



# TIES Revista de Tecnología e Innovación en Educación Superior

## APLICACIÓN DEL INTERNET DE LAS COSAS EN TELECOMUNICACIONES EN INSTITUCIONES DE EDUCACIÓN SUPERIOR

<https://doi.org/10.22201/dgtic.26832968e.2022.5.2>

José Jaime Camacho Escoto

<http://www.ties.unam.mx/>

Fecha de recepción: marzo 02, 2022 • Fecha de publicación: junio, 2022

Junio 2022 | número de revista 5 • ISSN 2683-2968

Acervos Digitales, Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación, UNAM

Esta obra está bajo licencia de Creative Commons  
Atribución-No Comercial 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0)

## APLICACIÓN DEL INTERNET DE LAS COSAS EN TELECOMUNICACIONES EN INSTITUCIONES DE EDUCACIÓN SUPERIOR

### Resumen

Este artículo presenta un panorama de las posibles aplicaciones que puede tener el uso de Internet de las Cosas (IoT) en las Instituciones de Educación Superior (IES). Se abordan mecanismos que pueden incorporarse en la enseñanza de IoT en las IES. Además, se muestran casos de aplicación de trabajos previos, en los que los autores utilizaron la tecnología para moverse de un salón tradicional a salones con enseñanza a distancia. Este último ha probado tener mejores resultados, en lo que respecta a comprensión de los temas. Las herramientas pueden ir desde el uso de clases grabadas hasta el uso de sensores e inteligencia artificial para evaluar la atención de los estudiantes. Por último, se muestra la incorporación de los laboratorios virtuales para la enseñanza a distancia, lo que permite continuar aplicando los conocimientos, incluso si el estudiante no puede asistir presencialmente a las instalaciones de la IES.

### Palabras clave:

Internet de las cosas, telecomunicaciones, educación, enseñanza remota, aplicaciones de IoT.

## APPLICATION OF INTERNET OF THINGS IN TELECOMMUNICATIONS FOR UNDERGRADUATES

### Abstract

This paper presents an overview of the possible applications that Internet of Things (IoT) can have in undergraduate institutions. It also presents some mechanisms to incorporate IoT-related topics and how to teach them. On the other hand, this paper shows some cases of study in which authors used technology to migrate from traditional to remote classroom. It's been proven that the later has proven to have better results than the former in the comprehension of the subject topics. The used tools go from the use of video-recorded classes to the use of sensors and artificial intelligence to assess the attention of the students. Finally, the paper shows the inclusion of virtual laboratories in remote teaching, which allows students to keep on learning even if they can not attend lessons in person.

### Keywords:

Internet of Things, telecommunications, education, remote teaching, IoT applications.

## APLICACIÓN DEL INTERNET DE LAS COSAS EN TELECOMUNICACIONES EN INSTITUCIONES DE EDUCACIÓN SUPERIOR

### Introducción

Internet de las Cosas (IoT) es un paradigma que permite interconectar millones de dispositivos de uso cotidiano a internet. Estos dispositivos pueden proveer de información (sensores) o incluso realizar una acción (actuadores). Gran cantidad de estos suele estar alimentada por baterías, su tamaño es pequeño y las capacidades muy limitadas tanto de procesamiento como de batería. Para que este paradigma pueda llevarse a la práctica, es necesario que sean de bajo costo, pues de otra forma, no serían una tecnología fácil de adoptar por los usuarios convencionales.

Una parte esencial de los dispositivos IoT es el sistema de comunicaciones que tolera transmitir y recibir información de internet. Debido a sus limitaciones, como ya se mencionó, deben ser de bajo costo y bajo consumo eléctrico. La figura 1 muestra un resumen de las tecnologías para comunicaciones en IoT. Se puede apreciar que en el mercado predominan las de baja o media velocidad. Esto se debe a que las tecnologías de mayor velocidad suelen ser más caras, por el uso de frecuencias de espectro bajo licencia, además de consumir más batería, lo que se contrapone a los principios de IoT. Las tecnologías de baja velocidad están disponibles fácilmente para el público en general y son una gran alternativa para la enseñanza en el aula debido a sus precios bajos y a la gran compatibilidad que se tiene con microcontroladores comerciales. La selección de la tecnología que se utilizará

para una aplicación está íntimamente relacionada con las características de la figura 1. De esta forma, si se requiere enviar y/o recibir mucha información, es preferible emplear tecnologías como las celulares o las de red de área local (WLAN, wireless local area network). Si, por otro lado, se requiere tener el mayor alcance posible, las tecnologías Low Power Wide Area Network (LPWAN) serán las más adecuadas.

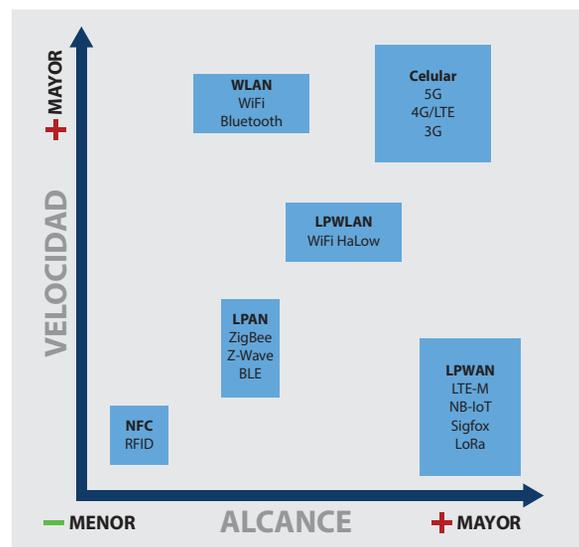


Figura 1. "Tecnologías de comunicaciones en IoT," [Fotografía]. Fuente: elaboración propia.

## Importancia de IoT

La capacidad de interactuar con objetos de uso cotidiano de manera digital hace de IoT una de las tecnologías más atractivas de nuestros tiempos. La información obtenida de los objetos puede ser empleada para tomar decisiones, controlar algún dispositivo o incluso para dar una respuesta de información a los usuarios. Tal es el caso de los altavoces inteligentes que facilitan la comunicación con las personas de la forma más natural posible. Por medio de estos, es posible controlar múltiples dispositivos de nuestro hogar y conocer el estado de algunos más. Es decir, es posible encender una luz, abrir una puerta, regar las plantas o incluso encender múltiples aparatos como la lavadora o una cafetera. Además, podemos conocer información de nuestro hogar y podemos detectar cuando una puerta o ventana se abren, cuando la lavadora termina su ciclo, cuando nuestro café está listo o incluso, podemos saber si hay alguna eventualidad como inundaciones o fugas de gas. De la misma forma, es posible monitorear el consumo de agua, luz y gas, lo que permitirá hacer un uso más responsable de todos los recursos e identificar fácilmente problemas en las instalaciones.

En otros campos, como la agricultura o acuicultura, existen sistemas que ayudan a monitorear de cerca parámetros asociados al crecimiento del producto y así mejorar las cosechas. Supervisar a detalle las variables puede evitar desastres, prevenir tener un lote defectuoso o incluso la pérdida del cultivo. A largo plazo, el análisis de la información recabada por los sistemas IoT apoya la mejora de los procesos de producción. De esta forma, la combinación de sensores y actuadores disminuye la cantidad de mano de obra necesaria para realizar algunas funciones que actualmente se realizan de forma manual. En cambio, esta tecnología requerirá expertos que puedan configurar y dar mantenimiento a los dispositivos IoT.

La industria de manufactura también confía en sistemas IoT para su funcionamiento y mejora de procesos, con la interconexión de sensores se pueden monitorear los parámetros de calidad de los productos y detectar rápidamente lotes defectuosos. Con esto, múltiples tareas que solían hacerse de manera manual, las llevan a cabo sistemas ciber-físicos que suelen ser más precisos y económicos a largo plazo. Si bien, en este entorno la mano de obra humana no puede ser reemplazada, muchas herramientas que solían ser completamente mecánicas, se han convertido en dispositivos de IoT al añadirsele funciones para revisar de forma precisa su funcionamiento.

Los sistemas IoT aún no son una necesidad, estos comenzarán a serlo con el paso del tiempo. Así ocurrió con otras tecnologías como la computadora o el teléfono inteligente, pues en todos los casos facilitan sustancialmente

actividades de la vida diaria que serían muy tardadas si se hicieran manualmente. Es posible que, en un futuro no muy lejano, las empresas que no se adecuen a las tendencias de IoT no podrán competir con las que sí lo hagan, estas últimas tendrán grandes ventajas que las primeras en absoluto. Esta tendencia da pie a que las instituciones de educación superior introduzcan en sus planes de estudio asignaturas que permitan a los profesionistas formarse en el desarrollo y manejo de dispositivos para Internet de las Cosas.

## Enseñar IoT en las universidades Dispositivos de enseñanza del IoT en las IES

En la literatura, es posible encontrar diversos dispositivos creados especialmente para la enseñanza de IoT. Estos pueden ser módulos que se incorporen a las placas ya existentes [1]-[2], o placas con la funcionalidad completa [3]-[5]. Los primeros tienen la ventaja, no es necesario aprender un nuevo lenguaje de programación para utilizarse. Por otro lado, las placas con la funcionalidad completa suelen tener menor tamaño, por lo que funcionan mejor para desarrollos finales.

Un grupo de investigación de Polonia, presentó una plataforma para IoT llamada *Copernicus* [1], que permite a los estudiantes utilizar una placa Galileo o una Raspberry Pi para el desarrollo de aplicaciones, cuenta con módulos para predicción de clima, hogares inteligentes y termostatos.

Los módulos más empleados para la enseñanza son el Photon [5], ESP8266 [4], Raspberry Pi [3] y Arduino [2]. Tanto Photon como el ESP8266 incorporan un módulo WiFi junto con un microcontrolador de gama baja, lo que los vuelve de bajo costo. Ambos tienen implementada la pila de protocolos TCP/IP [6] completa, por lo que es fácil y rápido desarrollar aplicaciones. La Raspberry Pi tiene la ventaja de tener un gran procesador para su tamaño. Además, en su versión 3B+, integra la conectividad con WiFi y Bluetooth. Este dispositivo es considerablemente más caro que los dos descritos anteriormente. Por último, los módulos de Arduino tienen la ventaja de ser económicos y de fácil acceso en México, requieren de una placa de Arduino para funcionar correctamente. Como los módulos son aditamentos para las placas de Arduino, se disminuye el costo de tener múltiples aditamentos al mismo tiempo, ya que el microcontrolador no necesita cambiarse. La figura 2 muestra un ejemplo de un módulo XBee compatible con Arduino. Los pines que se ven debajo admiten la conexión con una placa maestra,

mientras que este módulo únicamente realiza funciones de comunicaciones. Estos además pueden intercambiar las antenas para diferentes aplicaciones.

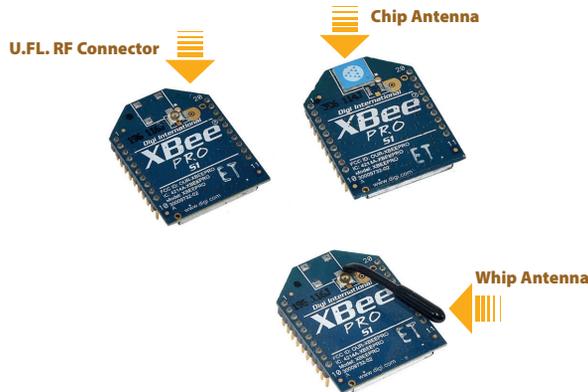


Figura 2. "Módulo XBee de Digi," [Fotografía]. Disponible en: <https://xbee.cl/que-es-xbee/> [Consultado en enero 23, 2022].

Dependiendo del dispositivo y la tecnología que se utilice, es posible crear un sinfín de aplicaciones. La plataforma de AskSensors tiene un ejemplo en el que se conecta un dispositivo ESP32 compatible con Arduino para poder monitorear la calidad del aire utilizando sensores de CO<sub>2</sub>. El dispositivo envía la información capturada en el sensor mediante el WiFi y el protocolo de comunicaciones para IoT MQTT hasta la plataforma AskSensors en la nube. Cuando la información llega a la plataforma, esta se muestra con una interfaz visual que se observa en la figura 3.

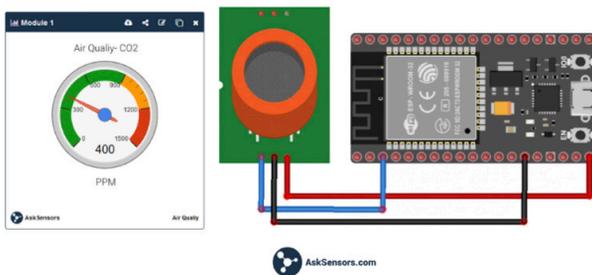


Figura 3. "Sistema de monitoreo de calidad del aire con ESP32," [Fotografía]. Disponible en: <https://blog.asksensors.com/air-quality-sensor-mq135-cloud-mqtt/> [Consultado en febrero 23, 2022].

El código mostrado en la figura 4 muestra un pequeño resumen que ilustra las operaciones que realiza el dispositivo. Primero, se realiza una lectura del sensor para posteriormente dar el formato adecuado para enviarse con MQTT. Por último, se ejecuta la publicación de los datos recopilados en el tema "pubTopic".

```
void loop() {
  if (client.connected()){
    int MQ135_data = analogRead(A0);
    char mqtt_payload[30] = "";
    sprintf (mqtt_payload, 30, "m1=%ld", MQ135_data);
    client.publish(pubTopic, mqtt_payload);
  }
}
```

Figura 4. "Resumen del código utilizado para monitoreo de calidad del aire," [Fotografía]. Disponible en: <https://blog.asksensors.com/air-quality-sensor-mq135-cloud-mqtt/> [Consultado en febrero 23, 2022].

### IoT en Telecomunicaciones en las IES

Las telecomunicaciones se les considera como pilares de los programas universitarios relacionados con IoT [7]- [8]. Las asignaturas impartidas hacen referencia a las capas del modelo OSI [9], que incluyen *las físicas, de enlace, de red y de aplicación*. La capa física se encarga de enviar las señales desde un transmisor hasta un receptor. Por otra parte, la de *enlace* se encarga de controlar la transmisión entre dispositivos conectados directamente. La de *red* vincula los dispositivos, es decir, se conectan a través de otros dispositivos intermedios. Finalmente, la capa de *aplicación* se encarga de proveer servicios para utilizar los datos generados en el sistema IoT.

Las tecnologías más utilizadas para la enseñanza de IoT son ZigBee [2,] - [3] y WiFi [1,] [4]- [5]. Sin embargo, otras tecnologías menos aplicadas también cumplen con los requerimientos para las aulas. Como ejemplo, un chip de la marca Heltec que soporte LoRa, WiFi y BLE, puede tener un precio de entre 13 y 18 dólares. Uno de los motivos por los que WiFi y ZigBee han tenido tan buena aceptación en este entorno es el bajo costo y la fácil accesibilidad al producto. Un módulo WiFi compatible con Arduino puede valer menos de 5 dólares.

Algunas de las tecnologías mencionadas requieren de una infraestructura onerosa para funcionar adecuadamente, es el caso de WiFi HaLow y Z-Wave, que requieren de un punto de acceso para poder ejecutarse. De forma similar, a pesar de que las etiquetas de RFID son muy económicas, requiere de un lector que suele ser costoso debido a que incorpora elementos muy especializados y de alta potencia. Por otra parte, algunas de las tecnologías de comunicaciones para IoT requie-

ren un contrato especial y pago de servicios, como es el caso de las comunicaciones celulares y NB-IoT. Si se desea que cada estudiante tenga un dispositivo para poder realizar experimentos, las tecnologías antes mencionadas se vuelven difíciles de utilizar.

En el área de telecomunicaciones, estos dispositivos de IoT pueden ayudar ampliamente a comprender mejor los conceptos esenciales para cada capa del modelo OSI. En la capa física, los dispositivos pueden ayudar a conocer los esquemas de modulación, codificación y corrección de errores propios de cada tecnología, así como introducir a los estudiantes a conceptos como el ancho de banda, la frecuencia de transmisión, etcétera. Apoyados de alguna instrumentación, los estudiantes podrían incluso ver parte de las señales en forma gráfica.

En la capa de enlace es posible comprobar experimentalmente el comportamiento de los protocolos correspondientes a cada tecnología y compararlo con las ecuaciones teóricas. Además, algunas tecnologías que carecen de capa de enlace (como LoRa o RFID)

aceptan que el estudiante implemente los algoritmos de acceso al medio (MAC) de esta capa. En temas más avanzados, los estudiantes tienen la posibilidad de probar algoritmos de enrutamiento en la capa de red. Para que esto pueda realizarse, es necesario que la tecnología seleccionada permita la conexión punto a punto (es decir, que no se requiere un punto de acceso). Por otro lado, utilizando la capa de transporte, los estudiantes podrán realizar múltiples conexiones simultáneas en un mismo dispositivo haciendo uso de diferentes puertos; además, podrán ejecutar protocolos orientados a conexión, como TCP, o no orientados a conexión, como UDP. Por último, la capa de aplicación permitiría que el estudiante interconecte su sistema con otros sistemas externos (por ejemplo, la nube) y que muestre los datos o los utilice para alguna acción.

La tabla I presenta un resumen de las características de las diferentes tecnologías para IoT revisadas con la finalidad de que el estudiante pueda seleccionar la que mejor se adapte a sus necesidades.

Tabla I

Comparativa de las diferentes tecnologías de comunicaciones para IoT. Los costos son aproximados y en USD, 2022.

TECNOLOGÍA	VELOCIDAD	DISTANCIA	COSTO	REQUIERE CONCENTRADOR	TIENE MAC
RFID	Ultra baja	Ultra corta	\$0.10	Sí	No
ZigBee	Baja	Corta	\$30	No	Sí
Z-Wave	Baja	Corta	\$30	Sí	Sí
BLE	Baja	Corta	\$20	No	Sí
WiFi	Muy alta	Corta	\$5	No	Sí
Bluetooth	Media	Corta	\$4	No	Sí
WiFi HaLow	Media	Media	\$50	Sí	Sí
LTE-M	Muy baja	Alta	\$90	Sí	Sí
NB-IoT	Muy baja	Alta	\$80	Sí	Sí
Sigfox	Muy baja	Alta	\$35	Sí	Sí
LoRa	Muy baja	Alta	\$20	No	Sí
3G	Alta	Alta	\$30	Sí	Sí
4G/LTE	Muy alta	Alta	\$60	Sí	Sí
5G	Ultra alta	Alta	\$150	Sí	Sí

Fuente: elaboración propia.

## Casos de aplicación

En los últimos años, en varios países se ha modificado el modelo tradicional de enseñanza por la llamada aula invertida o *flipped classroom*. Este modelo sugiere que los estudiantes tomen las clases en sus casas (realizando lecturas, viendo videos, etc.) y durante la clase se realizarán las tareas, exámenes, seminarios y otras actividades que requieren la interacción social [10]. Las actividades que se llevan a cabo en casa deben guiarse por los profesores, es decir, no son a criterio de los estudiantes. Este paradigma posibilita que los estudiantes puedan aprender en cualquier lugar (durante sus trayectos, en el parque, etcétera.) aprovechando mejor su tiempo.

El concepto de *Flipped Classroom* fue evaluado por un grupo de investigadores en Kazajistán mostrando mejoras significativas en comparación con el modelo tradicional [10]. El modelo logró un incremento del 15% en la asistencia a las clases, así como un 20% de mejora en las calificaciones finales de los estudiantes. Esto sugiere que el modelo podría tener buenos resultados si se aplicara en las IES, no podría existir si no hubiera interconexión de los dispositivos a través de internet. Sin embargo, no es el único elemento que permite que funcione. El cómputo ubicuo con acceso a internet (teléfonos inteligentes, principalmente) facilita drásticamente la adhesión y el éxito del de este concepto.

En otro trabajo publicado por investigadores en Bulgaria, los autores proponen un marco de trabajo que utilice la cámara web, el micrófono, el GPS y otros sensores para evaluar al estudiante mientras toma las clases [11]. Los autores proponen utilizar la cámara en conjunto con procesamiento de imágenes para calificarlos al reproducir una lección, así como el nivel de concentración y cansancio que tienen mientras toman una clase. El micrófono y el GPS se utilizan para evaluar el ambiente en el que realizan lecturas y detectar si son los ideales para el aprendizaje. El marco de trabajo propone que la información recopilada pueda ser utilizada por el profesor para tomar decisiones acerca de su clase, por ejemplo: posponer actividades en caso de que la asistencia sea baja, modificación de las técnicas de enseñanza en caso de que los estudiantes tengan bajos niveles de concentración, etc. Además, sugiere que con el uso de los sensores sería posible detectar estudiantes que hacen trampa durante los exámenes.

## Laboratorios virtuales

Una aplicación de IoT que se volvió imperativa debido a la pandemia fue la creación de laboratorios virtuales, en la literatura pueden dividirse en dos grandes grupos. Por un lado, los que suelen utilizar dispositivos físicos en conjunto con cámaras para lograr su objetivo [12]. Por otro lado, existen los que se desarrollan haciendo uso de *software* y aprueban emular o simular el comportamiento de los fenómenos físicos que desean estudiar [13]-[16].

Un ejemplo de laboratorios que utilizan cámaras se aplicó en la *Escuela Superior de Cómputo del Instituto Politécnico Nacional (ESCOM, IPN)*. El laboratorio se diseñó para las asignaturas de “Diseño de Sistemas Digitales” y “Arquitectura de Computadoras”. En este proyecto se utilizó una cámara conectada a una Raspberry Pi para mostrar una tarjeta de desarrollo NEXYS 4 de Xilinx. Asimismo, para programar la tarjeta de desarrollo, los estudiantes se conectan a la Raspberry Pi a través de SSH, donde podrán cargar los archivos binarios previamente compilados.

Un grupo de autores en Estados Unidos muestran que el uso del laboratorio virtual incrementa el aprendizaje de los estudiantes en una medida equivalente al que se obtiene de las clases [16]. Por ello, la combinación de la impartición de la cátedra junto con el uso de laboratorios prácticamente duplicará el nivel de formación de los estudiantes.

Uno de los casos de estudio más representativos para IoT propone crear un laboratorio virtual para la enseñanza de IoT [17]. La plataforma puede ejecutarse en un navegador convencional de internet, por lo que no requiere instalación de *software* para poder utilizarse. Esta plataforma modela en 3D una casa de forma virtual. Así, los estudiantes pueden programar la interconexión de diversos dispositivos inteligentes en la casa e interactuar con ellos. A pesar de que este tipo de herramientas posibilita trabajar de forma remota, no es tan sencillo que implementen todas las características y funcionalidades de los dispositivos IoT y los microcontroladores.

## Conclusiones

Las telecomunicaciones son parte fundamental del desarrollo de aplicaciones para Internet de las Cosas. Es posible incorporar una amplia gama de estas en las aulas de educación superior. Esto permitiría a los estudiantes desarrollar aplicaciones de IoT así como comprender conceptos básicos de telecomunicaciones. Los profesores y estudiantes deben elegir las tecnologías adecuadas para el curso o la aplicación, en función de los requerimientos del curso y de las tecnologías disponibles. El modelo de educación a distancia requiere forzosamente de las telecomunicaciones para poder operar, ya que los estudiantes no se encuentran físicamente en las aulas. Existen estudios que han probado que la educación a distancia tiene beneficios sobre la enseñanza tradicional. Algunos de estos comprenden la reducción de costos para las universidades, la mejora en la comprensión de la información por parte de los estudiantes e incluso la disminución de contagios de enfermedades entre sus pares.

Para mejorar la experiencia del aprendizaje, se han propuesto varios esquemas que combinan la enseñanza a distancia y el Internet de las Cosas, apoyándose en el uso de sensores, reconocimiento de imágenes e inteligencia artificial para mejorar durante la impartición de sus cátedras y hacer modificaciones a sus cursos casi en tiempo real. Esta alternativa permitirá que los estudiantes continúen aplicando sus conocimientos, incluso sin encontrarse presencialmente en las escuelas.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] T. Szyd, R. Brzoza-Woch, and M. Konieczny, "The copernicus iot platform: Teaching iot at computer science case study," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 51, no. 6, pp. 144–149, 2018, 15th IFAC Conference on Programmable Devices and Embedded Systems PdeS 2018. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896318308887> [Consultado en abril 27, 2022].
- [2] D. Dobrilović, Z. Čović, S. Tjeljko, and V. Brtko, "Approach in teaching wireless sensor networks and iot enabling technologies in undergraduate university courses," in *2nd Regional Conference Mechatronics in Practice and Education (MECHEDU 2013)*, 2013, pp. 18–22. [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/profile/Tihomir-Latinovic/publication/282003522\\_MECHEDU2013\\_nd\\_Regional\\_Conference\\_Mechatronics\\_in\\_Practice\\_and\\_Education/links/56010dcb08ae07629e52b6fe/MECHEDU2013-nd-Regional-Conference-Mechatronics-in-Practice-and-Education.pdf#page=26](https://www.researchgate.net/profile/Tihomir-Latinovic/publication/282003522_MECHEDU2013_nd_Regional_Conference_Mechatronics_in_Practice_and_Education/links/56010dcb08ae07629e52b6fe/MECHEDU2013-nd-Regional-Conference-Mechatronics-in-Practice-and-Education.pdf#page=26) [Consultado en abril 27, 2022].
- [3] J. He, D. C.-T. Lo, Y. Xie, and J. Lartique, "Integrating internet of things (iot) into stem undergraduate education: Case study of a modern technology infused courseware for embedded system course," in *2016 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*, 2016, pp. 1–9. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7757458> [Consultado en abril 27, 2022].
- [4] K. K. Rout, S. Mishra, and A. Routray, "Development of an internet of things (iot) based introductory laboratory for undergraduate engineering students," in *2017 International Conference on Information Technology (ICIT)*, 2017, pp. 113–118. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8423893> [Consultado en abril 27, 2022].
- [5] B. Du, Y. Chai, W. Huangfu, R. Zhou, and H. Ning, "Undergraduate university education in internet of things engineering in china: A survey," *Education Sciences*, vol. 11, no. 5, 2021. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2227-7102/11/5/202> [Consultado en abril 27, 2022].
- [6] C. J. Kale and T. J. Socolofsky, "TCP/IP tutorial." *RFC 1180*, Jan. 1991. [Online]. Available: <https://www.rfc-editor.org/rfc/pdf/rfc1180.txt.pdfhttps://www.mdpi.com/2227-7102/11/5/202> [Consultado en abril 27, 2022].
- [7] B. Du, Y. Chai, W. Huangfu, R. Zhou, and H. Ning, "Undergraduate university education in internet of things engineering in china: A survey," *Education Sciences*, vol. 11, no. 5, 2021. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2227-7102/11/5/202> [Consultado en abril 27, 2022].
- [8] B. Burd, et al., "The internet of things in undergraduate computer and information science education: Exploring curricula and pedagogy," in *Proceedings Companion of the 23rd Annual ACM Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education*, ser. ITiCSE 2018 Companion. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2018, p. 200–216. [Online]. Available: <https://doi/10.1145/3293881.3295784> [Consultado en abril 27, 2022].
- [9] H. Zimmermann, "Osi reference model - the iso model of architecture for open systems interconnection," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 28, no. 4, pp. 425–432, 1980. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1094702> [Consultado en abril 27, 2022].
- [10] A. Zhamanov, Z. Sakhiyeva, R. Suliyev, and Z. Kaldykulova, "Iot smart campus review and implementation of iot applications into education process of university," in *2017 13th International Conference on Electronics, Computer and Computation (ICECCO)*, 2017, pp. 1–4. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8333334> [Consultado en abril 27, 2022].

- [11] G. Ilieva and T. Yankova, "Iot in distance learning during the covid-19 pandemic," in *TEM Journal*, vol. 9, no. 4, pp. 1669–1674, 2020. [Online]. Available: [https://www.temjournal.com/content/94/TEMJournalNovember2020\\_1669\\_1674.pdf](https://www.temjournal.com/content/94/TEMJournalNovember2020_1669_1674.pdf) [Consultado en abril 27, 2022].
- [12] F. A. Candelas-Herías, *et al.*, "A virtual laboratory for teaching robotics," 2003. [Online]. Available: <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/6232> [Consultado en abril 27, 2022].
- [13] C. Tüysüz, "The effect of the virtual laboratory on students' achievement and attitude in chemistry," 2010. In *IOJES*, vol. 2, no. 1 pp. 37-53 [Online]. Available: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.657.6059&rep=rep1&type=pdf> [Consultado en abril 27, 2022].
- [14] S. D. Olabbarriaga, T. Glatard, and P. T. de Boer, "A virtual laboratory for medical image analysis," *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, vol. 14, no. 4, pp. 979–985, 2010. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5443468> [Consultado en abril 27, 2022].
- [15] T. Wolf, "Assessing student learning in a virtual laboratory environment," *IEEE Transactions on Education*, vol. 53, no. 2, pp. 216–222, 2010. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5152943> [Consultado en abril 27, 2022].
- [16] M. D. Koretsky, D. Amatore, C. Barnes, and S. Kimura, "Enhancement of student learning in experimental design using a virtual laboratory," *IEEE Transactions on Education*, vol. 51, no. 1, pp. 76–85, 2008. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4448426> [Consultado en abril 27, 2022].
- [17] A. Parkhomenko, *et al.*, "Virtual model for remote laboratory smart house & iot," in 2019 *10th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS)*, vol. 2, 2019, pp. 985–990. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8924388> [Consultado en abril 27, 2022].

Fecha de recepción: marzo 2, 2021

Fecha de publicación: junio, 2022

## Cómo se cita

J. J. Camacho, "Aplicación del Internet de las Cosas en Telecomunicaciones en Instituciones de Educación Superior," *TIES, Revista de Tecnología e Innovación en Educación Superior*, no. 5, junio, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://ties.unam.mx/> [Consultado en mes día, año].