

# Investigación Corta #4: IoT Ciudades Digitales.

## Reconocimiento de Patrones.

Ronald Caravaca M. y Carlos Brenes J.

**Resumen** - Este trabajo de investigación se enfoca en la aplicación de conceptos de Reconocimiento de Patrones y Aprendizaje de Máquina en el área de la “Internet de Las Cosas-IoT de las Ciudades Digitales”.

**Palabras clave** - Internet de Las Cosas-IoT, Ciudades Digitales, Reconocimiento de Patrones, Aprendizaje de Máquina

### I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad se observa una fuerte tendencia de la población a desplazarse y a vivir en zonas cada vez más urbanas motivando el surgimiento de las mega ciudades. Debido a este comportamiento, las ciudades tienen la necesidad de ser cada vez más “inteligentes”. Por lo tanto se integran diferentes tecnologías para beneficiar a la población. [1] Algunos ejemplos son los sistemas de acueductos, de transporte, electricidad y su interacción con la Internet de las Cosas (IoT).

McKinsey and Company estiman que para el 2025, IoT tendrá un potencial impacto económico de 11.1 billones de dólares. Es un hecho que IoT será la mayor fuente de valor de las tecnologías disruptivas. IoT estará adelante de la Internet móvil, automatización del conocimiento en el trabajo y robótica avanzada como se muestra en la figura 1 [2].

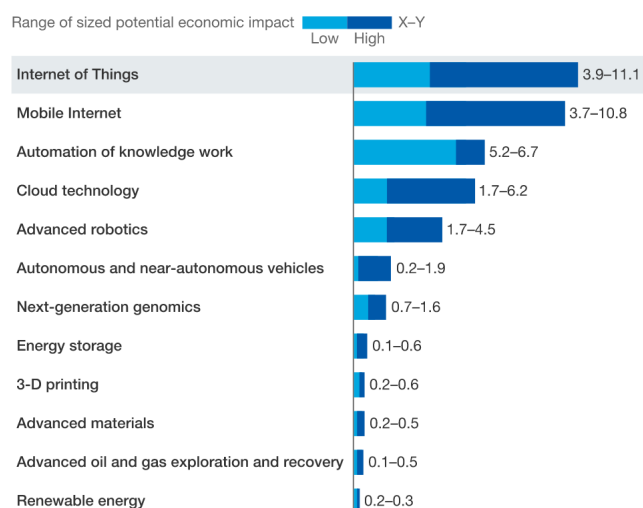


Fig. 1: Impacto esperado de IoT en el año 2025. [2]

En las ciudades Inteligentes, las tecnologías de comunicación e información (TCI) son cada vez más vitales. Como

por ejemplo el monitoreo en tiempo real y control por medio de redes de sensores y actuadores inalámbricos. [1]

Las **Rejillas inteligentes** “Smart Grids,” **SG**, los **Sistemas de transporte inteligente (ITS)**, la **Internet de las Cosas (IoT)**, los **Vehículos Eléctricos (EVs)** y las **Redes de sensores inalámbricos (WSN)** son bloques funcionales importantes.

Las **Rejillas inteligentes (SG)** se caracterizan por la modernización de la red de distribución tradicional de potencia al incorporar soporte de comunicación digital en dos vías en las etapas de generación, transmisión y distribución.

El **Sistema de Transporte Inteligente** busca hacer el tráfico vehicular más “inteligente,” reducir la congestión, optimizar el consumo de combustibles, selección de rutas más cortas, mejorar la seguridad y habilitar los vehículos auto-tripulados por medio de tecnologías de comunicación y sensado.

La “**Internet de las Cosas IoT**,” se refiere a la red mundial de aparatos interconectados por una dirección específica, y siguiendo protocolos estandarizados de comunicación. Permite a las personas y a las cosas estar conectadas a cualquier hora y lugar con otras cosas y personas, por medio de cualquier red de servicios. Esta tecnología es muy útil para administrar recursos en ciudades inteligentes.

Las **Redes de Sensores inalámbricas** se componen de nodos de sensores capaces de sensar señales. Se utilizan para monitorear el medio ambiente, detección de incendios forestales y aplicaciones de sistemas de potencias para momentos de desastre, seguridad y emergencias.

Con los **Vehículos eléctricos**, se busca reducir las emisiones y como potenciales fuentes de energía móviles que se pueden introducir posteriormente a la rejilla eléctrica principal.

### II. INTERNET DE LAS COSAS (IoT)

La **Internet de las Cosas (IoT)** encapsula la visión de un mundo en donde miles de millones de objetos con inteligencia embebida, medios de comunicación, sensado y capacidad de actuación se conectan por medio de redes IP (“Protocolo de Internet”). Figura 2

La internet actual ha tenido una transición fundamental, desde un punto de vista manejado por “hardware”(computadoras, fibras, y cables Ethernet) a un punto de oportunidad manejado por los mercados (Facebook, Amazon, Alibaba, etc). [3]. Esto se ha logrado por la interconexión imperceptible de “intranets”disjuntas con capacidades de software horizontalmente robustas. El IoT requiere de ambientes abiertos y de una arquitectura integrada de plataformas que interactúan entre si.

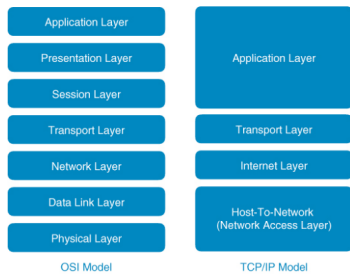


Fig. 2: Capas de Protocolo de Comunicación: Tradicional 7-capas ISO-OSI (Izquierda) vs. Cuatro Capas TCP/IP (derecha) [3]

Objetos inteligentes y sistemas ciber-físicos o simplemente “cosas” son las nuevas entidades de IoT. Los objetos de la vida diaria, tienen micro-controladores, transceptores ópticos o de radio, actuadores, capas de protocolos con capacidades de comunicación en ambientes restringidos, donde el “hardware” meta tiene recursos limitados, permitiéndole a los mismos coleccionar datos del medio ambiente y actuar sobre los mismos, y dándole a ellos un medio de interacción con el mundo físico.

El candidato de **IETF (Internet Engineering Taskforce)** [4] para protocolo de capa de aplicación para IoT es el **Protocolo de Aplicación Restringido (CoAP)**, definido en el RFC 7252 [5]. CoAP es un protocolo de aplicación de “bajo peso” diseñado con el propósito de habilitar funcionalidades de la Internet en dispositivos restringidos que operan en LLNs (**Low power and Lossy Networks**).

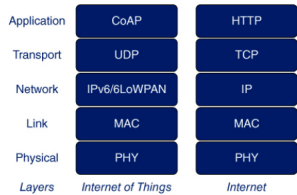


Fig. 3: “Stack” de Protocolo CoAP stack vs. Protocolo HTTP. [5]

Las cosas u objetos pueden ser llevados por los usuarios o ser instalados en el medio ambiente. Típicamente tienen altas restricciones, como por ejemplo, memoria limitada y almacenamiento de energía disponibles, y los mismos están sujetos a requerimientos rigurosos de bajo-coste. El almacenamiento de los datos, procesamiento y el análisis posterior de los mismos son requisitos fundamentales y necesarios para enriquecer los datos “crudos” de IoT y transformarlos en información útil.

Con base al paradigma de Computación en el Borde (“Edge Computing”) mostrado en la Figura 4, la introducción de recursos computacionales en el borde de las redes de acceso puede traer varios beneficios a los diferentes escenarios de IoT: baja latencia, capacidades en tiempo real y conciencia de contexto.

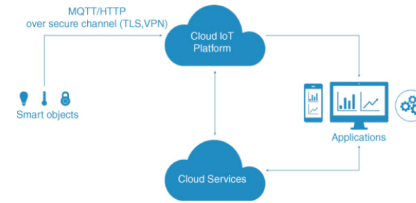


Fig. 4: Arquitectura de la Plataforma IoT en la nube [3]

Los nodos al borde (Servidores o micro centros de datos en el borde) pueden actuar como interfaces en el flujo de datos que se origina de los dispositivos conectados, objetos y aplicaciones. El “Big Data”(conjunto masivo de Datos) almacenado puede ser procesado con nuevos mecanismos, tales como **Aprendizaje de Máquina** y **Aprendizaje Profundo**, transformando así los datos crudos generados por los dispositivos conectados en información útil. La información útil podrá ser diseminada a dispositivos relevantes y a usuarios interesados o almacenada para procesamiento y acceso adicional.

### III. CIUDADES DIGITALES

El constante desarrollo de las ciudades exige evoluciones en los servicios para mejorar la calidad de vida y hacer que los servicios existentes sean más eficientes. En los últimos años, el concepto de *ciudades inteligentes* o *ciudades digitales* ha jugado un papel importante en la investigación y en la industria. El aumento en la población y la complejidad de la infraestructura de las ciudades, genera la necesidad de buscar métodos para manejar los problemas de urbanización a gran escala [6].

IoT desempeña un papel vital en la generación y almacenamiento de datos del entorno de una ciudad, permitiendo a las ciudades utilizarlos en aplicaciones de monitoreo en tiempo real para reaccionar de manera más inteligente ante situaciones como tráfico, aumento en la densidad de población, catástrofes naturales, etc.

Al adoptar tecnologías de IoT en las ciudades, la mayoría de los activos de la ciudad se pueden conectar entre sí, lo que los hace más fácilmente observables y, en consecuencia, más fáciles de monitorear y administrar.

El propósito de construir ciudades inteligentes es mejorar servicios como la gestión del tráfico, la gestión del agua y el consumo de energía, así como mejorar la calidad de vida de los ciudadanos. También se buscan disminuir los gastos en salud pública, seguridad, transporte y gestión de recursos, ayudando así a la economía de la ciudad. [6]

Existen cuatro grandes áreas de las ciudades, donde la implementación de IoT genera un impacto importante y es donde se busca generar mayor desarrollo tecnológico. Esas son: **Energía inteligente, Movilidad inteligente, Ciudadanos inteligentes y Planificación urbana.** [6]

### III-A. Energía inteligente

Esta una de las áreas de investigación más relevantes de IoT porque es esencial para reducir el consumo de energía. Se busca tener un sistema ecológico de alta calidad y asequible. Incluye una variedad de medidas operativas, como monitoreo inteligente de fugas. El uso de energía inteligente implica una re-ingeniería fundamental de los servicios de electricidad clásicos.

### III-B. Movilidad inteligente

La movilidad es otro aspecto importante de cualquier ciudad. A través de IoT se puede mejorar la calidad de vida en las personas. La movilidad inteligente se puede dividir en los siguientes tres componentes principales:

*III-B.1. Autos autónomos:* La gran cantidad de sensores y la posibilidad de conexiones inalámbricas permiten crear automóviles autónomos y controlar el rendimiento del vehículo. Con los datos recopilados de los vehículos, se pueden predecir las rutas más populares o congestionadas, y se pueden tomar decisiones para disminuir la congestión del tráfico. Estos autos pueden mejorar la seguridad de los pasajeros porque tienen la capacidad de monitorear la conducción de los otros autos.

*III-B.2. Control de tráfico:* Optimizar el flujo de tráfico mediante el análisis de los datos del sensor es otra parte de la movilidad en la ciudad. Para el control del tráfico, se recopilan datos de automóviles, cámaras de carretera y sensores instalados en las carreteras, para tomar decisiones como abrir o cerrar rutas, control de señalización, etc.

*III-B.3. Transporte público:* IoT puede mejorar la gestión del sistema de transporte público al proporcionar información precisa de ubicación y ruta a un sistema de transporte inteligente. Puede ayudar a los pasajeros a tomar mejores decisiones en sus horarios, así como disminuir la cantidad de tiempo perdido. Estos sistemas necesitan administrar diferentes tipos de datos, como datos de ubicación del vehículo y datos de tráfico. Los sistemas inteligentes de transporte público deben estar orientados a funcionar en tiempo real para tomar decisiones adecuadas, así como utilizar el análisis de datos históricos.

### III-C. Ciudadanos inteligentes

Este caso de uso para ciudades inteligentes cubre una amplia gama de áreas de la vida humana relacionadas a su entorno, como el monitoreo de delitos y la salud social. El medio ambiente con todos sus componentes es fundamental para la vida. En consecuencia, avanzar en la tecnología para ciudades inteligentes garantiza mejorar la seguridad social. Una vigilancia estrecha dedicada a la delincuencia también contribuye a la salud social en general.

### III-D. Planificación urbana

Otro aspecto importante para las ciudades inteligentes es tomar decisiones a largo plazo. Debido a que la ciudad y

el medio ambiente juegan un papel importante en la vida humana, es crucial tomar decisiones en este contexto. Al recopilar datos de diferentes fuentes, es posible tomar una decisión para el futuro de la ciudad. Tomar decisiones que afectan la infraestructura, el diseño y la funcionalidad de la ciudad se llama planificación urbana. Con tecnologías de IoT se logran grandes beneficios en esta área, porque a través del análisis de datos de ciudades inteligentes, las autoridades pueden predecir qué parte de la ciudad estará más poblada en el futuro y encontrar soluciones para los posibles problemas. Una combinación de IoT y planificación urbana tienen un efecto importante en la programación de mejoras de infraestructura.

## IV. APLICACIONES

Contar con información de calidad es vital para extraer el conocimiento de los datos, pues estos son la base de los algoritmos de aprendizaje automático. La condición de los datos puede impactar de manera negativa o positiva el rendimiento y precisión de estos algoritmos. Debido a que las tecnologías de IoT producen un gran volumen de datos a gran velocidad y de fuentes muy diversas. Preservar la calidad de los datos es una tarea difícil, ya que los datos son obtenidos por una gran variedad de sensores que generan datos con naturalezas diferentes y que necesitan ser procesados y adecuados para las tareas de entrenamiento y análisis. Por lo que el **pre-procesado de los datos** representa una parte vital en el desarrollo de sistemas inteligentes.

### IV-A. Uso eficiente de la energía

A través de algoritmos de aprendizaje automático se busca tener un uso eficiente de la infraestructura energética en una ciudad, estimando la eficiencia energética y mejorando la utilización de los recursos.

El sistema propuesto por [7] utiliza sensores de luz para recopilar información, crear una base de datos y predecir el uso eficiente de energía a través de algoritmos de aprendizaje automático como ANN ("Redes Neuronales Artificiales"). La figura 5 muestra como el consumo de energía es menor cuando se utilizan sistemas inteligentes para el consumo eficiente de la energía.

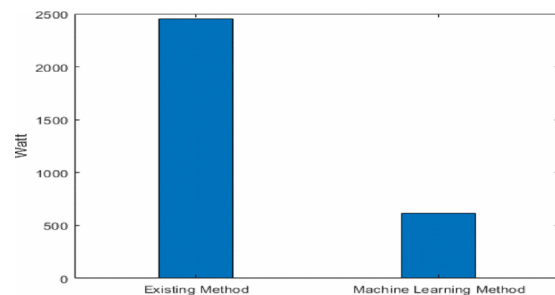


Fig. 5: Métodos existentes vs Aprendizaje Automático

El concepto de **Smart grid** ha sido introducido recientemente como una área de investigación para lograr la eficiencia energética. Se busca que toda la red eléctrica, ya

sea de generación, transmisión, sub-estaciones, distribución, etc. sea eficiente y se logren los siguientes beneficios: [8]

- Transmisión de electricidad más eficiente.
- Restauración más rápida de la electricidad después de las perturbaciones eléctricas.
- Reducir los costos de operación y administración para los servicios públicos.
- Reducir costos de energía para los consumidores.
- Reducción de la demanda máxima, lo que también ayudará a reducir las tarifas de electricidad.
- Mayor integración de sistemas de energía renovable a gran escala.
- Mejor integración de los sistemas de generación de energía del cliente-propietario, incluidos los sistemas de energía renovable.

Las industrias han adoptado métodos de aprendizaje automático, lógica difusa, minería de datos, redes neuronales artificiales (ANN), máquinas de vectores de soporte (SVM) y algoritmos genéticos, para obtener mejores resultados en la estimación de la demanda de electricidad, también se utilizan estos métodos para pronosticar tanto la producción como el consumo de energía. [9]

#### IV-B. Control de tráfico inteligente

Los algoritmos de aprendizaje automático se han implementado en diferentes etapas del control de tráfico, ya sea en la adquisición de datos o en el diseño de algoritmos de control. La recopilación de datos es un componente importante en los sistemas de retroalimentación para medir el tamaño del tráfico.

[10] utiliza el procesamiento de imágenes para calcular la densidad del tráfico. Su enfoque asigna pesos a diferentes caminos de una intersección en función de sus densidades. En el contexto de la ciudad inteligente en manejos de intersección múltiple. Los dispositivos IoT están integrados con modelos de aprendizaje automático basados en lógica difusa, [11] y [12] diseñan sistemas de simuladores de semáforos basados en lógica difusa.

[13] diseñó un sistema de tráfico en ciudades inteligentes utilizando dispositivos IoT y se centra en los siguientes objetivos:

- Recibir y almacenar flujos de datos de tráfico a gran escala de miles de dispositivos IoT conectados.
- Analizar los datos de tráfico y controlar semáforos en tiempo real.
- Reducir la congestión del tráfico áreas específicas de la ciudad.

Utiliza datos de los vehículos e imágenes, para determinar mediante algoritmos de agrupamiento o “clustering” la densidad de vehículos en la vías y así controlar los semáforos.

#### IV-C. Transporte público inteligente

[14] presenta un método para la predicción en tiempo real de los tiempos de llegada de los autobuses en las diversas paradas, cada parada y cada vehículo posee dispositivos IoT

para la recolección de datos utilizados en la predicción. El enfoque propuesto explota los algoritmos de aprendizaje profundo, incluida la regresión lineal óptima de mínimos cuadrados (OLS), la regresión vectorial de soporte (SVR) y las redes neuronales completamente conectadas (FCN). Los resultados experimentales obtenidos muestran que el enfoque FCN supera, en términos de error de predicción absoluto medio, tanto SVR (en un 7,62%) como OLS (en un 15,74%).

#### IV-D. Prevención del crimen

Los algoritmos de aprendizaje automático se han aplicado ampliamente en varios campos, incluido el reconocimiento de imágenes y el procesamiento del lenguaje, con el fin de determinar intenciones en las personas. Esta premisa también es utilizada para detectar comportamientos criminales y prevenir delincuencia.

[15] presenta un método basado en la teoría de las “ventanas rotas (broken windows)” y el análisis espacial. La teoría de las ventanas rotas plantea que la falta de respuesta a actividades delictivas de bajo nivel en un área conducirá a delitos más graves. Con base en esta teoría, diseñaron un modelo que predice la incidencia de delitos en el mes siguiente en función de la incidencia de delitos relacionados con las drogas, fraude, asalto, intimidación, robo de automóviles y robo residencial en el mes actual. Utilizaron algoritmos como redes neuronales artificiales, Random Forest y Naïve-Bayes, obteniendo los mejores resultados con las redes neuronales.

### V. CONCLUSIONES

1. La Internet de las Cosas(IoT) tiene la visión de un mundo en donde miles de millones de dispositivos con Inteligencia embebida pueden comunicarse entre sí.
2. Los datos generados por las cosas u objetos pueden ser procesados y almacenados para que usuarios interesados puedan procesarlos y analizarlos posteriormente para así definir estrategias en diferentes campos de la vida en las mega ciudades.
3. Bajo el paradigma de Computación en el Borde (“Edge Computing”), la introducción de recursos computacionales en el borde de las redes de acceso trae varios beneficios a los diferentes escenarios de IoT como lo son: baja latencia, capacidades en tiempo real y conciencia de contexto.
4. El Conjunto masivo de Datos (“Big data”) generado por los dispositivos en el IoT, pueden ser procesados con nuevos mecanismos de **Aprendizaje de Máquina y Aprendizaje Profundo**. Con esto se busca enriquecer los datos “crudos” de los dispositivos conectados en información útil para los consumidores de las ciudades digitales.
5. Los algoritmos de aprendizaje automático tienen la versatilidad de poder ser entrenados para

realizar cualquier tipo de tarea, esta versatilidad es aprovechada por las tecnologías en desarrollo para ciudades inteligentes o digitales, ya que la variedad de tareas en las cuales pueden ser utilizados es muy amplia.

6. Las aplicaciones para aprendizaje automático en ciudades inteligentes son muy diversas, desde pre-procesado de datos hasta predicción para la toma de decisiones.
7. El aprendizaje automático ha ayudado a solucionar problemas que representan tareas muy complejas con técnicas tradicionales como la integración de múltiples modalidades y datos de diferentes naturalezas.
8. Se busca un avance en la eficiencia energética de las ciudades, ayudando con esto al desarrollo sostenible de las mismas.

## REFERENCES

- [1] P. Yadav and S. Vishwakarma, "Application of internet of things and big data towards a smart city," in *2018 3rd International Conference On Internet of Things: Smart Innovation and Usages (IoT-SIU)*, 2018, pp. 1–5.
- [2] McKinsey and Company, "How can we recognize the real power of the internet of things?" 2017, recuperado el 5 de agosto del 2020. [Online]. Available: <https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-digital/our-insights/how-can-we-recognize-the-real-power-of-the-internet-of-things#>
- [3] S. Cirani, G. Ferrari, M. Picone, and L. Veltri, *Internet of Things: Architectures, Protocols and Standards*. John Wiley & Sons, 2018.
- [4] IETF, 2020, recuperado el 5 de agosto del 2020. [Online]. Available: <https://www.ietf.org/>
- [5] CoRE, "Constrained application protocol (coap)," 2014, recuperado el 5 de agosto del 2020. [Online]. Available: <https://datatracker.ietf.org/doc/rfc7252/>
- [6] M. S. Mahdavinjad, M. Rezvan, M. Barekatin, P. Adibi, P. Barnaghi, and A. P. Sheth, "Machine learning for internet of things data analysis: a survey," *Digital Communications and Networks*, vol. 4, no. 3, pp. 161 – 175, 2018. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235286481730247X>
- [7] G. Yoon, S. Park, S. Park, T. Lee, S. Kim, H. Jang, S. Lee, and S. Park, "Prediction of machine learning base for efficient use of energy infrastructure in smart city," in *2019 International Conference on Computing, Electronics Communications Engineering (iCCECE)*, 2019, pp. 32–35.
- [8] "Smart grid: The smart grid — smartgrid.gov," [https://www.smartgrid.gov/the\\_smart\\_grid/smart\\_grid.html](https://www.smartgrid.gov/the_smart_grid/smart_grid.html), (Accessed on 08/05/2020).
- [9] N. et al, "An overview of deep learning in smart grids," <http://site.ieee.org/indiacouncil/files/2019/10/p122-p125-2.pdf>, (Accessed on 08/05/2020).
- [10] M. M. Hasan, G. Saha, A. Hoque, and Md. Badruddoja Majumder, "Smart traffic control system with application of image processing techniques," in *2014 International Conference on Informatics, Electronics Vision (ICIEV)*, 2014, pp. 1–4.
- [11] C. Karakuzu and O. Demirci, "Fuzzy logic based smart traffic light simulator design and hardware implementation," *Applied Soft Computing Journal*, vol. 10, no. 1, pp. 66–73, 2010, cited By 30. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-70350099479&doi=10.1016%2fj.asoc.2009.06.002&partnerID=40&md5=babbc246285e45e97dd67d9f6bf82cc0>
- [12] I. et al, "Controlling smart-city traffic using machine learning," 2019, pp. 203–208, cited By 0. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85080137897&doi=10.1109%2fFIT47737.2019.00046&partnerID=40&md5=a91a473672f8ea9c7fcb5a99e3509ec1>
- [13] T. Iram, J. Shamsi, U. Alvi, S. u. Rahman, and M. Maaz, "Controlling smart-city traffic using machine learning," in *2019 International Conference on Frontiers of Information Technology (FIT)*, 2019, pp. 203–2035.
- [14] D. Panovski and T. Zaharia, "Real-time public transportation prediction with machine learning algorithms," in *2020 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*, 2020, pp. 1–4.
- [15] Y. Lin, T. Chen, and L. Yu, "Using machine learning to assist crime prevention," in *2017 6th IIAI International Congress on Advanced Applied Informatics (IIAI-AAI)*, 2017, pp. 1029–1030.