

Aquí va la carátula

Dedico este trabajo a Dios por haberme permitido llegar hasta aquí.

A mis padres, hermana y familia en general.

A mi prometida.

A mi tutor.

A mis amigos y a mis compañeros de estudio.

Agradecimientos

Resumen

El presente Trabajo de Diploma trata el proceso de diseño e instalación de un sistema de monitoreo y visualización de variables para el control del estado de conservación de las piezas pertenecientes a la muestra ubicada en el Centro Cultural Francisco Prat Puig. Se tratan generalidades sobre la aplicación del IoT en museos a nivel internacional y en Cuba. Se realiza una caracterización de los sensores a emplear acorde a las variables presentes, así como el montaje de un sistema de seguridad.

En concordancia con las características del lugar se efectúa el montaje de dicho sistema facilitando el control del estado de las piezas y propiciándole al usuario los datos necesarios para la toma de decisiones ante futuros eventos de deterioro para la conservación por tiempo prolongado de dicha muestra.

Este sistema puede ser empleado en posteriores proyectos que relacionen el control de variables existentes en un emplazamiento, facilitando la supervisión de los objetos y la alerta temprana en caso de posibles afectaciones.

Abstract

Índice general

INTRODUCCIÓN	1
1 Estado del Arte del IoT en los museos	4
Introducción	4
1.1 Internet de las Cosas en museos internacionales	4
1.2 Internet de las Cosas en Cuba	7
1.3 Arquitectura IoT	8
1.3.1 Principales capas de la arquitectura del IoT	9
1.3.2 Propuesta de la Arquitectura IoT del Sistema	11
1.3.3 Capa de percepción	11
1.3.4 Capa de transporte	12
1.3.5 Capa de procesamiento	12
1.3.6 Capa de aplicación	12
1.4 Análisis de variables y sensores	12
1.5 Sistema de comunicación	12
1.6 Sistema de seguridad	12
Conclusiones	12
2 Implementación del sistema IoT	13
Introducción	13
Conclusiones	13
CONCLUSIONES GENERALES	14
Recomendaciones	15
Apéndice	16
Referencias	17

Índice de tablas

Tabla1.1	IoT Internacional	7
----------	-----------------------------	---

Índice de figuras

Figura1.1	Comparación arquitecturas	9
Figura1.2	Vista funcional de la arquitectura	11
Figura1.3	Vista de implementación	12

Introducción

El término Internet de las Cosas o IoT (Internet of Things, por sus siglas en inglés), fue utilizado por primera vez por Kevin Ashton en 1999 cuando estaba trabajando en el campo de la tecnología RFID en red (identificación por radiofrecuencia) y tecnologías de detección emergentes. Sin embargo, el IoT nació en algún momento entre 2008 y 2009. (Evans, 2012)

El IoT se trata de un concepto que se basa en la interconexión de los objetos con su alrededor. Los objetos de esta nueva generación incorporan la capacidad de adquirir datos, comunicarse entre sí y activar comportamientos reactivos a las condiciones cambiantes del contexto. Este concepto pretende reflejar la profunda transformación y el radical cambio de paradigmas que está experimentando nuestra forma de vivir en hogares, ciudades y entornos de trabajo.

Nos encontramos ante un salto tecnológico que afecta directamente a cómo la humanidad se enfrenta a los retos. En definitiva, IoT revolucionará la concepción que posee el ser humano acerca de su mundo y la forma de interaccionar con él. (Diezma, 2017)

Las nuevas tecnologías que caracterizan el empleo del Internet de las Cosas permiten realizar entornos inteligentes reales capaces de proporcionar servicios avanzados a los usuarios. El objetivo es hacer que las cosas se comuniquen entre sí, establezcan comportamientos de acuerdo a patrones pre-fijados y, por consiguiente, sean más inteligentes e independientes.

Recientemente, estos entornos inteligentes también se están explotando para renovar el interés de los usuarios por el patrimonio cultural, al garantizar experiencias culturales interactivas reales. Dentro de las instituciones de patrimonio cultural, las tecnologías en red tienen un enorme potencial para mejorar los esfuerzos de conservación, el aumento del acceso a los conocimientos contextuales y para reinventar la interacción de las personas con las obras culturales.

La Universidad de Oriente cuenta con tres muestras expositivas como parte de su patrimonio cultural. Dos de ellas se encuentran en la sede Antonio Maceo; la primera, con carácter arqueológico, situada en la planta baja de la Facultad de Ciencias Sociales. Mientras que la segunda, museo de Historia Natural Dr. Theodoro Ramsden de la Torre, se localiza en la tercera planta de la Facultad de Derecho. Estas no están abiertas directamente al público debido a su ubicación en aulas, siendo así empleados como medios de enseñanza.

La tercera de estas muestras, la Francisco Prat Puig, ubicada en la Oficina del Historiador de la Ciudad de Santiago de Cuba, contiene piezas de interés histórico y cultural. A diferencia de las muestras anteriores ésta posee características de museo y se encuentra emplazada en un lugar con acceso al público. Allí se destacan colecciones de numismática, artes plásticas, cerámica, condecoraciones, objetos personales entre otras; estas fueron donadas por el propio Prat a la Casa de Altos Estudios oriental las cuales actualmente se encuentran en un estado de deterioro por falta de las condiciones que requiere el local para su conservación.

La temperatura, la humedad, el CO₂, las vibraciones, el salitre, la iluminación, el polvo, entre otros, son factores que inciden directamente en el deterioro gradual de las obras que allí se encuentran. Con la aplicación del Internet de las Cosas en esta sala expositiva es posible reducir la incidencia de estos factores. La tecnología permitirá a los responsables del museo tener una visión más precisa y completa de lo que ocurre, brindando la posibilidad de evaluar en tiempo real el estado de cada área para la toma de decisiones ante alertas por eventos de deterioro.

Se asume como **problema de investigación**: la inexistencia de un sistema de monitoreo para el control del estado de conservación de las piezas en la muestra Prat Puig imposibilitando el control en tiempo real por parte de los especialistas; por lo que se define entonces como **objeto de la investigación**, los sistemas de supervisión y monitoreo de piezas de arte basados en IoT.

Campo de acción: Diseño e implementación de sistemas basados en el empleo del Internet de las Cosas en los museos. El **objetivo...**

Hipótesis: Si logramos diseñar e implementar un sistema de supervisión de las piezas de arte en un museo, de tal manera que se muestren en tiempo real, el estado de conservación de los objetos, posibles afectaciones y los momentos más adecuados para efectuar una restauración en dicho local correspondiente a la muestra Prat Puig, estaríamos extendiendo la vigencia de estos objetos y mejorando las condiciones de trabajo de los especialistas que allí laboran.

Tareas de la investigación:

1. Analizar la trascendencia del Internet de las Cosas en los museos tanto internacionales como en los museos de Cuba.
2. Analizar las arquitecturas del Internet de las Cosas y la proposición de la arquitectura del proyecto.
3. Caracterizar los diferentes sensores a emplear acorde a las variables presentes.
4. Proponer un sistema de comunicación.
5. Proponer un sistema de seguridad.
6. Implementación de un sistema de supervisión y monitoreo basado en IoT.

Aporte de la investigación: un sistema de supervisión y monitoreo basado en IoT para el control del estado de conservación de los objetos de la muestra.

Organización del documento: El presente trabajo investigativo está compuesto por una introducción general, dos capítulos con sus introducciones y conclusiones parciales, conclusiones generales, recomendaciones, apéndices y bibliografías.

En el Capítulo I se hace un análisis de la trascendencia del IoT en los museos internacionales y en los museos de nuestro País. Se hace además un análisis de las arquitecturas propuestas por otros autores y se propone una para el desarrollo del proyecto. Se hace una caracterización de los sistemas de comunicación inalámbricos y de los sistemas de seguridad.

En el Capítulo II ...

Capítulo 1

Estado del Arte del IoT en los museos

Introducción

En este capítulo estaremos desglosando por secciones el análisis de la trascendencia de la aplicación del Internet de las Cosas en los museos en el ámbito internacional, así como la aplicación o no del mismo en los museos de nuestro país. Se hace un análisis de las arquitecturas propuestas por otros autores y la proposición de una para este trabajo. También se tienen en cuenta las variables que se miden en los museos para evitar el deterioro de los objetos y los posibles sensores a emplear para su control. Además, se analiza el tipo de comunicación más viable y efectiva según el emplazamiento, y finalmente los posibles sistemas de seguridad a instalar en la muestra.

1.1. Internet de las Cosas en museos internacionales

Hoy en día existen museos líderes en el tema de interacción con el público, como es el caso de los museos Digital Art Museum TeamLab Borderless de Japón y el Atelier de Lumieres de Francia. El primero de estos es un espacio que posee 10 mil metros cuadrados de proyección 3D, acompañados de juegos de luces y efectos especiales que llevan a los visitantes en medio de paisajes surrealistas. El segundo museo realiza macro proyecciones 360° de las obras más importantes de artistas como Van Gogh, Picasso, Chagall, entre otros. (Corzo Vargas y cols., 2019).

En Maloka ¹, Bogotá, las exhibiciones ponen a prueba los 5 sentidos de los visitantes, haciendo que tanto niños, como adultos disfruten un tiempo en familia repleto de nuevos conocimientos, incluyendo recorridos por salas interactivas y funciones de proyección de cine. (Pinzón Ortega, Franco Avellaneda, y Falla, 2015).

En el museo MUST en Lecce, Italia, se llevó a cabo la instalación de un dispositivo portátil que combina el reconocimiento de imágenes y las capacidades de localización para proporcionar automáticamente a los usuarios contenidos culturales relacionados con las obras de arte observadas. La información de localización se obtiene mediante una infraestructura Bluetooth Low Energy ² instalada en el museo. Además, el sistema interactúa con la Nube para almacenar contenidos multimedia producidos por el usuario y compartir eventos generados por el entorno en sus redes sociales. Estos servicios interactúan con dispositivos físicos a través de un middleware multiprotocolo. (Alletto y cols., 2016).

En el caso del Conjunto Monumental de San Domenico Maggiore, ubicado en Nápoles (Italia), dentro del mismo se han transformado más de 270 esculturas en obras de arte parlantes. Equipado con un tablero de sensores, cada objeto puede proponerse automáticamente a los visitantes, compartiendo su historia en diferentes modalidades e idiomas, lo que permite un proceso de disfrute novedoso durante una experiencia cultural. (Chianese, Piccialli, y Jung, 2016).

En la Universidad de El Cairo, Egipto, desarrollaron un sistema para la conservación de las piezas en los museos, un sistema que no solo mide los atributos del entorno, sino que también mantiene la seguridad de los artefactos al detectar cualquier prueba de contacto o movimiento. También controla la intensidad de la luz en función de la ocupación de la sección del museo. Una característica diferenciadora del sistema es el diseño de energía ultrabaja de su nodo sensor que conduce a una larga vida útil de hasta 50 días. (Al-Habal y Khattab, 2019).

¹Maloka es un museo interactivo que fomenta la pasión por el aprendizaje a partir de los lazos entre ciencia, tecnología, innovación y sociedad.

²Bluetooth Low Energy es una tecnología de red de área personal inalámbrica, diseñada y comercializada por Bluetooth SIG destinada a aplicaciones en el cuidado de la salud, fitness y beacons, seguridad y las industrias de entretenimiento en el hogar

Existen otros proyectos de utilización del IoT en museos, tal es el caso del proyecto propuesto en el III Congreso Internacional de Avances en Electricidad, Electrónica, Informática, Comunicación y Bioinformática en el año 2017. El proyecto consiste en el montaje de un sistema que se basa en un dispositivo portátil que captura el movimiento del usuario, realiza el algoritmo de sustracción de fondo para realizar el procesamiento de imágenes y obtiene la información de localización de un Bluetooth Low Energy (BLE). (Sornalatha y Kavitha, 2017). En agosto del 2019, entre la Escuela de Ingeniería Electrónica, Universidad de Jiujiang y la Escuela de Ciencias de la Computación, Universidad de Wuhan, ambas de China elaboraron un artículo donde propusieron un esquema antirrobo para museos basado en la tecnología Internet of Things (IoT), que identifica si las reliquias culturales están dentro del rango seguro a través de lectores/escritores RFID (identificación por radiofrecuencia del inglés Radio Frequency Identification) pasivos. (Liu, Wang, Qi, y Yang, 2019).

La siguiente tabla resume lo anterior expuesto.

Aplicación IoT	Lugar	Referencia
Proyección 3D y efectos especiales	Digital Art Museum TeamLab Borderless de Japón	(Corzo Vargas y cols., 2019)
Proyecciones 360° de obras importantes de artistas.	Atelier de Lumieres de Francia.	(Corzo Vargas y cols., 2019).
Recorridos por salas interactivas y proyecciones de cine.	Maloka, Bogotá.	(Pinzón Ortega, Franco Avellaneda, y Falla, 2015).
Reconocimiento de imágenes y capacidades de localización proporcionando contenido cultural.	Museo MUST en Lecce, Italia.	(Alletto y cols., 2016).
Obras de arte parlantes equipadas con tableros de sensores. Cada obra de arte comparte su historia.	Conjunto Monumental de San Domenico Maggiore, Italia.	(Chianese, Piccialli, y Jung, 2016).
Sistema para la conservación de las piezas en los museos en base a pruebas de contacto o movimiento, intensidad de la luz.	Universidad de El Cairo, Egipto	(Al-Habal y Khattab, 2019).

Continuación Tabla 1.1		
Proyectos		
Captura el movimiento del usuario, procesamiento de imágenes.	III Congreso Internacional de Avances en Electricidad, Electrónica, Información, Comunicación y Bioinformática en el año 2017	(Sornalatha y Kavitha, 2017).
Propuesta de esquema antirrobo para museos basados en IoT.	Escuela de Ingeniería Electrónica, Universidad de Jiujiang y la Escuela de Ciencias de la Computación, Universidad de Wuhan, ambas de China.	(Liu, Wang, Qi, y Yang, 2019).

Tabla 1.1: IoT Internacional

Fuente: Elaboración propia

Como podemos observar en la tabla 1.1 existen disímiles ejemplos de aplicación del Internet de las Cosas a nivel internacional; de ahí que haremos énfasis en la aplicación de sistemas de conservación de las piezas en los museos tomando como referencia los ejemplos anteriormente expuestos.

1.2. Internet de las Cosas en Cuba

En Cuba existen escasos ejemplos de la aplicación del Internet de las Cosas en los museos, no obstante, dentro de esos pocos se encuentra el Palacio del Segundo Cabo.

Desde 2012 se venía proyectando una sala dedicada al libro cubano, con la cooperación de la Unión Europea y la Unesco. (Quintero, 2015). Gracias a este Rescate Patrimonial y Desarrollo Cultural en La Habana, se propició la restauración del mismo para la creación del Centro. Esta iniciativa de cooperación internacional fue desarrollada por la Oficina del Historiador de la Ciudad de La Habana, con apoyo de la Unión Europea y de la Organización de Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). (Valdés, 2020).

El Centro cuenta con una sala monográfica que propone un audiovisual realizado por autores cubanos donde se relata la historia del inmueble donde está ubicada la institución. Además, de una sala introductoria que refleja la visión que se tenía antes del encuentro

de las dos culturas con la llegada de Cristóbal Colón. Este relata en paralelo la historia de Cuba y de Europa interrelacionadas en un ambiente inmersivo y por fuera se puede recorrer desde la visión de las artes plásticas europeas y cubanas. Siempre están acompañados de cuatro audiovisuales que recorren líneas independientes como la historia de la esclavitud, la ciencia, los servicios públicos y la economía.

Adosada a esta sala se encuentra la de llegada y migraciones donde en un espacio se reproduce una parte de un galeón ³, atractivo para el público pues puede sentirse una ligera «brisa de mar», una corriente de aire situada en la parte posterior del barco. Esto se complementa con dos pantallas y proyectores que permiten la visualización de un audiovisual que también habla de las llegadas de los aborígenes, los conquistadores; la migración forzada de los africanos y así sucesivamente con las diferentes olas migratorias que han formado la actual característica mestiza de nuestra identidad y nación.

La Sala de Viajeros se soporta en un software que despliega una galería de imágenes ya sea de cubanos relevantes de visita por Europa o de europeos de visita en Cuba. Mediante el uso de pantallas táctiles, el visitante puede interactuar con las imágenes de las personalidades, leer una síntesis biográfica e incluso escuchar muestras de audio.

1.3. Arquitectura IoT

Lo primero que debemos saber sobre la arquitectura de IoT, es que no existe una única definición universalmente adoptada. Diferentes propuestas han surgido durante su desarrollo entre las que podemos encontrar: la arquitectura de 3 capas, la arquitectura de 5 capas, la arquitectura de nube, la arquitectura de niebla y la arquitectura de computación de Borde entre muchas otras (L. Hou, 2016).

En la figura 1.1 se observa una comparación entre las arquitecturas de 3 capas, 5 capas y la arquitectura de nube.

³galeón: es una embarcación a vela utilizada desde principios del siglo XVI. Los galeones eran barcos de destrucción poderosos y muy lentos que podían ser igualmente usados para el comercio o la guerra.

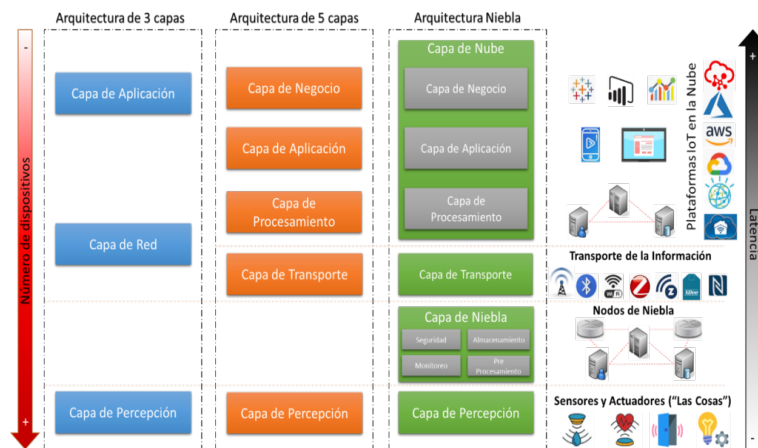


Figura 1.1: Comparación arquitecturas

Fuente: (García, 2020)

Según (Ciberseguridad, 2022), la mayoría de estas arquitecturas de IoT se basan en fundamentos básicos:

- Dispositivos más inteligentes en una forma diferente.
- Red y puerta de enlace que permite que los dispositivos formen parte del IoT.
- Middleware que incluye espacios de almacenamiento de datos y avances en las capacidades de predicción.
- Aplicaciones de usuario final.

Las propuestas de arquitecturas pueden variar de autor en autor, en dependencia de la estructura del sistema IoT propuesto. Dichas arquitecturas son desarrolladas por capas en las que se agrupan los objetos, dispositivos, sensores, actuadores, etcétera.

1.3.1. Principales capas de la arquitectura del IoT

Según (B. Mazon, 2022), dentro de las capas más importantes del IoT podemos encontrar:

- *La capa de percepción* (Objetos/ Dispositivos/ SensorActuador/ WSN/ Edge Computing/ Sensado), digitaliza y transfiere datos a la capa de red, a través de canales seguros. Se localizan los objetos físicos, dispositivos sensores y actuadores utilizados para recopilar información del contexto.

- *La capa de acceso* (Adaptación/ Observador), comprueba la información que recibe de la capa de percepción, si está protegida o no contra intrusos y virus. Si hay algún ataque, no pasa los datos a la siguiente capa. También verifica la identidad y autenticación de los objetos.

- *La capa de Red* (Abstracción de Objetos/ Transporte/ Fog computing), transporta y transmite los datos, recopilados de la capa de percepción, hacia la cloud. Se localizan componentes de red (switch, router, Gateway, etc.), medios de comunicación y protocolos. También es responsable de aspectos de seguridad y el control de ataques.

- *La Capa Aplicación / Cloud Computing (CC)* en modelos de más de tres capas, puede dividirse en:
 - *Capa de procesamiento y almacenamiento, Soporte, o Middleware.* Permite a los programadores de aplicaciones IoT trabajar con objetos heterogéneos sin tener en cuenta una plataforma de hardware específica. Se encarga de integrar, almacenar, procesar y analizar datos, tomar decisiones y ofrecer servicios de protocolos de conexión de red.

 - *La capa de aplicación,* define los servicios y funciones que proporciona la aplicación IoT implementada (hogar inteligente, ciudad inteligente, salud inteligente, etc.) a los clientes. Los servicios pueden variar para cada aplicación y dependen de la información que se recopila de los sensores. También se consideran aspectos de seguridad.

 - *La capa empresarial,* tiene la responsabilidad de administrar y controlar el comportamiento de las aplicaciones, modelos de negocios y ganancias de IoT. También tiene la capacidad de determinar cómo se puede crear, almacenar y cambiar la información. Administra la privacidad del usuario y evita vulnerabilidades.

1.3.2. Propuesta de la Arquitectura IoT del Sistema

En base a los esquemas de arquitecturas propuestas, definimos el uso de la arquitectura del proyecto la cual se cimienta en la estructura de cuatro capas, considerando las diferentes capas como son: La capa de percepción cuya función es la obtención de variables asociadas a la conservación de las piezas en la muestra, la capa de transporte con el destino de transportar la data recopilada por los sensores hacia la base de datos para su posterior procesamiento y análisis, la capa de procesamiento genera predicciones y recomendaciones expuesta a cambios constantes de los valores que se reciben desde el comienzo del ciclo en la etapa de percepción y, la capa de aplicación, la cual permite a los usuarios finales visualizar en una interfaz y mediante el empleo de la RA (Realidad Aumentada), los datos y predicciones en dependencia de la información recopilada.

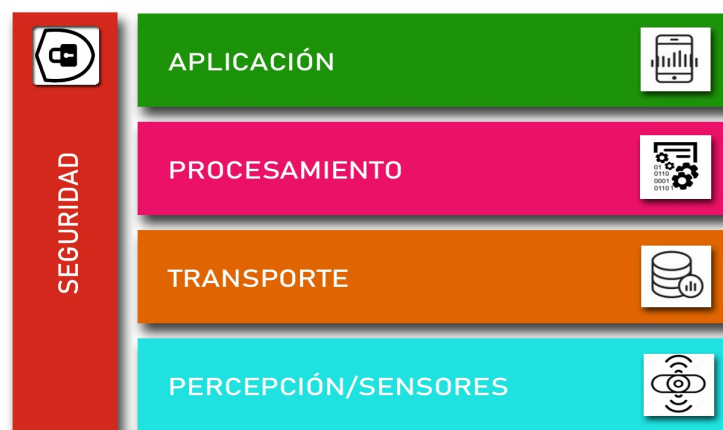


Figura 1.2: Vista funcional de la arquitectura

Fuente: Elaboración propia

1.3.3. Capa de percepción

En la capa de percepción...

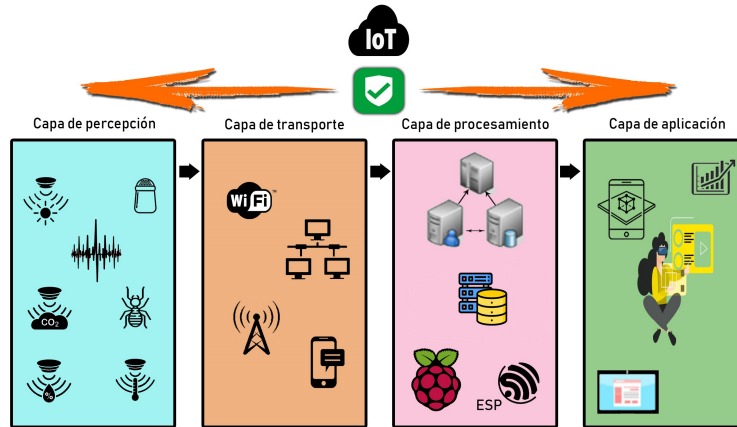


Figura 1.3: Vista de implementación

Fuente: Elaboración propia

1.3.4. Capa de transporte

1.3.5. Capa de procesamiento

1.3.6. Capa de aplicación

...

Así, esta arquitectura pretende servir de referencia para la implementación de servicios basados en IoT en el área de conservación de las piezas en los museos.

1.4. Análisis de variables y sensores

1.5. Sistema de comunicación

1.6. Sistema de seguridad

Conclusiones

Capítulo 2

Implementación del sistema IoT

Introducción

Conclusiones

Conclusiones

Recomendaciones

Apéndice

Referencias

- Al-Habal, A., y Khattab, A. (2019). Ultra-low power layered iot platform for museum content conservation. En *2019 31st international conference on microelectronics (icm)* (p. 86-89). doi: 10.1109/ICM48031.2019.9021866
- Alletto, S., Cucchiara, R., Del Fiore, G., Mainetti, L., Mighali, V., Patrono, L., y Serra, G. (2016). An indoor location-aware system for an iot-based smart museum. *IEEE Internet of Things Journal*, 3(2), 244-253. doi: 10.1109/JIOT.2015.2506258
- B. Mazon, A. P. O. (2022). Internet of things: State-of-the-art, computing paradigms and reference architectures. *IEEE Latin America Transactions*, Vol. 20(No.1). doi: 10.1109/TLA.2022.9662173
- Chianese, A., Piccialli, F., y Jung, J. E. (2016). The internet of cultural things: Towards a smart cultural heritage. En *2016 12th international conference on signal-image technology internet-based systems (sitis)* (p. 493-496). doi: 10.1109/SITIS.2016.83
- Ciberseguridad. (2022). Capas de iot que debes conocer. *Noticias de ciberseguridad, ciberataques, vulnerabilidades informáticas*.
- Corzo Vargas, O. G., y cols. (2019). *Domótica del museo interactivo de sala limpia* (B.S. thesis). Uniandes.
- Diezma, P. (2017). Internet of things: la revolución definitiva del arte, el ocio y la cultura en el siglo xxi. *Anuario AC/E*, 4, 79–95.
- Evans, D. (2012). How the next evolution of the internet is changing everything. , *Cisco Internet of Things White Paper*.
- García, L. (2020). Cuáles son las arquitecturas y componentes de una red iot.
- L. Hou, X. X. . o., S. Zhao. (2016). Internet of things cloud: Architecture and implementation. *IEEE Communications Magazine*(54). doi: 10.1109/MCOM.2016.1600398CM
- Liu, Z., Wang, M., Qi, S., y Yang, C. (2019). Study on the anti-theft technology of museum cultural relics based on internet of things. *IEEE Access*, 7, 111387-111395. doi:

10.1109/ACCESS.2019.2933236

- Pinzón Ortega, A. S., Franco Avellaneda, M., y Falla, S. (2015). Condiciones que posibilitan el acceso a un museo de ciencias: análisis del caso maloka (conditions that make possible the access to a science museum: Case study of maloka science center). *Trilogía Ciencia Tecnología Sociedad*, 7(12).
- Quintero, G. T. (2015). La oficina del historiador de la habana al rescate del patrimonio bibliográfico. *Apuntes. Revista de estudios sobre patrimonio cultural*, 28(2).
- Sornalatha, K., y Kavitha, V. R. (2017). Iot based smart museum using bluetooth low energy. En *2017 third international conference on advances in electrical, electronics, information, communication and bio-informatics (aeeicb)* (p. 520-523). doi: 10.1109/AEEICB.2017.7972368
- Valdés, Y. H. (2020). La potencialidad de un proyecto museológico vanguardista en cuba: el centro de interpretación del palacio del segundo cabo. *RdM. Revista de Museología: Publicación científica al servicio de la comunidad museológica*(78), 44–54.