.
- *Fotogrametría y modelado de ciudades en 3D:* De los puntos más relevantes a la hora de virtualizar ambientes, es el modelado 3D de las ciudades y su visualización utilizando fotogrametría. Existen diferentes aplicaciones de los modelados 3D, que incluyen tanto fines científicos, como arquitectónicos y planificación urbana.
- *Educación y Entretenimiento:* La anterior Facebook, ahora Meta, posee un área en específico dedicada al mundo de VR, conocido como Oculus 3.11, siendo uno de los dispositivos más fiables en el mercado para el uso de VR, siendo ampliamente utilizado para videojuegos, pero no limitado a otras áreas de investigación.



Figura 3.11: Oculus Quest 2, con las gafas VR y sus controladores. Fuente: <https://www.oculus.com/>

Aplicaciones en la actualidad de VR y AR

Para el caso de AR, existen otra variedad de aplicaciones [Furht, 2011], lo que incluye:

1. **MINI, Anuncios comerciales:** Uno de los campos más llamativos es la publicidad con AR, donde el usuario pasa a ser participe de los productos y el marketing, más que un mero consumidor. El año 2008, la empresa MINI utilizó una famosa campaña, donde si el usuario mostraba el anuncio a una webcam mientras se estaba en el sitio oficial de MINI, un automóvil aparecería, lo que permitiría ver, a escala un modelo nuevo.
2. **Ruinas de Dashuifa, entretenimiento y educación:** Para el caso del mundo del entretenimiento y la educación, aplicaciones culturales, guías de museos, juegos con AR y

herramientas educacionales en general suelen verse beneficiadas enormemente. Por ejemplo, las ruinas de Dashuifa (3.12) fueron digitalizadas y es posible observar de manera directa cómo eran en tiempo real, permitiendo al usuario imaginar de manera directa su infraestructura, y entregar mayor valor a la historia de las ciudades. Otras aplicaciones incluyen por ejemplo, libros, en los cuales, con simples códigos con AR, permite expandir imágenes y realzar el proceso educativo más inmerso. Microsoft HoloLens 3.13 también logran entrar en la categoría de educación, pero enfocado además en áreas como la salud e industria, permitiendo que un sólo dispositivo pueda entregar potencial a varias áreas. Cabe mencionar que técnicamente, HoloLens es un dispositivo de realidad mixta, combinando los mundos VR y AR, al permitir la interacción con objetos virtuales sobre la realidad.



Figura 3.12: Ruinas e imagen en realidad aumentada de Dashuifa. Fuente: Display systems and registration methods for mixed reality applications, <https://www.researchgate.net/>



Figura 3.13: Usuario utilizando Microsoft HoloLens, para interactuar con objetos de realidad mixta. Fuente: <https://www.microsoft.com/es-es/holoLens>

Finalmente en el área de juegos, existe una multitud de aplicaciones que permiten al usuario navegar por su ambiente. Entre ellos, desde el año 2016, Pokémon GO 3.14 es un ícono mundial de la potencia de AR para los videojuegos. Los jugadores son capaces, con sus *smartphones*, viajar a través de su ciudad, y capturar a las criaturas según aparezcan. Con ello, no sólo se demuestra que personas de todo el mundo pueden

disfrutar de las ventajas de AR, sino que también puede mejorar su calidad de vida, evitando el sedentarismo, y mejorar las relaciones sociales con el entorno.



Figura 3.14: Ejemplo de una “captura” en Pokémon GO, Fuente: <https://pokemongolive.com/>

- 3. Aplicaciones Médicas:** Otras aplicaciones relevantes están en el área de salud, donde las principales aplicaciones médicas se encuentran las de cirugía asistida por robots. De hace años, el uso de aparatos para visualizar el cuerpo humano, como ecografías, endoscopías y rayos X han permitido realizar análisis precisos de las personas. No obstante, para cirugías asistidas, el uso de estas visualizaciones dificulta el proceso, dado que la máquina debe traducir la información de las imágenes a las acciones. Así, AR permite que se pueda observar en tiempo real el funcionamiento del cuerpo mientras se está interviniendo, facilitando el procedimiento.

Otras aplicaciones también implican, por ejemplo, analizar cómo el cuerpo humano responde a ciertos movimientos. En el caso de la artritis y artrosis, se sabe que existen ciertos movimientos que podrían indicar un cierto grado de avance en la enfermedad. Con AR, es posible observar sus movimientos directamente, y que la máquina pueda detectar que zonas indica un grado de avance mayor, para así enfocar los esfuerzos en mejorar dichas áreas.

Por último, otra área interesante médica es la psicológica. El uso de pantallas para simular, por ejemplo, cucarachas y serpientes, podría mejorar considerablemente la respuesta a las fobias sin que el usuario se sienta preocupado por que el causante de la fobia sea real.

- 4. Google Lens y Aplicaciones móviles:** Por último, AR en aplicaciones móviles pueden abarcar un amplio rango de posibilidades. Google Lens (Figura: 3.15), por instancia, permite una multitud de herramientas sólo con un smartphone y conexión a internet,

donde se posible conectar el buscador de Google con objetos del mundo real, como traducción de textos, objetos de interés, entre otros. Las grandes ventajas que además poseen las aplicaciones móviles es la posibilidad de utilizar GPS y giroscopios en los *smartphones* para inclusive buscar restaurantes en mapas (Figura: 3.16) en tiempo real, y conocer de inmediato los menús disponibles.

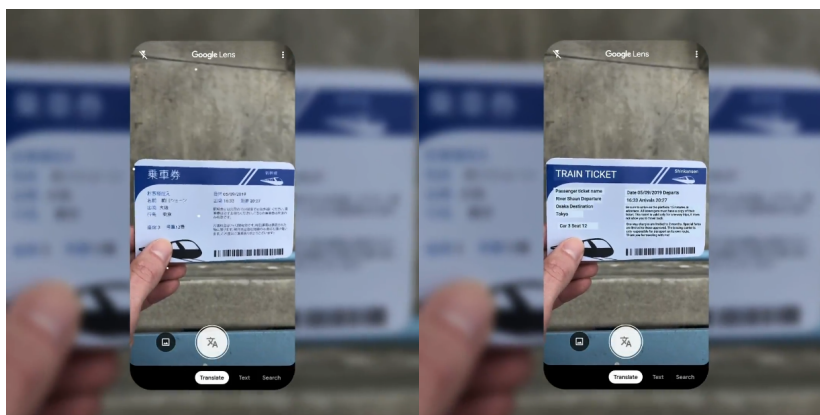


Figura 3.15: Traducción con Google Lens, Fuente: <https://lens.google/intl/es-419/>



Figura 3.16: Google Maps AR, Fuente: <https://emiliusvgs.com/>

3.7.3. Conclusión

Con el uso cada vez más amplio de dispositivos electrónicos, VR y AR han adquirido su lugar como una de las tecnologías emergentes más prometedoras para ciudades inteligentes, permitiendo que ideas que en el pasado parecerían ser de un futuro lejano, comenzar a convivir rutinariamente con las personas en el globo.

De la sección, se observa la gran capacidad práctica que poseen las herramientas en VR y AR para mejorar la calidad de vida de las personas, donde la gran ventaja que poseen es poder permitir que los usuarios puedan interactuar directamente con las problemáticas, ya sean en un mundo puramente virtual o como complemento a la realidad.

A pesar de que existen enormes posibilidades para utilizar estos dispositivos en varias áreas de la sociedad, aún es necesario seguir potenciando la investigación de nuevas maneras de utilizar, algoritmos y dispositivos para su implementación. El costo de las herramientas AR y VR recién está permitiendo que usuarios comunes y corrientes puedan aprovechar sus ventajas, como Oculus Quest 2 de Meta para VR, o Google Lens en AR; por lo tanto, es sumamente importante que los nuevos profesionales puedan investigar nuevas técnicas y herramientas, para facilitar el acceso.

Por último, cabe destacar la capacidad de alinear las herramientas con los avances de la ciudad y con otras tecnologías disruptivas como IoT, de tal manera que el avance cultural pueda ser aprovechado, y no sólo limitar las capacidades de los dispositivos al mundo de la entretención.

3.7.4. Referencias

- Mediterranean Cities and Island Communities - Smart, Sustainable, Inclusive and Resilient. Anastasia Stratigea, Dimitris Kavroudakis (editors). 1ed.Switzerland: Springer International Publishing, 2019.
- Geo-Informatics in Resource Management and Sustainable Ecosystem. Fuling Bian, Yichun Xie, Xiaohui Cui, Yixin Zeng (editors). 1ed.Switzerland: Springer International Publishing, 2013.

3.8. Fundamentos de *Big Data*

3.8.1. Introducción

El incremento de los datos ha hecho necesario desarrollar y comprender nuevas técnicas para su manejo, donde *big data* condensa en gran medida dichos aspectos. Desde el punto de vista de una ciudad inteligente, los gobiernos están cada vez más interesados en invertir de alguna manera en TI para administrar aspectos como salud, educación o planificación urbana, lo que permitirá proveer servicios de mejor calidad, entendiendo a su vez la gran relevancia que tiene el uso de herramientas digitales para los ciudadanos, y estando en línea con los avances a nivel mundial en el campo de las tecnologías.

En la actualidad, los datos en tránsito y en reposo están en un aumento progresivo, y su utilización requiere planificar una serie de medidas que involucren beneficios, desafíos y aplicaciones, lo cual puede definir una serie de medidas base que el

El manejo de los datos está sumamente relacionado con el tratamiento seguro de ellos, por lo que, las implicaciones de privacidad y protección de datos, junto al desarrollo de políticas a niveles privados y públicos, debe ser una de las prioridades al utilizar *big data*.

En esta sección, se busca introducir al tema de *big data* aplicado a ciudades inteligentes, comprendiendo como está estructurado y cual es la idea del concepto, así como comprender diferentes aplicaciones hacia *smart cities*, para su análisis en general, más allá de los asuntos técnicos.

3.8.2. Desarrollo

El aumento de los datos a nivel global, debido a las crecientes aplicaciones en todo ámbito de la sociedad, ha permitido que el concepto de *Big data* tome cada vez más fuerza, llamando la atención a diferentes gobiernos, debido a las capacidades de mejorar aspectos como sostenibilidad, gobernanza, resistencia, bienestar, eficiencia, calidad de vida, al utilizarlos en diferentes servicios que la ciudad provee, como salud, transporte o energía, por ejemplo. Con lo anterior, se ha hecho necesario que, para el tratamiento de los datos, se requieran grandes servicios de almacenamiento en servidores, utilizando *Cloud Computing* como medio para su administración.

Diferentes aplicaciones y dispositivos, como GPS, cámaras, sensores *smartphones*, computadores, y el acceso a internet en general a través de redes sociales, transacciones, videos y otras plataformas, han aumentado el flujo y almacenamiento de los datos, siendo las fuentes de *Big data*. Más aún dichos datos ni siquiera están vinculados a un sólo dueño, lo que conlleva a la necesidad de analizar las fuentes de información desde su origen, permitiendo solucionar problemas mediante inteligencia, minería y análisis de datos.

Con lo anterior, se han definido ciertas características que la gestión de *big data* posee, llamadas *las Vs*:

1. **Volumen**, que se refiere al tamaño de los datos que han sido creados de todas las fuentes
2. **Velocidad**, que se refiere a la velocidad en que los datos son generados, almacenados, analizados y procesados, con énfasis en soportar el análisis en tiempo real.
3. **Variedad**, que se refiere a los diferentes tipos de datos siendo generados, que en general son no-estructurados (datos difíciles de categorizar).
4. **Variabilidad**, que se refiere a cómo la estructura y el significado de los datos cambia constantemente, como los datos generados por el análisis de lenguaje natural.
5. **Valor**, que se refiere a la posible ventaja que puede dar *big data* a los negocios basados en buenas colecciones, gestión y análisis de datos.

Además, también se podría considerar otras Vs, como **volatilidad**, referida a las políticas de retención de datos estructurados en varias fuentes; **validez**, que se refiere a la exactitud, precisión y validación de datos; y también **veracidad**, acerca de la precisión y veracidad de los datos obtenidos, además de su significado para ciertos problemas.

Beneficios de Big data

El uso de Big data puede beneficiar diferentes capacidades de una ciudad inteligente, las cuales pueden ser:

- **Utilización eficiente de recursos:** Uno de los puntos clave que big data puede apoyar en el desarrollo tecnológico es la utilización eficiente de recursos. Entre ellas se destaca el uso de ERP y GIS, para planificación empresarial de recursos y sistemas de información geográfica respectivamente. Con sistemas de seguimiento en el trabajo, será más fácil detectar los puntos de desperdicio y distribuir mejor los recursos, controlando los costes y reduciendo el consumo de energía y recursos naturales. Además, uno de los aspectos importantes de las aplicaciones para ciudades inteligentes es que están diseñadas para la interconectividad y la recopilación de datos, lo que también puede facilitar una mejor colaboración entre aplicaciones y servicios.
- **Mejor calidad de vida:** Mejores servicios y trabajos eficientes implica menos gasto de recursos y tiempo permite mejorar la calidad de vida tiempo, ya sea mediante una mejor planificación de los espacios y ubicaciones de vida/trabajo, sistemas de transporte más eficientes, servicios mejores y más rápidos, y la disponibilidad de información suficiente para tomar decisiones informadas.

- **Mejores nivel de transparencia y apertura:** A través de las mejoras a nivel de gestión de gobierno, los datos disponibles serán más transparentes y comunicados de una mejor manera a la ciudadanía general. En un futuro, la transparencia será una norma, y los datos de todos los implicados fomentará la colaboración y la comunicación entre entidades y la creación de más servicios y aplicaciones que mejoren aún más las ciudades inteligentes. Un ejemplo de ello es el gobierno de Estados Unidos, que recopila y difunde una amplia gama de datos, publicaciones y contenidos en nombre de la transparencia y la apertura. Esto permite a los ciudadanos y a las entidades gubernamentales la posibilidad de intercambiar y utilizar los datos de forma eficaz.

Aplicaciones actuales de *big data*

Con los puntos ya observados, las ciudades han adquirido un mayor interés por implementar tecnologías relacionadas a big data, y así aplicar sus beneficios directamente en la calidad de vida de las personas. Para ello, es necesario que las ciudades posean una buena infraestructura ICT (tecnologías de la información y comunicación) para que los datos obtenidos a partir de los servicios (salud, gobierno, energéticos, transportes, etc.) sean procesados de inmediato, y transmitidos a la nube. Dicho lo anterior, se enumeran las siguientes posibles aplicaciones:

1. **Educación inteligente:** La actual pandemia del COVID-19 ha demostrado la urgente necesidad de mejorar la infraestructura ICT para garantizar la calidad de educación de los estudiantes, así como facilitar el trabajo de los docentes. Con ello, una mejora considerable en efectividad, productividad y eficiencia permite entregar una mejor enseñanza en el alumnado, aprovechando de mejor manera la información disponible, mejorando los controles y evaluaciones a realizar y manteniendo una manera de que los involucrados puedan conservar a largo plazo el conocimiento. Mas aún, es notoria la diferencia en cuanto a las capacidades de internet, el principal medio de transmisión de información, entre ciudades grandes y áreas rurales, por lo que las mejoras de infraestructura no sólo mejorarán la calidad de vida de los ciudadanos, sino de un país entero. Junto a lo anterior, aplicando big data a las ICT, será posible generar una sociedad *basada en conocimiento*, mejorando sus competencias a nivel internacional.

Dentro de las principales fuentes de datos para big data en la educación viene de tres tipos: **personas**, como estudiantes, docentes, padres; **infraestructura**, como escuelas, museos, bibliotecas; e **información**, como libros, cursos, notas, evaluaciones, reportes. Así, con la aplicación de big data, será posible conectar cada una de las partes, y generar, por ejemplo, material específico recomendado para comunidades y cursos en las escuelas, analizando las evaluaciones y libros disponibles.

2. **Traffic21, Luces de tráfico inteligentes:** Una de las grandes preocupaciones de una ciudad inteligente es la planificación del transporte urbano, tanto público como privado, analizar el estado de las vías, y comprender cuando y donde ocurren las conocidas

horas punta. Y junto a ello, se agrega el problema de la polución y congestión, que implica la necesidad de aprovechar las ICT para gestionar su estado. Con ello, las luces de tráfico inteligentes, aunque parezca un problema básico a tratar, se requiere la conexión de múltiples sensores, en compañía con IoT, que permitan detectar los niveles de contaminación, flujo de vehículos y estado de calles, para detectar patrones de comportamiento, y determinar la frecuencia de cambios de luces, así mejorar el tráfico considerablemente. Un ejemplo práctico, que Al Nuaimi et al. [Al Nuaimi *et al.*, 2015] presentaron, fue Traffic21, en Pennsylvania, donde se logro mejorar un 20 % el tráfico de la ciudad con una medida similar.

3. **Red eléctrica inteligente:** La red eléctrica es uno de los componentes más relevantes de una ciudad, por lo que mejorar el tratamiento de sus datos implica enormes ahorros en eficiencia, costos, y generación de electricidad. Una red inteligente, a diferencia de una red eléctrica tradicional, cuenta con una serie de computadores, lo cuales se encargan de analizar los datos suministrados por sensores ubicados tanto por parte de usuarios, como de los mismos proveedores de energía, permitiendo que la red pase de ser unidireccional a multidireccional, dejando incluso que usuarios comunes puedan apoyar al suministro eléctrico. Con el uso de big data, es posible tomar los datos obtenidos por los sensores, y proveer análisis de comportamientos de usuarios, permitiendo que ellos puedan acceder a su información, y tomar medidas en función de cada gasto individual. Además, por parte de la central, es posible analizar el comportamiento de cada individuo, y generar patrones de uso, para así variar los cargos de consumo de manera dinámica según altos y bajos usos, permitiendo además que las generadoras de energía minimicen su trabajo cuando no necesario, generando un mayor ahorro energético.

3.8.3. Conclusión

El concepto de *big data* ha sido cada vez más popular, adquiriendo una gran relevancia con las mejoras al acceso de las TI por todo el mundo, llevando como consecuencia el incremento en los datos estructurados como no estructurados, ya sea circulando a través de internet, o siendo almacenados en servidores a nivel global. Así, se observa que las herramientas especialistas en big data, junto a otras tecnologías emergentes como IoT, han llevado a la necesidad de implementar infraestructura ICT en diversas áreas, como educación, salud, transporte.

Se ha observado además, que dentro de los principales desafíos que se tiene con *big data*, además de la clara necesidad de mejorar las ciudades a nivel infraestructural, se requiere entrenar a los profesionales en la gestión misma de big data [Oussous *et al.*, 2018], lo que incluye la limpieza de los datos utilizados eliminando información innecesaria y asegurar su calidad, para luego combinar los datos pertinentes para su tratamiento.

También se ha observado la necesidad de complementar las disciplinas de análisis de datos como Inteligencia Artificial, Machine Learning e incluso Deep Learning con la cantidad enor-

me de datos provistos en big data, por lo que en un futuro, será necesario que los profesionales no sólo se limiten a implementar métodos para procesar la información, mejorando los tipos de algoritmos utilizados, así como las herramientas disponibles.

3.8.4. Referencias

- Al Nuaimi et al. Journal of Internet Services and Applications (2015) 6:25

3.9. Cloud, Fog y Edge Computing

3.9.1. Introducción

Como lo visto en otras secciones, el aumento considerable de los datos, junto con el desarrollo de tecnologías cada vez más complejas, han generado nuevos modelos de tratamiento de información, y la creación de nuevas tecnologías emergentes. Con ello IoT como también big data y ML, han requerido la necesidad de implementar sistemas, o propiamente computadores y servidores, en ubicaciones que se escapan de los medios tradicionales, donde el trabajo debía realizarse exclusivamente a nivel local, a zonas especializadas en computación y tratamiento de la información, de tal manera que los negocios interactúen con un sistema tipo “caja negra”, donde los resultados es lo que importa, más allá de la implementación propia, debido a su complejidad, o poca disponibilidad de recursos físicos.

Debido a lo anterior, Cloud, Fog y Edge Computing nacen como una nueva forma de tratar los datos, cambiando el paradigma donde las empresas debían administrar exclusivamente su información, a sistemas ubicados en zonas posiblemente remotas, pero con todo el acceso que un sistema tradicional podría tener.

A continuación, se presentará de manera introductoria los tres conceptos mencionados, de tal manera de comprender su estructura y cómo pueden ayudar a mejorar áreas de una ciudad, al enfocar sus herramientas en diferentes áreas de las TI, reduciendo poder de cómputo en el área física, pasando el esfuerzo a otros proveedores.

3.9.2. Desarrollo

Cloud Computing

La computación en la nube (*Cloud Computing*) es la base para múltiples aplicaciones, donde, en el caso de IoT, no podría existir sin ser el medio que comunica la multitud de dispositivos en la red de la ciudad. En términos más concretos, en cualquier sitio donde es requiera conectar miles de dispositivos para aprovechar y optimizar los datos utilizados, requerirán de alguna manera el concepto de Cloud Computing.

El término *cloud*, como su traducción indica, se refiere al conjunto de dispositivos, que generan una “nube” de servicios computacionales, a menudo bajo demanda (*on-demand*). Existen varios tipos de servicios, lo que incluye poder de cómputo, de red y almacenamiento, según las aplicaciones utilizadas, permitiendo que el usuario pueda *pagar por usar* las herramientas según su infraestructura deseada. Todo lo anterior da el concepto de nube, donde el usuario sólo solicita al proveedor lo que necesita, siendo totalmente independiente de otras consideraciones técnicas, como la ubicación, costos de mantención, electricidad, entre otros. Con ello, dado que la administración de recursos queda por parte del proveedor Cloud,

le permite mejorar el servicio constantemente, dejando que el usuario pueda administrar los recursos a través del tiempo, escalando a servicios más potentes o reducidos, sin mayores problemas.

Dentro de las principales características de la arquitectura Cloud, es la división según los tipos de modelos de servicios que proveen, conocidos como *Everything as a Service (XaaS)*, o Todo como un Servicio, ya que la premisa es ofrecer todas las aplicaciones Cloud suficientes para que los usuarios aprovechen las plataformas al máximo. De esta, se reconocen cuatro modelos 3.17:

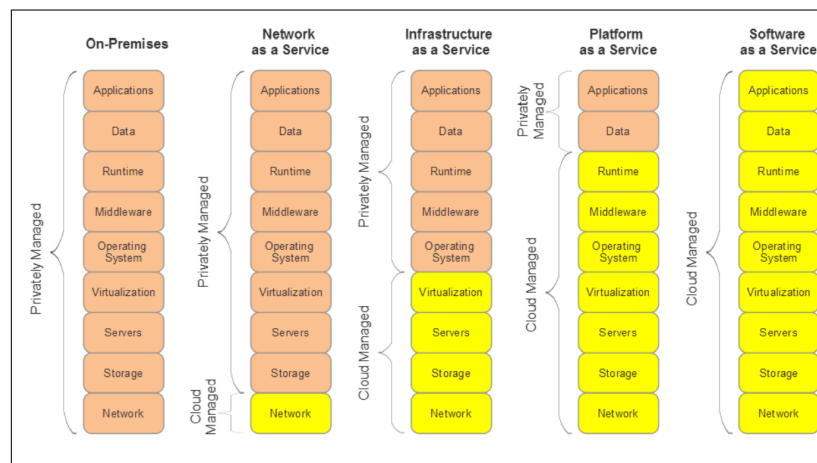


Figura 3.17: Servicios en modelos Cloud, donde *On-premises* corresponde a dispositivos privados. Fuente: Lea, Perry

- **Networking as a Service (NaaS):** En términos sencillos, se refiere a el ofrecimiento de dispositivos y capacidades de red para las empresas. A veces, no es práctico que una empresa tenga que implementar una infinidad de switches y routers para su funcionamiento: sólo con crear una red virtual, que entregue todos los servicios que los aparatos de red proveen, minimizando el costo y la complejidad de implementación, además de separar las capas de datos con las de control. Ejemplo de servicios son las SDN (Software-defined networking) y los SDP (Software-defined perimeters).
- **Software as a Service (SaaS):** Es uno de los modelos más relevantes de Cloud Computing, donde el proveedor ofrece una serie de aplicaciones, que pueden ser accedidas desde computadores personales o dispositivos móviles por ejemplo, a través de interfaces conectadas a internet, dando la sensación que la aplicación está implementada en el equipo del usuario. Grandes empresas han popularizado sus servicios Cloud con este modelo, como Google Apps, Microsoft Office 365, entre otros.
- **Platform as a Service (PaaS):** En este modelo, el proveedor se encarga de entregar servicios de hardware y software, como *datacenters*, sistemas operativos, *middleware*, que pueden estar compuestas por bases de datos, y frameworks asociados. Dentro

de los principales proveedores de PaaS se encuentran Google App Engine, Microsoft Azure e IBM Bluemix. La principal diferencia entre IaaS, es que al proveer hardware y software como servicios, permite mayor escalabilidad, uso extensivo de middleware y sistemas operativos, que está garantizado por parte del proveedor, minimizando los costos y esfuerzos de implementación. Así, un servicio bastante popular es Docker, que permite mantener contenedores de software que funcionan para tareas específicas, y que puede ser implementado dentro de PaaS.

- **Infrastructure as a Service (IaaS):** Finalmente, IaaS fue la primera noción de Cloud Computing, donde el proveedor entrega principalmente el hardware, enfocados en las máquinas virtuales, y con el mínimo software, permitiendo que el usuario pueda personalizar a su gusto cada máquina, pero con el costo de requerir mayor esfuerzo para levantar cada equipo.

Además de la clasificación por modelo de servicio que los proveedores pueden entregar en sus Clouds, también existen diferencias en el tipo de ambiente y topologías *Cloud*, notándose tres:

1. *Private Cloud*: En la “nube privada”, toda la infraestructura es provista por sólo una organización, donde no existe el concepto de compartir recursos fuera de la nube de dicha organización, con fines de mantener la seguridad de los clientes al administrarla de manera aislada. No obstante, para ser considerada *cloud*, debe compartir características de una, como la virtualización de servicios, y balanceo de carga.
2. *Public Cloud*: Para el caso de la nube pública, es lo contrario. La infraestructura y aplicaciones requeridas por el cliente pueden ser obtenidas de distintas fuentes, bajo demanda. Aquí aparece el concepto de *pooling*, que engloba la agrupación de diferentes tipos de recursos para ser utilizados por los usuarios a su debido tiempo. En una nube pública, la escalabilidad de uso por parte de clientes es enorme, permitiendo asignar recursos como el usuario requiera. Algunas famosas *public clouds* incluyen Amazon AWS y Microsoft Azure.
3. *Hybrid Cloud*: Uno de los modelos preferidos por las organizaciones es la nube híbrida, donde existe una combinación de nubes privadas y públicas. Su forma de implementación permite que las empresas mantengan, por ejemplo, una red privada con datos personales de clientes en una nube privada segura, mientras que la interfaz de *front-end*, servicios web y el acceso visible para los usuarios, puede ser administrado en una nube pública. Otra utilidad es el concepto de *cloud bursting*, donde se mantiene una nube privada para el uso común de las plataformas, y al momento de sobrepasar los límites de recursos, o en emergencias, se envía parte de la información a una nube pública, aligerando la carga en los servicios privados.

Edge Computing

La computación en la frontera, computación frontera o *Edge Computing* está relacionada, al igual que Cloud Computing, de manera directa con IoT. El aumento constante de dispositivos y sensores en IoT, junto con la enorme cantidad de datos que generan cada uno, hace necesario implementar dispositivos especializados en su tratamiento, llamados normalmente sensores y dispositivos de la frontera (Edge-level sensors/devices). Estas herramientas se conectarán de una manera particular a la internet:

- Los sensores y dispositivos en la frontera deben proveer un camino directo a la nube, considerando que poseen los recursos para ello.
- Los sensores formarán agregaciones y agrupaciones alrededor de las puertas de enlaces y routers, entregando *staging areas*, conversiones de protocolos, procesamiento especializado de la frontera, y seguridad y autenticación entre sensores y la WAN.

Estos componentes de la frontera son del tipo remoto, es decir, pueden ser administrados a distancias largas sin mayores problemas. Junto a ello, se suelen categorizar en dos tipos, según su ubicación (Figura 3.18):

- *Near-Edge Components*, o componentes cercanos a la frontera, que están ubicados entre los componentes lejos de la frontera, y las capas de la nube. Estos componentes tienen la capacidad de coexistir con la infraestructura de la WAN, como antenas telefónicas y estaciones de switching, lo que permite implementar SD-WAN, que reemplaza las conexiones típicas de routers en WAN con métodos y aplicaciones de software.
- *Far-Edge Components*, que son los componentes lejanos de la frontera. Consisten de dispositivos de procesamiento, capaces de comunicarse, administrar e intercambiar datos con la nube y/o componentes Near-Edge. Aunque están lejanos de la capa de la nube principal, siguen teniendo acceso mediante el dispositivo cercano a la frontera padre. Los componentes Far-Edge no obstante están más cercanos a los sensores y usuarios finales, por lo que requieren una conexión en tiempo real fuerte, diseño seguro y baja latencia.

Fog Computing

La computación en la niebla es el siguiente paso luego de *Cloud* y *Edge Computing*. Planteado en 2014 por Cisco, está muy relacionado a este último paradigma, ya que busca optimizar tiempos de latencia y costos, pero en este caso, la “niebla” representa una arquitectura a un nivel horizontal, distribuyendo los recursos y servicios a través de la red. Dichos elementos o nodos están ubicados en cualquier lugar, entre la nube y los sensores, garantizando descentralización, y entregando servicios de almacenamiento, cómputo, funcionalidades de red, etc.

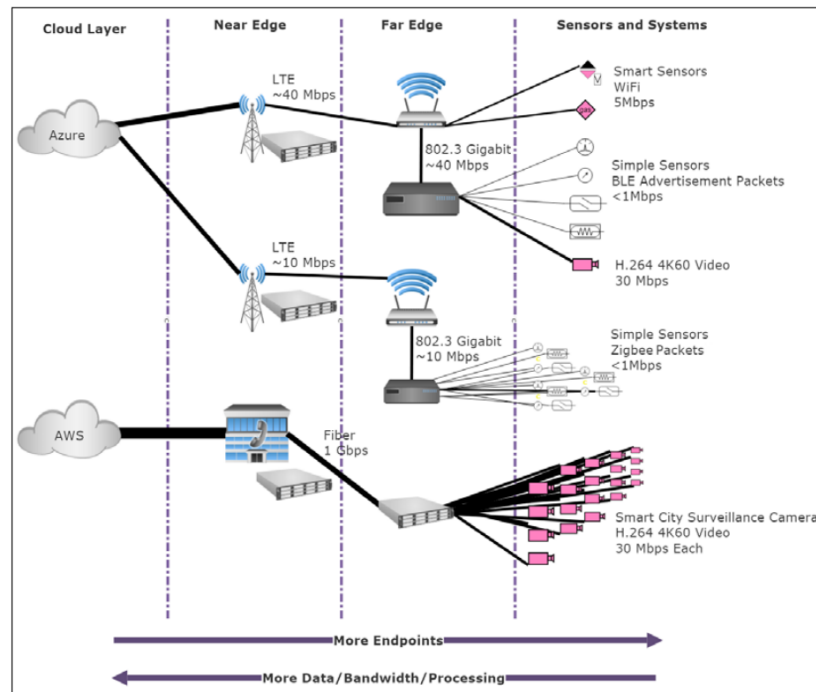


Figura 3.18: Comparación en distancia y recursos entre componentes Near-Edge y Far-Edge.
Fuente: Lea, Perry

El surgimiento de *Fog Computing* está muy relacionado con la filosofía de *Hadoop* y el algoritmo *MapReduce*, en el que está basado. MapReduce es un método de mapeo, dividido en tres fases: fase **map**, en la que se aplican funciones de cómputo a los datos; fase **shuffle**, donde los datos serán redistribuidos según se necesiten. Este paso es el más relevante, ya que todos los datos dependientes a un nodo. Finalmente, la fase **reduce**, donde el procesamiento ocurrirá en todos los nodos en paralelo. Como se observa, el funcionamiento de MapReduce es tomar el procesamiento hacia donde están los datos, y no mover los datos hacia los procesadores. Ello reduce los cuellos de botella presentes en la transmisión constante de datos, sobre todo en ambientes que generan múltiples de tipo estructurado y no estructurado, como IoT y Big Data, que deben procesarlos en tiempo real, observándose la grande diferencia que poseen estas dos tecnologías respecto a bases de datos tradicionales: los datos fluyen sin parar, no son estáticos.

Comparación entre Cloud, Edge y Fog Computing

Comparando **Cloud** a Edge y Fog Computing, las diferencias son notorias. Siendo el primero un paradigma donde los servicios se ofrecen a través de la internet, y la capa donde vive la gran mayoría de los datos, los demás paradigmas funcionan con la primicia de entregar servicios y dispositivos que mejoren la comunicación entre los protagonistas de Cloud, que son los servidores y aplicaciones de proveedor correspo-

niente, y dispositivos físicos que generan datos, como los sensores para IoT.

En el caso de **Edge Computing**, su implementación se basa en el concepto de llevar el procesamiento cercano a donde los datos están siendo generados mediante, por ejemplo, un microchip o un sistema integrado en un sensor, que le permita comunicarse con la WAN. A veces, *Edge* será un conjunto de puertos de enlace, para arquitecturas con *endpoints* restringidos, que estarán conectados directamente a dichas puertas. En el contexto de comunicación *máquina-a-máquina*, el procesamiento *Edge* se refiere a una correlación muy fuerte entre un dispositivo *Edge* (máquina cliente), y un servidor localizado en cualquier lugar. Lo más importante, es que *Edge Computing* está pensado para resolver problemas de latencia y uso innecesario de ancho de banda, además de agregar servicios de seguridad cercanos a la fuente de los datos. Cabe notar que un dispositivo *Edge* estar relacionado a un servicio *Cloud* y a operadores de red, a costo de latencia, no obstante, no participa de manera directa en la infraestructura de *Cloud*.

Respecto a **Fog Computing**, comparte muchas características con *Edge Computing*, incluso según el modelo utilizado, podrían ser sinónimos. La primera diferencia respecto a los componentes de la frontera, es que en *Fog Computing* los nodos comparten un *framework* y APIs en común, que utilizan para comunicarse, además de conectar con otros servicios *Cloud* relacionados. Otro punto relevante es que los nodos en *Fog*, son una extensión de *Cloud*, donde comparado a los componentes de *Edge*, estos no necesariamente están relacionados con la nube. Otra diferencia clave, es que los nodos en *Fog* pueden estar ordenados de manera jerárquica y en capas según sus funcionalidades, permitiendo además realizar balanceos de carga, dirigiendo datos de norte a sur o de este a oeste según las necesidades en cada nodo. A modo de resumen, se podría considerar que los nodos en *Fog* son simplemente infraestructura en una nube híbrida (*Hybrid Cloud*).

Otro concepto relevante, es el de **Mist Computing**, o *cloudlet*, funcionando como pequeños microcontroladores y computadores integrados de bajo costo y energía, insertos en el extremo de una red *Edge*. Su función es trabajar lo más cerca posible de los sensores, para recolectar datos y realizar servicios de cómputo junto a la fuente, conectándose a través de protocolos estándar a los nodos *Fog*, como por ejemplo, en termostato inteligente 3.19.

3.9.3. Aplicaciones actuales en Cloud, Fog y Edge Computing:

- **Cloud Computing en la ciudad de Edmonton, Canadá:** A partir de 2019, la Oficina de Seguridad de la Información Corporativa dentro de la rama de Ciudad abierta y Tecnología de la ciudad de Edmonton, comenzó a crear e implementar directivas y normas formales en torno a la ciberseguridad, que incluye el uso de servicios en la nube. Han publicado también una serie de documentos que cubren los requisitos contractuales y los controles clave relacionados con servicios en la nube, conocidas como "marco de gobernanza" de la computación en nube, según las mejores prácticas

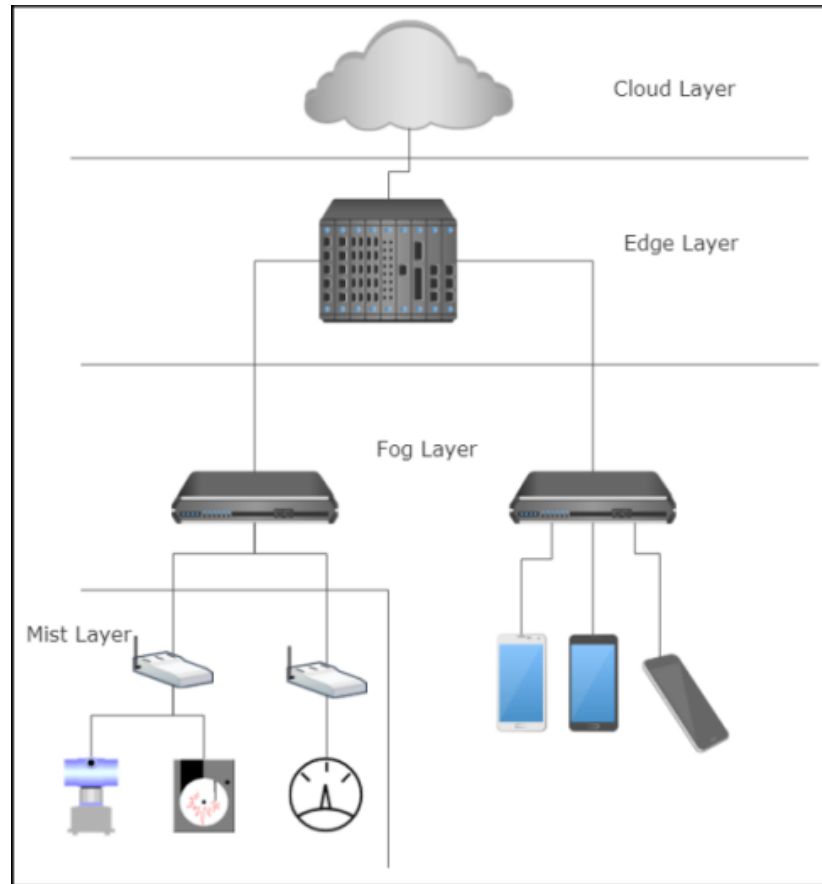


Figura 3.19: Relaciones entre los componentes de las distintas capas. Fuente: Lea, Perry

del rubro. Estas mejores prácticas pueden considerarse en dos categorías; antes de que se ponga en marcha un servicio en la nube (preimplementación), y una vez que ese servicio se está utilizando (operaciones continuas) [Office of the City Auditor, 2021].

- **Iniciativas IoT y Cloud en Singapur:** Desde hace varias décadas, Singapur ha sido una de las líderes en el desarrollo innovativo de tecnologías para ciudades inteligentes, y como cualquier otra ciudad, posee problemas diarios que involucran a la población, siendo uno de los más relevantes el crecimiento continuo de esta. Las consecuencias de ello, han llevado en un aumento excesivo del consumo de agua y energía y la necesidad de importar desde Malasia, lo que llevó a la ciudad a implementar sensores de consumo en cada apartamento coordinado con aplicaciones que recogen datos, los cuales han sido vitales para realizar un análisis y seguimiento del desperdicio de recursos por parte de la población. Junto a ello, además se han implementado otro tipo de iniciativas, enfocadas en la salud de personas mayores, con sensores conectados continuamente a pacientes para entregar un monitoreo constante para doctores, y la implementación de sensores para reducir el tráfico. Todo ello, ha sido relevante gracias a la coordinación de tecnologías como IoT y Cloud Computing, permitiendo mejorar la calidad de vida de las personas [Ambekar *et al.*, 2021].

3.9.4. Conclusión

La computación en la nube, frontera y niebla han mostrado diferentes acercamientos que, durante el avance de las TI, se han hecho para la gestión de datos masivos, que han provocado un avance enorme para el desarrollo tanto de aplicaciones que utilizan internet constantemente, como de infraestructura y dispositivos físicos como sensores, antenas, routers, servidores, etc. Con dicha gestión, se ha observado que la necesidad de implementar estas nuevas metodologías en el ámbito de *computing* es vital para una *smart city*, donde el aumento de datos circulantes es una realidad.

De las principales conclusiones, se observa que el uso de tecnologías de *computing* requieren manejar y desarrollar diferentes tipos de herramientas, que deben integrarse de tal manera que se minimicen costos de recursos, abarcando áreas de telecomunicaciones para la infraestructura de red, electrónica para los dispositivos como sensores, por ejemplo, e informática para las aplicaciones y manejo de los datos en general, siendo uno de los principales desafíos para los líderes en la ciudad encontrar el equilibrio y apoyar de manera transversal cada disciplina.

Se ha observado que el uso de tecnologías de *computing* puede mejorar sustancialmente la calidad de vida tanto de los ciudadanos a nivel individual, como a un nivel más complejo para las organizaciones, lo cual puede llevar a una multitud de oportunidades a nivel de eficiencia en las comunicaciones, utilizando la nube para evitar el procesamiento de manera física, o aumentar la velocidad de transmisión de datos con la frontera y la niebla, permitiendo que las organizaciones puedan dirigir sus esfuerzos en potenciar áreas más relacionadas a la gente, ya sea mediante productos o también servicios.

3.9.5. Referencias

- IoT and Edge Computing for Architects: Implementing edge and IoT systems sensors to clouds with communication systems, analytics, and security (2a. edition). Perry Lea. Packt Publishers, 2020.

CAPÍTULO 4

VALIDACIÓN DE LA SOLUCIÓN

Para validar que la información propuesta está acorde a lo que se espera como material útil para generar clases de tecnologías disruptivas, se determinó que la mejor opción es contrastar el contenido elaborado y las temáticas utilizadas, con lo que se espera de un futuro curso centrado en estas tecnologías, utilizando una encuesta hacia posibles profesionales del área que abarquen no necesariamente un perfil específico de las tecnologías de la información, si no que se enfoque hacia la sostenibilidad de una ciudad, y los posibles intereses que demuestren.

Dicho lo anterior, se determinó que dada la cantidad de información disponible, y en honor al tiempo de los voluntarios que apoyaron en la generación de información para las encuestas realizadas, el método se centró en tres secciones relevantes:

- Tecnologías.
- Contexto de la ciudad.
- Aspectos generales de posibles clases.

Las preguntas enfocadas en tecnologías, se centró en conocer el conocimiento general de los profesionales interesados, con el objetivo de determinar si se cumple lo previsto con los análisis previos de profesionales que han realizado investigaciones de tecnologías disruptivas centradas en el bienestar de la sociedad: qué tanto conocen los usuarios las tecnologías que se usarán como base para el material docente, y material didáctico de algún futuro curso enfocado en tecnologías disruptivas para ciudades inteligentes sostenibles.

Para ello, la primera pregunta *¿Qué tanto conoce de la tecnología en cuestión?*, busca conocer en una escala de 1 a 5, con el máximo valor , cinco, siendo representación del mayor conocimiento. Las tecnologías revisadas fueron:

- Big data
- Blockchain
- Inteligencia Artificial
- Internet de las Cosas
- Machine Learning
- Realidad Virtual y Aumentada

¿Qué tanto conoce del concepto Big Data?

 Copiar

23 respuestas

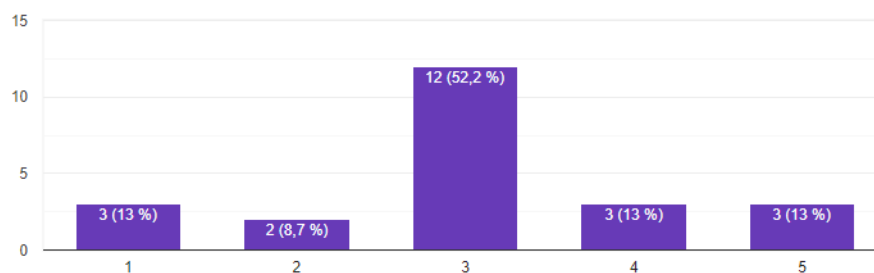


Figura 4.1: Conocimiento de Big Data.

Fuente: Elaboración Propia.

¿Qué tanto conoce del concepto Blockchain?

 Copiar

23 respuestas

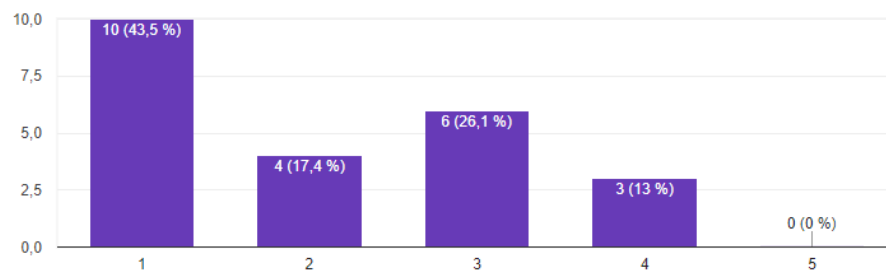


Figura 4.2: Conocimiento de Blockchain.

Fuente: Elaboración Propia.

¿Qué tanto conoce del concepto Inteligencia Artificial?

 Copiar

23 respuestas

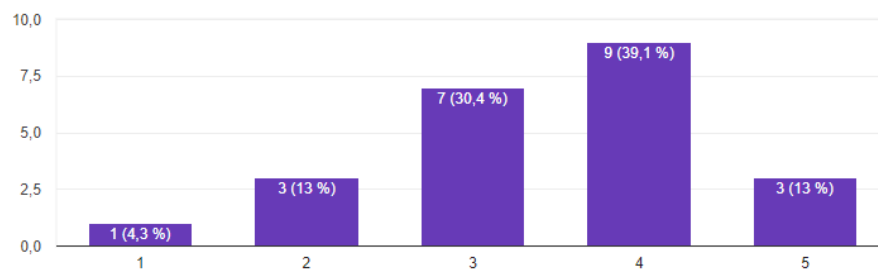


Figura 4.3: Conocimiento de Inteligencia Artificial.

Fuente: Elaboración Propia.

¿Qué tanto conoce del concepto Internet de las Cosas?

 Copiar

23 respuestas

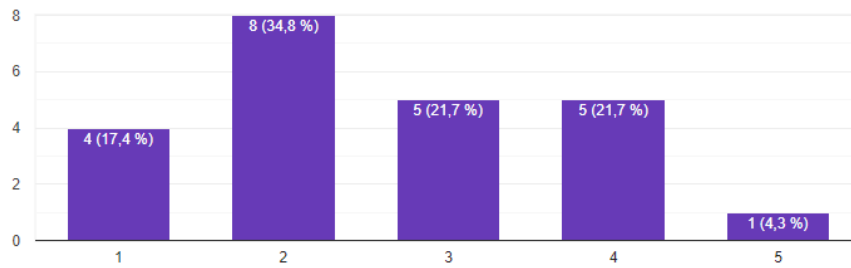


Figura 4.4: Conocimiento de Internet de las cosas.
Fuente: Elaboración Propia.

¿Qué tanto conoce del concepto Machine Learning?

 Copiar

23 respuestas

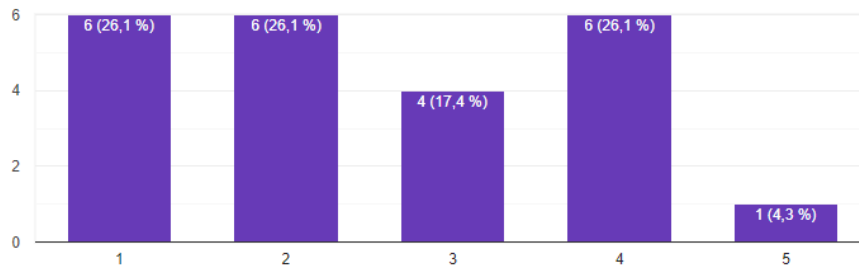


Figura 4.5: Conocimiento de Machine Learning.
Fuente: Elaboración Propia.

¿Qué tanto conoce del concepto Realidad Virtual y aumentada ?

 Copiar

23 respuestas

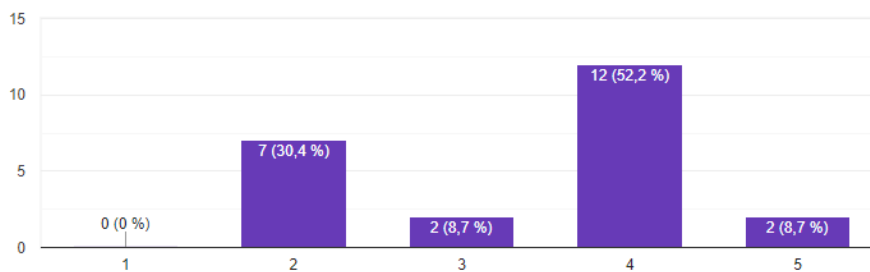


Figura 4.6: Conocimiento de Realidad Virtual/Aumentada.
Fuente: Elaboración Propia.

Respecto a la pregunta de qué tanto conoce la tecnología, se observan distintos casos según lo presentado. En una escala de 1 a 5, con 1 siendo conocimiento mínimo, o nulo, y 5 siendo el máximo nivel, para el caso de Big data (fig. 4.1, se observa que un 74 % de los encuestados conoce desde nada a en parte de la tecnología, con un 52,2 % teniendo un conocimiento parcial. Para blockchain (4.2) Los resultados son mucho más inferiores, resultando con un 43,5 % de participantes con conocimiento mínimo. Observando el resultado de inteligencia artificial (fig. 4.3), se observa que las personas poseen un conocimiento moderado, con los puntajes 3 y 4 abarcando un 69,1 % , lo cual se bastante interesante para ser un tópico variado. En el caso de Internet de las cosas (fig. 4.4, los resultados se mantuvieron bastante uniformes entre la nota mínima de 1 y 4, igualmente con Machine Learning 4.5, lo cual se puede presentar debido a las distintas áreas de conocimiento de los profesionales encuestados. Por último para el caso de realidad virtual y aumentada (fig. 4.6, se obtuvieron resultados favorables al conocimiento de las personas, lo cual es entendible, debido al aumento de aparatos, que incluye móviles como dispositivos de juegos, que utilizan VR y AR, resultando en su mayoría con conocimientos intermedios.

Con los resultados analizados se determina que la gran mayoría de interesados posee un conocimiento probablemente básico o inicial en el uso de este tipo de tecnologías, por lo que realizar un material enfocado en ellas, y dirigiéndolo hacia sus aplicaciones en las ciudades podría ser bastante provechoso, tanto para mejorar las habilidades de los profesionales, como para su posible entendimiento hacia aplicaciones enfocadas en la sociedad

Para completar, las siguientes preguntas se enfocaron en conocer qué aspectos, como profesionales, observan relevantes para una ciudad, con el objetivo de determinar si el enfoque del material está alineado al interés de las personas, como para conocer las opiniones generales de personas del área.

Para ello, se realizó una pregunta enfocada en que tan relevante consideran los tópicos a continuación utilizados en la ciudad

- Capital Humano
- Cohesión social
- Economía
- Gobernanza
- Medioambiente
- Movilidad y Transporte
- Proyección Internacional
- Tecnología
- Planificación Urbana

preguntando , ¿Qué tan relevante le parece los siguientes tópicos para material de estudio en ciudades inteligentes sostenibles?, y observándose los siguientes resultados en las figuras 4.7, 4.8, 4.9 y 4.10:

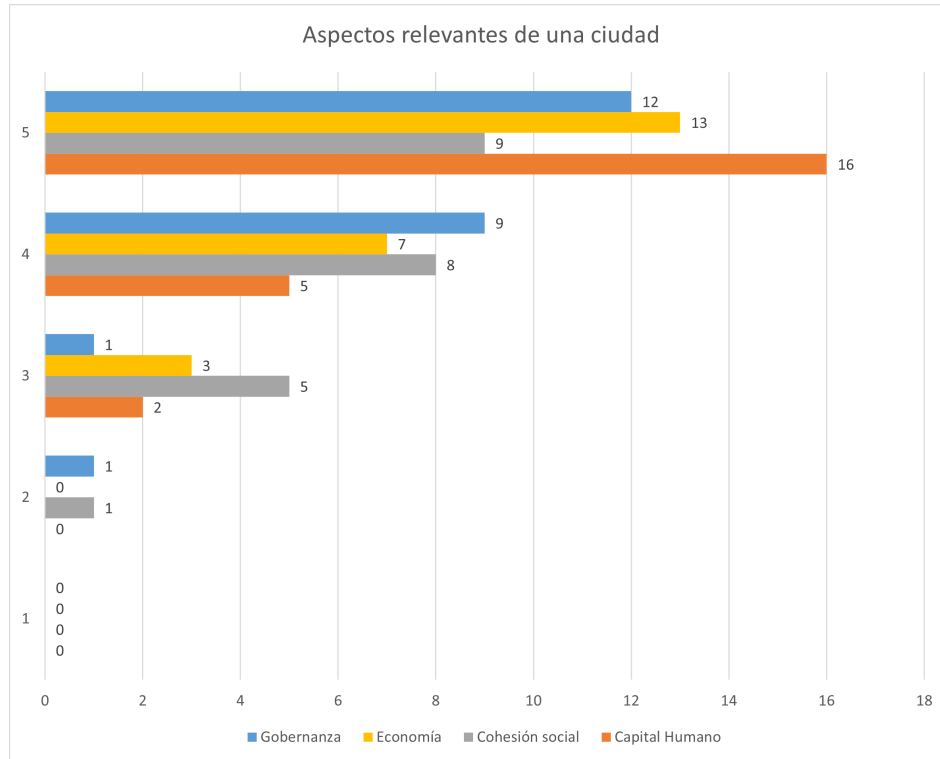


Figura 4.7: Aspectos relevantes de una ciudad (1).
Fuente: Elaboración Propia.

Tomando como referencia principalmente los términos porcentuales de las figuras 4.9 y 4.10, los puntos que se consideran más relevantes son la tecnología, el medioambiente y el capital humano. Dicho resultado se acerca bastante a lo esperado con una ciudad inteligente sostenible. Se observa que el principal resultado es la tecnología, que esta memoria busca potenciar al aplicarlas a ciudades inteligentes; el medioambiente es un punto clave para garantizar una sostenibilidad con el tiempo y adecuada a los requisitos tanto internacionales, como sociales, siendo un ejemplo la crisis del calentamiento global. El capital humano también concuerda con lo que busca esta memoria, mejorar las capacidades de los profesionales, por lo que los objetivos que esperan las personas que apoyaron en las encuestas se alinean con los resultados.

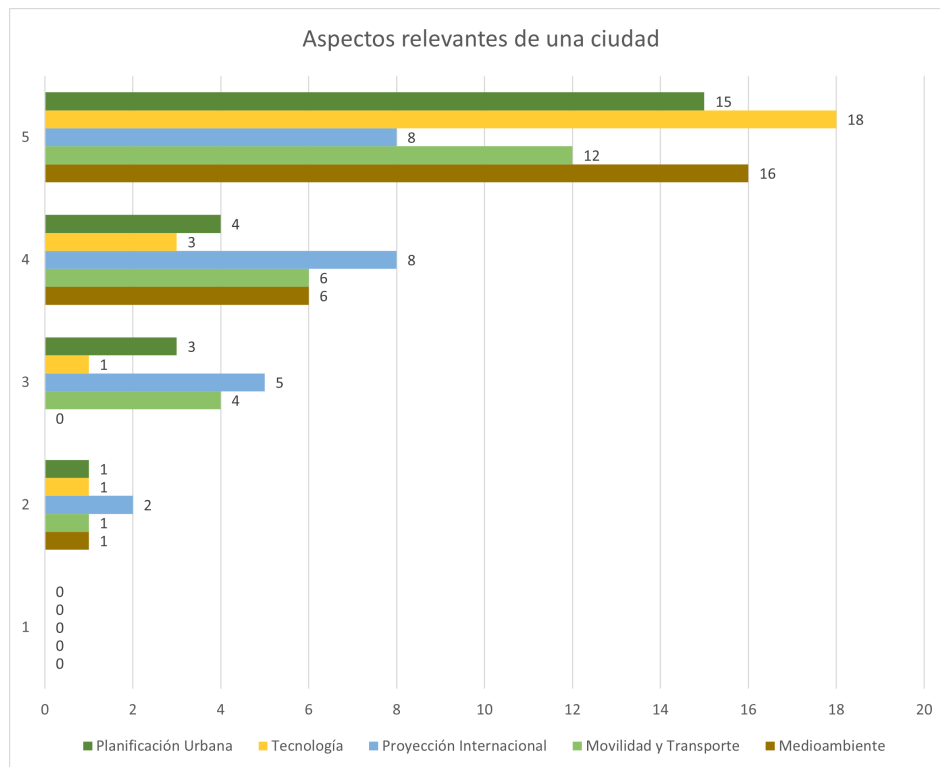


Figura 4.8: Aspectos relevantes de una ciudad (2).
Fuente: Elaboración Propia.

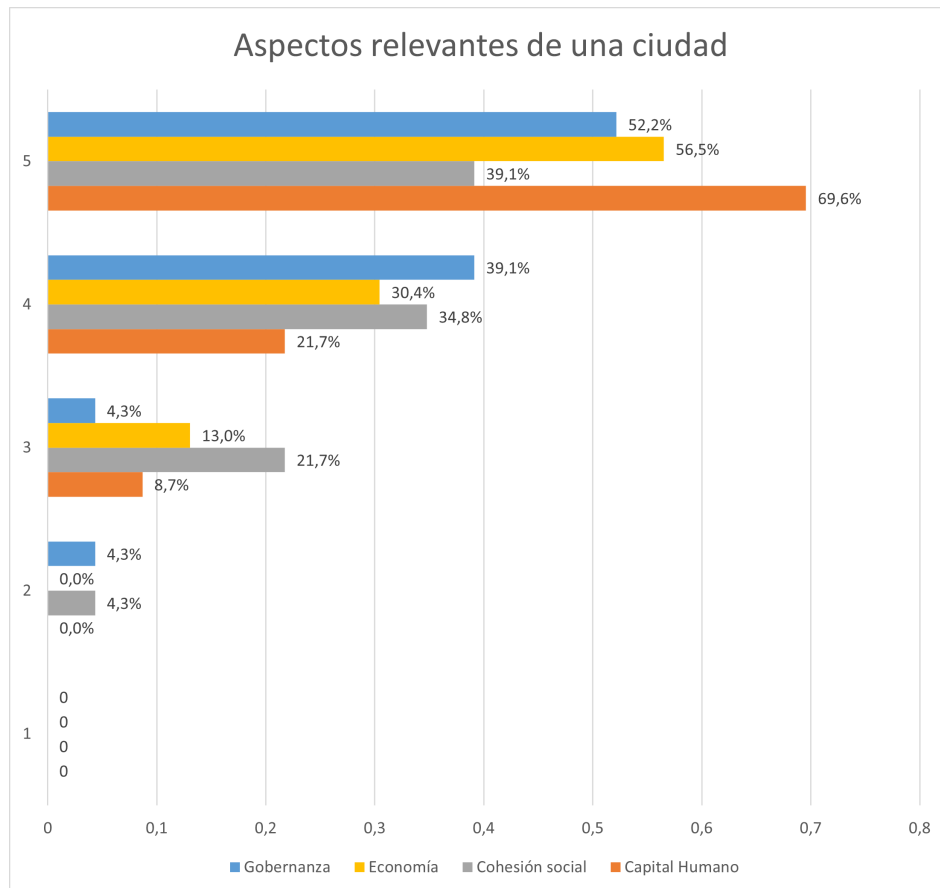


Figura 4.9: Aspectos relevantes de una ciudad en porcentajes (1).
Fuente: Elaboración Propia.

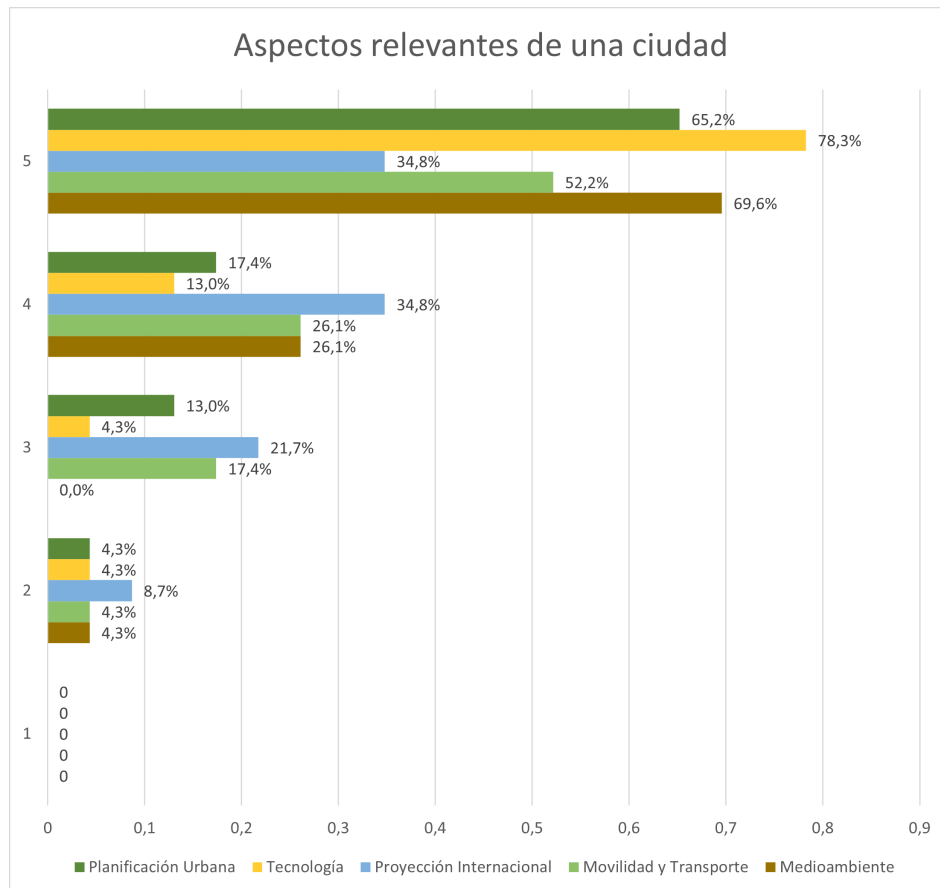


Figura 4.10: Aspectos relevantes de una ciudad en porcentajes (2).
Fuente: Elaboración Propia.

Otro punto relevante que se consideró, es cómo influye la tecnología en aspectos generales de una ciudad. Para ello la pregunta realizada fue : *¿Qué tan relevante considera que es la tecnología en los siguientes ámbitos?*, considerando que los ámbitos generales abarcan:

- Comunicaciones
- Economía
- Educación
- Energía
- Entretenimiento
- Transporte
- Salud

Se obtuvieron los siguientes resultados en las figuras 4.11 y 4.12:

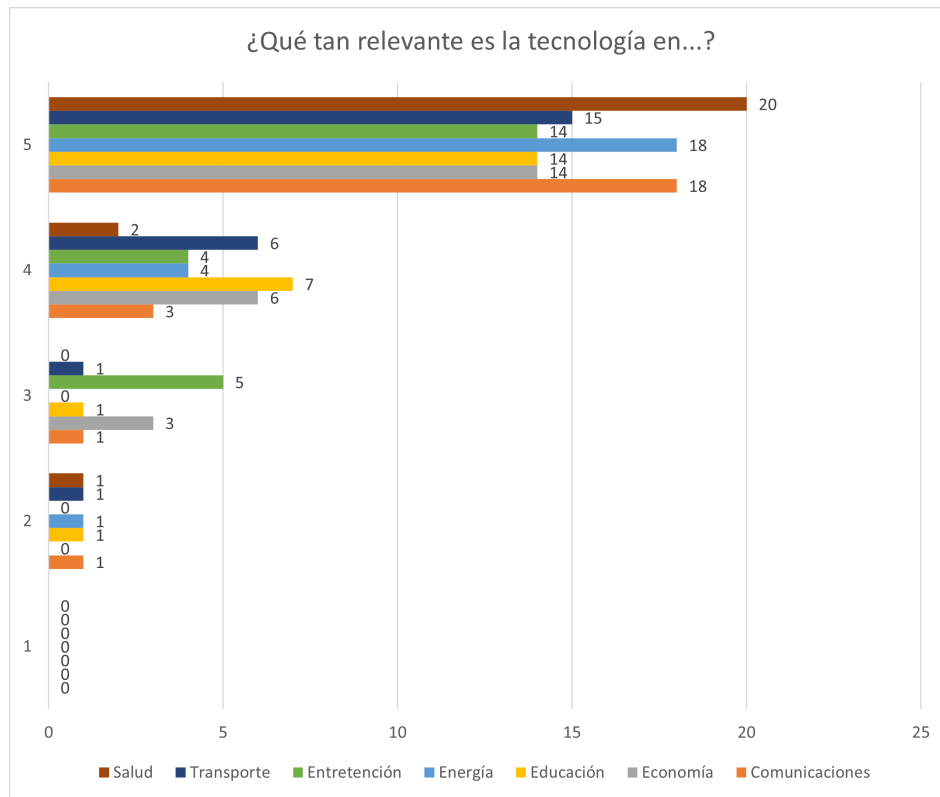


Figura 4.11: Relevancia tecnológica.
Fuente: Elaboración Propia.

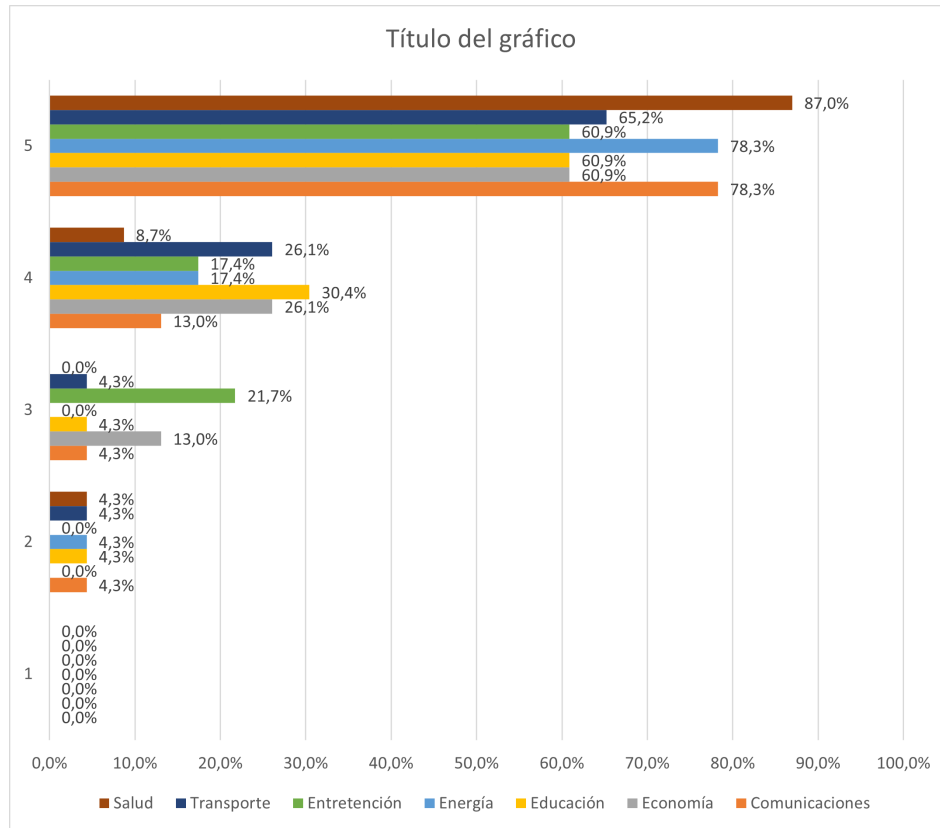


Figura 4.12: Relevancia tecnológica en porcentajes.
Fuente: Elaboración Propia.

De los temas consultados, se observa que en todos los puntos generales de una ciudad, sobre un 61 % de los encuestados indicaron que es muy importante. , siendo Salud, Energía y Comunicaciones las más votadas. Contrastando con lo investigado en el material. Se observa que las tecnologías disruptivas presentadas logran apoyar en esas inquietudes, como el uso de VR/AR para salud (y entretenimiento si aplica), Internet de las cosas para Energía o Cloud Computing, Big data para Comunicaciones. Con ello, se analiza que, si se presentan estas tecnologías, se puede considerar mostrarlas con un enfoque a dichos puntos en las secciones de aplicaciones, y en investigaciones futuras, uno de los focos a responder con ellas es su aplicación en las ciudades inteligentes sostenibles.

Conociendo ya los aspectos generales tanto de tecnología y ciudades, el siguiente foco es acerca de la posible estructura, o contenido a estudiar en una clase en específico. Para, ello, se realizó la pregunta *¿Qué tan relevante considera las siguientes secciones en un curso/clase?*, listándose a continuación:

- Introducción básica a las tecnologías disruptivas
- Herramientas para aplicar la tecnología disruptiva

- Metodologías para implementar la tecnología en las ciudades
- Aplicaciones y casos de ejemplo de la tecnología disruptiva en ciudades
- Actividades, evaluaciones y trabajos grupales, centrados en aplicar las tecnologías

con el objetivo de entender de mejor manera a que parte entregar mayor foco, obteniendo los resultados de las figuras 4.13 y 4.14

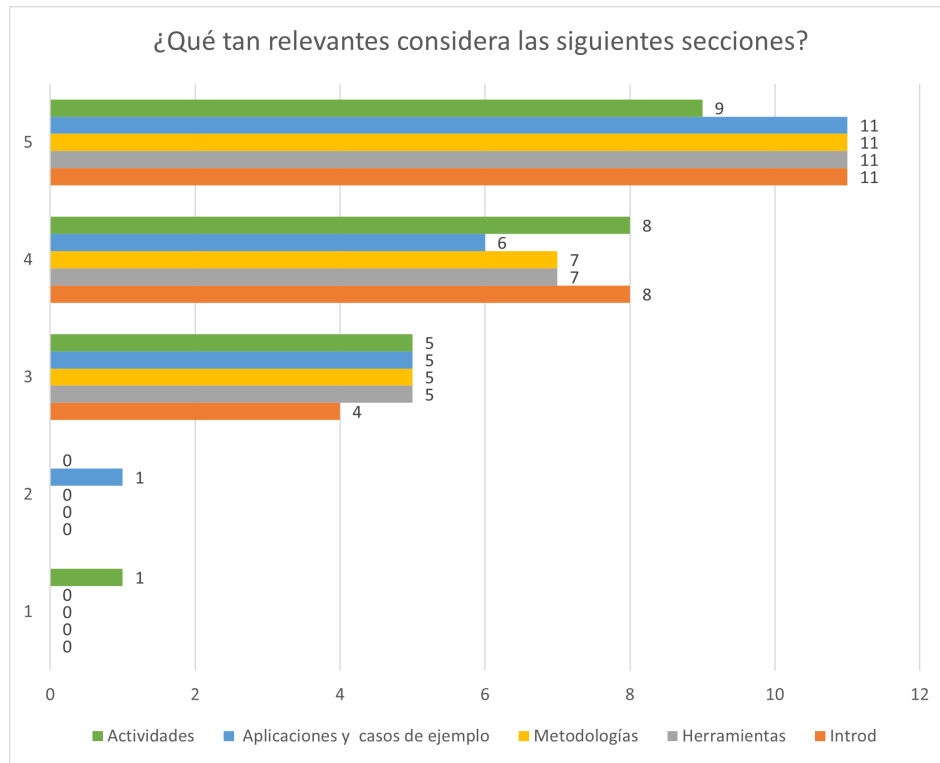


Figura 4.13: Secciones en clase/curso.
Fuente: Elaboración Propia.

Observando la figura 4.14, y considerando los puntajes de más relevancia, 4 y 5, se encuentra que, según los encuestados, un 82,6 % piensa que la introducción es bastante y muy relevante, seguido de las secciones de metodologías y herramientas, con 78,2 %, por lo que se observa que el objetivo inicial de este trabajo, presentar de manera introductoria material de tecnologías disruptivas, puede ser de principal relevancia para futuros estudiantes, condensando la información en puntos específicos. Respecto a los demás tópicos, igualmente se observan con relevancia similar, por lo que también puede ser tomado como base para elaborar las clases a futuro.

La última pregunta, se hizo enfocada en disponibilidad de tiempo para clases y cursos, preguntándose por la cantidad de tiempo por clase, y cantidad de clases en total según la percepción de posibles futuros estudiantes, obteniéndose los resultados de los gráficos

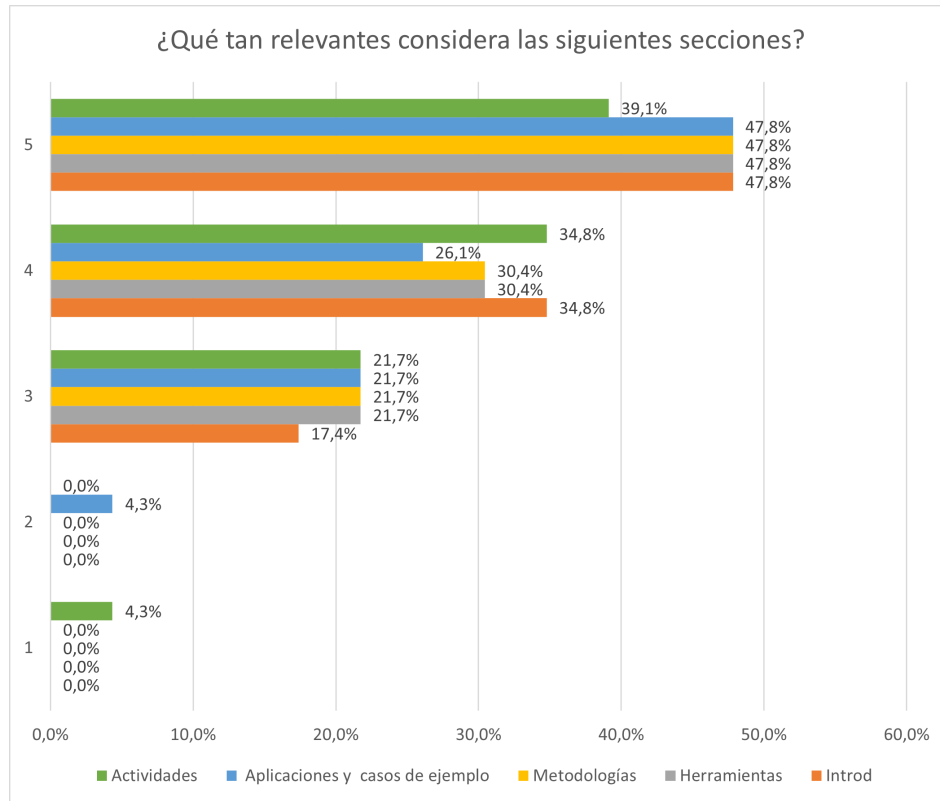


Figura 4.14: Secciones en clase/curso en porcentajes.
Fuente: Elaboración Propia.

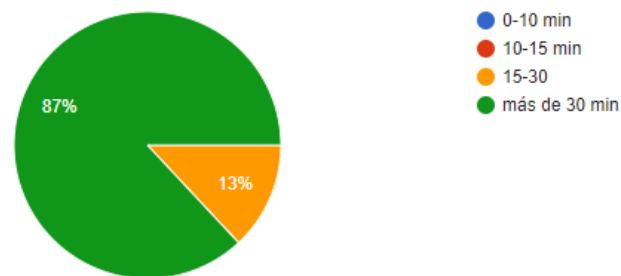
Del gráfico 1 en la figura 4.15, se observa que gran parte de los profesionales encuestados, esperan tener más de 30 minutos de clases, por lo que, pensando en los distintos formatos de clases que pueden ser generados, como tipo MOOC (videos de estudio offline) o clases tradicionales, esta última puede que sea bastante beneficiada, requiriendo agregar información a las clases según la relevancia de las secciones revisadas, por ejemplo.

Para el caso de las clases según el gráfico 2, hay una variedad en opciones, por lo que se determina que la cantidad de capítulos de tecnologías disruptivas podrían ser los determinantes para ello.

De manera general, se ha observado que la encuesta realizada a los profesionales fue bastante provechosa, y puede ser útil considerar lo obtenido como base para elaborar clases según el material docente. No obstante, es labor del futuro docente considerar distintas aproximaciones según su experiencia, establecer métricas intermedias si es necesario, o incluir actividades para interiorizar a los estudiantes, pero que requiere considerar las temáticas de tecnologías disruptivas, que varían constantemente en el tiempo.

Pensando en el tiempo a dedicar en el estudio, ¿Cuánto tiempo de clase estima necesario para comprender el tema?

23 respuestas



Pensando en el tiempo a dedicar en el estudio, ¿Cuántas clases estima necesarias para comprender los temas?

23 respuestas

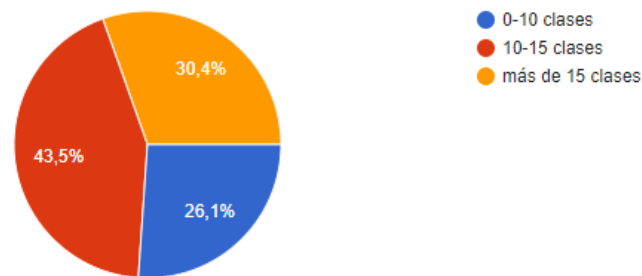


Figura 4.15: Consideraciones de tiempo.

Fuente: Elaboración Propia.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES

Dentro de las conclusiones comprendidas en este trabajo, se observa que el desarrollo de tecnologías emergentes o disruptivas para ciudades inteligentes permitirá que la sociedad logre mejorar aspectos que usualmente son complejos de abordar con las tecnologías tradicionales disponibles. Por ejemplo, uno de los aspectos más llamativos a la hora de aplicar IoT en las ciudades, es la instalación de infraestructura capaz de cambiar la manera de utilizar herramientas del día a día por las comunidades, ya sea la instalación de sensores para controlar el tráfico, o las cada vez más relevantes redes eléctricas inteligentes, permitiendo que las personas puedan participar de una manera directa en la generación de energía y en el flujo de datos dentro de los servicios que proveen las compañías eléctricas.

De manera general, se ha observado que existen ideas iniciales en varios conceptos de ciudades inteligentes, y vincularlos con las tecnologías disruptivas se observa que puede ser una buena iniciativa para permitir que profesionales no especializados en el área de ciudades puedan tener su primer acercamiento, y generar un interés por la especialización en el rubro.

Respecto a los objetivos esperados con la realización de este trabajo, se observa que se logró comprender el trasfondo tras el diseño de material docente centrado en la implementación del curso que permita a nuevos profesionales comprender aplicar, analizar y sintetizar tecnologías disruptivas. Se observa la necesidad de comprender correctamente cada una de las tecnologías para generar contenido lo más fructífero posible, resultando en un desafío bastante complejo, debido a la cantidad de material disponible por diferentes profesionales de cada una de las tecnologías. Se ha determinado que es importantísimo que el futuro docente tome su tiempo en el estudio de cada uno de las tecnologías, e investigar por cuenta propia que aspectos son necesarios considerar como base para enseñar en cada sección de tecnologías disruptivas. Respecto a los objetivos específicos, personalmente se concluye que se lograron cumplir, dado el estudio e investigación realizado en cada una de las tecnologías aplicadas a ciudades inteligentes, organizando los contenidos en una secuencia que pueda ser comprendida por el futuro docente, y jerarquizando mediante la selección de contenidos prioritarios que otros investigadores han desarrollado de manera más profunda en sus estudios.

Respecto a los resultados obtenidos a través de la realización de la encuesta, se ha determinado que existe una dificultad considerable para validar que los tópicos investigados se alinean con lo esperado de material docente para tecnologías disruptivas, dado su poco avance en el tema. El análisis realizado para generar el contenido, en este caso una encuesta, fue vital para permitir la mejor muestra de resultados. Dentro de ello, se analizó en un múltiples posibilidades, como la validación por profesionales dedicados a la docencia en cada uno de los nichos de investigación, o también generar extractos de información para presentar en

cada una de las encuestas, pero se determinó que la dificultad de sintetizar cada una de las temáticas, sumado con la poca disponibilidad de tiempo para cada uno de los encuestados voluntarios, la mejor manera es realizando preguntas, no enfocadas directamente en el trabajo de título o el material docente en cuestión, sino en un enfoque general, que permita a la persona generar sus opiniones respecto a diversos puntos, como su conocimiento de las tecnologías disruptivas mismas, que aspectos considera relevantes de las ciudades para realizar una investigación enfocada en dichos puntos, o también qué tan relevantes es la tecnología en cada uno de los puntos. Con la pregunta enfocada en qué tópicos les parecen más relevantes, junto con el tiempo que consideran más plausible para la realización de las clases, se ha determinado que se espera un curso con clases con bastante contenido, por lo que, si se piensa en la realización de videos del tipo MOOC (plataformas con videos offline, sin transmisión en vivo), o algún otro tipo de video con nuevas metodologías de enseñanzas, se debe enfocar en puntos críticos para enseñar de mejor manera los cursos, con una buena introducción, y presentando herramientas y metodologías de la mejor manera, complementándolo con casos donde la tecnología fue utilizada.

Respecto a trabajo a futuro, se determina que aún queda un amplio camino por recorrer para considerar las tecnologías disruptivas como un pilar para el desarrollo de ciudades inteligentes sostenibles, se debe realizar una investigación constante de cada avance nuevo en las tecnologías investigadas, y estudiar diferentes y nuevas aplicaciones que puedan ser de utilidad incluir para cada sección de estudio, evaluar la realización de proyectos o actividades relacionadas a las tecnologías disruptivas dentro de las ciudades inteligentes sostenibles, o también comprender que área puede ser de mayor relevancia según el contexto en cada una de las sociedades en el que se busca enseñar los tópicos.

Como desafíos generales, se observa que será un arduo trabajo incluir las tecnologías disruptivas como una temática común al momento de hablar de ciudades inteligentes sostenibles, considerando que ya existen varias aplicaciones de uso particular para cada una. Relacionándolo con el proyecto Cap4city y ERASMUS+, Se concluye que será necesario generar un trabajo en sincronía con todos los miembros que participarán de estas iniciativas, y será de vital importancia incluir a todos los miembros de la sociedad para que los estudios sean aplicables a las necesidades de las personas. Se deberá realizar gestiones con gobiernos y municipios para comprobar el estado actual de las ciudades, y analizar la aplicación de las tecnologías. Con ello, otros de los desafíos que más enfrenta la aplicación de tecnologías es la asignación de presupuesto por parte de entidades estatales. Se observa que mucha tecnología aún se encuentra en proceso de masificación a través del mundo, y será necesario realizar compromisos, apostar por el desarrollo del bienestar ciudadano y ser líderes en la aplicación de nuevas herramientas en las ciudades, tanto de países desarrollados como en vías del desarrollo en latinoamérica.

Otras consideraciones implican la necesidad de establecer un compromiso regional, y apoyo mutuo en vías de generar métodos sostenibles de aplicación de las tecnologías, donde se deberá respetar tanto el bienestar ciudadano, que implica tipos de empleo, uso de recursos, y cuidado del medioambiente, como las capacidades de las ciudades para su implementación.

Para ello, es vital desarrollar una cultura enfocada en la sostenibilidad de nuestro entorno, entendiendo las posibilidades que la aplicación de distintos tipos de tecnologías pueden apoyar en diferentes ámbitos como la salud, educación, comunicaciones, transporte, medioambiente, entre otros puntos, y cómo hacer partícipes a los ciudadanos para generar un sentido de pertenencia con las ciudades, el respeto por las áreas públicas y la generación de resultados, a partir de retroalimentación constante, para mejorar los procesos instaurados dentro de la ciudad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [Al Nuaimi *et al.*, 2015] Al Nuaimi, E., Al Neyadi, H., Mohamed, N., y Al-Jaroodi, J. (2015). Applications of big data to smart cities. *Journal of Internet Services and Applications*, 6(1):25.
- [Alablani y Alenazi, 2020] Alablani, I. y Alenazi, M. (2020). Edtd-sc: An iot sensor deployment strategy for smart cities. *Sensors*, 20(24):7191.
- [Ambekar *et al.*, 2021] Ambekar, K., Gupta, R., y Varma, A. (2021). Cloud based smart cities roadmap to build cities using cloud technologies to reduce carbon footprints. *IOSR Journal of Computer Engineering (IOSR-JCE)*, pp. 48–52.
- [Batalla *et al.*, 2017] Batalla, J. M., Mastorakis, G., Mavromoustakis, C. X., y Pallis, E. (2017). *Beyond the Internet of Things Everything Interconnected*. Springer International Publishing.
- [Bespoke Inc., 2022] Bespoke Inc. (2022). Conversational ai chatbot built for rapidly changing global needs.
- [Bian *et al.*, 2013] Bian, F., Xie, Y., Cui, X., y Zeng, Y. (2013). *Geo-Informatics in Resource Management and Sustainable Ecosystem: International Symposium, GRMSE 2013, Wuhan, China, November 8-10, 2013, Proceedings, Part II*, volumen 399. Springer.
- [Biswas y Muthukkumarasamy, 2016] Biswas, K. y Muthukkumarasamy, V. (2016). Securing smart cities using blockchain technology. En *2016 IEEE 18th International Conference on High Performance Computing and Communications; IEEE 14th International Conference on Smart City; IEEE 2nd International Conference on Data Science and Systems (HPCC/Smart-City/DSS)*, pp. 1392–1393.
- [Chowdhary, 2020] Chowdhary, K. (2020). *Fundamentals of artificial intelligence*. Springer Nature.
- [Consejo Regional Metropolitano de Santiago, 2020] Consejo Regional Metropolitano de Santiago (2020). Core aprueba primer "smart city" de Chile.
- [Correa, 1965] Correa, H. (1965). Planning the educational curriculum. *Kyklos*, 18(4):685–692.
- [Devine, 2015] Devine, P. (2015). Blockchain learning: can crypto-currency methods be appropriated to enhance online learning?
- [Digital Dubai, 2020] Digital Dubai (2020). Dubai blockchain strategy.
- [Furht, 2011] Furht, B. (2011). *Handbook of augmented reality*. Springer Science & Business Media.

- [Gascon y Asin, 2020] Gascon y Asin (2020). 50 sensor applications for a smarter world.
- [Global AI Summit, 2022] Global AI Summit (2022). Smartathon.
- [Gogerty y Zitoli, 2011] Gogerty, N. y Zitoli, J. (2011). Deko: An electricity-backed currency proposal. *Social Science Research Network*.
- [Hardjono y Smith, 2016] Hardjono, T. y Smith, N. (2016). Cloud-based commissioning of constrained devices using permissioned blockchains. En *Proceedings of the 2nd ACM international workshop on IoT privacy, trust, and security*, pp. 29–36.
- [Jaag y Bach, 2017] Jaag, C. y Bach, C. (2017). Blockchain technology and cryptocurrencies: Opportunities for postal financial services. En *The changing postal and delivery sector*, pp. 205–221. Springer.
- [Kelly, 2021] Kelly, G. (2021). New video exposes extreme facebook user tracking outside facebook.
- [Lamport et al., 2019] Lamport, L., Shostak, R., y Pease, M. (2019). *The Byzantine Generals Problem*, p. 203–226. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA.
- [Laporte, 1992] Laporte, G. (1992). The vehicle routing problem: An overview of exact and approximate algorithms. *European journal of operational research*, 59(3):345–358.
- [Lee Kuo Chuen, 2015] Lee Kuo Chuen, D. (2015). Handbook of digital currency. Technical report, Elsevier.
- [Maldonado, 2020] Maldonado, J. (2020). ¿qué es el nonce? un número vital en bitcoin.
- [Moreno, 2021] Moreno, M. (2021). El bitcóin alcanza su máximo histórico al superar los 66.000 dólares.
- [Nakamoto, 2008] Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system. *Decentralized Business Review*, p. 21260.
- [Noyes, 2016] Noyes, C. (2016). Bitav: Fast anti-malware by distributed blockchain consensus and feedforward scanning. *arXiv preprint arXiv:1601.01405*.
- [Office of the City Auditor, 2021] Office of the City Auditor (2021). Cloud computing audit.
- [Oussous et al., 2018] Oussous, A., Benjelloun, F.-Z., Ait Lahcen, A., y Belfkih, S. (2018). Big data technologies: A survey. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, 30(4):431–448.
- [Riggins y Wamba, 2015] Riggins, F. J. y Wamba, S. F. (2015). Research directions on the adoption, usage, and impact of the internet of things through the use of big data analytics. En *2015 48th Hawaii International Conference on System Sciences*, pp. 1531–1540. IEEE.
- [Sharma et al., 2021] Sharma, H., Haque, A., y Blaabjerg, F. (2021). Machine learning in wireless sensor networks for smart cities: a survey. *Electronics*, 10(9):1012.

- [Stratigea y Kavroudakis, 2018] Stratigea, A. y Kavroudakis, D. (2018). *Mediterranean Cities and Island Communities: Smart, Sustainable, Inclusive and Resilient*. Springer.
- [Tate, 2021] Tate, L. (2021). Geoviewer smart parking app.
- [Ullah et al., 2020] Ullah, Z., Al-Turjman, F., Mostarda, L., y Gagliardi, R. (2020). Applications of artificial intelligence and machine learning in smart cities. *Computer Communications*, 154:313 – 323.
- [United Nations y Social Affairs, 2019] United Nations, D. o. E. y Social Affairs, P. D. (2019). *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision*. United Nations.
- [University of Navarra IESE Business School, 2020] University of Navarra IESE Business School (2020). Índice IESE Cities in Motion.
- [Woetzel et al., 2018] Woetzel, J., Remes, J., Boland, B., Lv, K., Sinha, S., Strube, G., Means, J., Law, J., Cadena, A., y von der Tann, V. (2018). Smart cities: Digital solutions for a more livable future.
- [Yafimava, 2019] Yafimava, D. (2019). Revolutionizing smart cities with blockchain.
- [Yuqiang et al., 2010] Yuqiang, C., Jianlan, G., y Xuanzi, H. (2010). The research of internet of things' supporting technologies which face the logistics industry. En *2010 International Conference on Computational Intelligence and Security*, pp. 659–663. IEEE.
- [Zhang y Wen, 2015] Zhang, Y. y Wen, J. (2015). An iot electric business model based on the protocol of bitcoin. En *2015 18th international conference on intelligence in next generation networks*, pp. 184–191. IEEE.
- [Zhu et al., 2021] Zhu, K., Li, L. D., y Li, M. (2021). A survey of computational intelligence in educational timetabling. *International Journal of Machine Learning and Computing*, 11(1):40–47.