

ARTÍCULO ORIGINAL



Plataformas IIoT con potencial aplicación en el contexto industrial cubano

*IIoT Platforms with Potential Application
in the Cuban Industrial Context*



Tatiana Delgado Fernández

tatiana.delgado@uic.cu • <https://orcid.org/0000-0002-4323-9674>

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA HABANA "JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA", CUJAE, CUBA

Recibido: 2022-07-17 • Aceptado: 2022-08-28

RESUMEN

Internet Industrial de las Cosas constituye una tecnología básica de la Industria 4.0. Es la red de una multitud de dispositivos industriales conectados por tecnologías de comunicaciones que da como resultado sistemas que pueden monitorear, recopilar, intercambiar, analizar y brindar nuevos conocimientos. Las plataformas IIoT facilitan estas interconexiones y hacen posible la gestión integrada de datos complejos y la extracción del valor relevante que hay en estos, para mejorar los indicadores de la producción industrial. Tales plataformas han evolucionado significativamente a nivel global y desempeñan un papel clave en la hibridación del mundo físico con el digital en la industria. Cuba está enfrentándose a la asimilación y adopción de las nuevas tecnologías habilitadoras de la transformación digital industrial, partiendo de una alta voluntad política y un ambiente regulador favorable que contrasta con una difícil situación económica. En este contexto se necesita fortalecer la soberanía tecnológica, con apuestas que sean fácilmente escalables, reutilizables y rentables, capaces de impulsar el ecosistema innovador, y que ofrezcan soluciones completas, brinden servicios integrales y cubran una amplia gama de escenarios de aplicaciones. Este artículo tiene como objetivo analizar los componentes arquitectónicos que regularmente conforman las plataformas de Internet Industrial de las Cosas, definir los requerimientos para el contexto cubano y evaluar un conjunto de plataformas para seleccionar las que mejor satisfacen los requerimientos definidos. Como resultado de aplicar una metodología sistemática para este análisis, se evaluaron decenas de



plataformas y se seleccionaron las dos que mejores posibilidades tienen para el entorno industrial cubano.

PALABRAS CLAVE: Internet Industrial de las Cosas, IIoT Platform, Architecture, contexto industrial cubano.

ABSTRACT

Industrial Internet of Things is a fundamental technology of Industry 4.0. It is the network of a multitude of industrial devices connected by communications technologies resulting in systems that can monitor, collect, exchange, analyze and provide new knowledge. IIoT Platforms facilitate these interconnections and make possible the integrated management of complex data and the extraction of the relevant value contained in them, to improve industrial production indicators. These platforms have evolved significantly globally and play a key role in the hybridization of the physical world with the digital in the industry. Cuba faces the assimilation and adoption of new enabling technologies for industrial digital transformation, based on a high political will and a favorable regulatory environment that contrasts with a difficult economic situation. In this context, it is necessary to strengthen technological sovereignty, with bets that are easily scalable, reusable and profitable, capable of promoting the innovative ecosystem, and that offer complete solutions, provide comprehensive services and cover a wide range of application scenarios. This article aims to analyze the architectural components that regularly make up the Industrial Internet of Things Platforms, define the requirements for the Cuban context and evaluate a set of platforms to select the ones that best meet the defined requirements. As a result of applying a systematic methodology for this analysis, dozens of platforms were evaluated and the two with the best possibilities for the Cuban industrial environment were selected.

KEYWORDS: Industrial Internet of Things, IIoT Platform, Architecture, Cuban industrial context.

INTRODUCCIÓN

Internet Industrial de las Cosas (IIoT) es un concepto que ha venido evolucionando desde la más simple aproximación para el ámbito industrial, derivado de la definición de Internet de las Cosas (IoT), hasta otras definiciones más robustas que incorporan elementos específicos

que se deben considerar en los sistemas de producción ciberfísicos asociados al paradigma de la Industria 4.0.

Apelando a los tipos de tecnologías que la componen y los usos distintivos a que estas se destinan, se puede definir Internet Industrial de las Cosas o IIoT, como un sistema que comprende objetos inteligentes en red, activos ciberfísicos, tecnologías de información genéricas asociadas y plataformas informáticas en la nube o en el borde, que permiten el acceso, la recopilación, el análisis inteligente y autónomo de datos, y las comunicaciones en tiempo real, así como el intercambio de información de procesos, productos o servicios, dentro del entorno industrial, a fin de optimizar el valor total de la producción (Boyes, Hallaq, Cunningham & Watson, 2018).

IIoT, como una arquitectura integrada al desarrollo de tecnologías y modelos de IoT, utiliza redes basadas en IP y conectividad en la nube o niebla, como nuevo con una extensión de la arquitectura tradicional de la computación en la nube hasta el borde de la red (Pérez, Anías & Delgado, 2021), para describir máquinas y redes de productos que pueden comunicarse y compartir inteligencia en entornos industriales con el objetivo de optimizar las operaciones industriales relevantes. La clave de éxito de IIoT es utilizar buenos datos para impulsar la fusión del mundo físico y el mundo virtual. A través de una fábrica virtual, se puede monitorear la capacidad de producción, la eficiencia operativa y el estado de operación de los equipos de fabricación, y administrar la operación de la planta en tiempo real y de manera efectiva; además, también se puede desarrollar, fabricar, vender y analizar el rendimiento del producto a lo largo de su ciclo de vida (Bai, Hu, Liu & Wang, 2018).

Una plataforma de IoT es una capa de conexión inteligente que combina el *hardware*, las “cosas”, los protocolos y las aplicaciones bajo un mismo paraguas, para potenciar la comunidad de servicios (Bröring y otros, 2017). Las plataformas IoT facilitan la conectividad entre sistemas IoT y la comunicación, el flujo de datos, la administración de dispositivos y la funcionalidad de la aplicación. Se consideran el componente más crítico del ecosistema de IoT. La brecha entre los sensores asociados a los dispositivos y las redes de datos se llena con las plataformas IoT. Estas conectan los datos generados por el sensor y proporcionan información utilizando aplicaciones IoT para dar sentido a la gran cantidad de datos generados por los innumerables sensores (Moura, Ceotto, González & Toledo, 2018).

Una plataforma IIoT se puede definir, en su forma más simple, como una infraestructura base que podría permitir la conectividad entre las “cosas”, de manera segura, almacenando el gran volumen de datos disponibles y haciendo posible el uso inteligente de todos los datos almacenados. En una forma más sofisticada, la plataforma IIoT consta de una variedad de componentes básicos importantes, que brindan las capacidades técnicas necesarias para equipar el IoT industrial (Moura, Ceotto, González & Toledo, 2018). Puede consumirse como un conjunto de tecnología o como una plataforma de aplicaciones abierta y de propósito general, o ambas en combinación. La plataforma está diseñada para soportar los requisitos de seguridad, protección y criticidad de la misión, asociados con los activos industriales y sus entornos operativos. El *software* de la plataforma IIoT que reside en los dispositivos, como controladores, enrutadores, puntos de acceso, puertas de enlace y sistemas informáticos de borde, se considera parte de una plataforma IIoT distribuida (Gartner Peer Insights, 2022).

Entre los desafíos más frecuentes (Christou, Kefalakis, Soldatos & Despotopoulou, 2022) (Bai, Hu, Liu & Wang, 2019) a los que se enfrentan las plataformas IIoT, se encuentran la fragmentación de datos y falta de interoperabilidad entre diferentes conjuntos de datos; la incapacidad para optimizar de manera flexible múltiples parámetros basados en análisis avanzados y aprendizaje automático; las soluciones de gestión y análisis de datos limitadas a modelos físicos específicos y no personalizables o configurables; y la carencia de mecanismos efectivos de seguridad de los datos y que garanticen la confianza de la red.

Uno de los problemas desafiantes mencionados está relacionado con la interoperabilidad, es decir, la capacidad de conectar uno o más dispositivos IIoT y comprender e intercambiar datos entre sí para un propósito determinado. Existen dos propiedades clave para tratar el problema de la interoperabilidad en el dominio IIoT: la heterogeneidad extrema y la comunicación dinámica y espontánea (Hazra, Adhikari, Amgoth & Srirama, 2021).

El objetivo principal de la interoperabilidad de una plataforma IIoT es permitir la adaptabilidad, la usabilidad y la productividad para facilitar la conversación, el flujo de datos, la eficiencia y la funcionalidad de las aplicaciones dentro del marco de la plataforma (Hazra, Adhikari, Amgoth & Srirama, 2021). Según estos autores, muchas de las soluciones IIoT que se adoptan descansan en infraestructuras y protocolos propietarios, interfaces de programación de aplicaciones (API) y formatos de datos que no están estandarizados a nivel mundial. Desde el punto de vista de los usuarios finales, los problemas de interoperabilidad también generan problemas no solubles, como el bloqueo del proveedor, en el que los clientes se quedan atrapados con un proveedor específico, debido a la comunicación no interoperable entre los proveedores y la arquitectura no estandarizada en plataformas cruzadas.

Las plataformas IIoT apuntan a los anteriores retos, a partir de contemplar un conjunto de requerimientos, algunos de los cuales se mencionan a continuación:

- Proveer funcionalidad para la captura y gestión de datos, incluyendo la integración de estos desde fuentes heterogéneas, como sensores u otros dispositivos IoT y datos de automatización industrial, además de distintas fuentes de datos organizacionales y operacionales, para facilitar la integración horizontal y vertical (Schermuly, Schreieck & Wieseche, 2019).
- Incluir componentes de analíticas de datos, que permitan extraer el verdadero valor de los datos para la optimización de procesos y la toma de decisión en las fábricas, o a lo largo de la cadena de suministros.
- Garantizar flexibilidad en la configuración de los modelos de gestión y análisis de datos parametrizables.
- Independencia del proveedor y reutilización a través de estándares y capas de *software* independientes (Christou, Kefalakis, Soldatos & Despotopoulou, 2022).
- Escalabilidad a través de la reutilización de componentes, la cocreación de valor de forma y la posibilidad de potenciar innovación, como parte de un ecosistema basado en la plataforma.

- Proveer la plataforma como un servicio (PaaS). La computación en la nube es un paradigma informático basado en Internet, que proporciona servicios bajo demanda, a través de un conjunto configurable de recursos informáticos. La misma infraestructura compartida puede admitir grandes cantidades de datos de varias fuentes, incluido IIoT. La plataforma de computación en la nube ofrece capacidades prácticamente ilimitadas, así como servicios que satisfacen las diversas demandas de IIoT (Moura, Ceotto, González & Toledo, 2018).
- Proveer seguridad de los datos y confianza en la red. Una infraestructura IIoT confiable debe garantizar que los recursos informáticos, de red y de almacenamiento críticos estén en funcionamiento, evitando el tiempo de inactividad no planificado del equipo. La seguridad significa que los datos no se dañen, no se pierdan y no se roben ni manipulen (Bai, Hu, Liu & Wang, 2019).

El sector industrial cubano atraviesa una situación contrastante entre la obsolescencia de tecnologías, particularmente de automatización industrial, y una acelerada concientización de la necesidad de transitar a la transformación digital industrial en alineación con el paradigma de la Cuarta Revolución Industrial o Industria 4.0.

En aras de promover la implementación del Plan Nacional de Desarrollo Social y Económico hacia el 2030, concretamente el Macroprograma 2 referido a la “Transformación productiva e inserción internacional”, se establece como principal lineamiento buscar el fomento de los encadenamientos vinculados a la transformación de los sectores prioritarios y las actividades de soporte e infraestructuras clave para su competitividad, especialmente de cara a la introducción de las tecnologías digitales y las TIC y para su integración con los llamados servicios modernos.

El desarrollo del país está fuertemente influenciado por su condición de Pequeño Estado Insular en Desarrollo (SIDS, por sus siglas en inglés), lo cual trae consigo varias limitaciones asociadas al tamaño de su economía, basada en recursos naturales y dependiente del comercio, el turismo y otros flujos externos; su condición geográfica con mayores niveles de exposición a los efectos del cambio climático y los peligros naturales; la fragilidad de los ecosistemas insulares y el insuficiente acceso a fuentes de financiamiento para el desarrollo. Como refiere el propio Informe voluntario de Cuba sobre la Agenda 2030 (Grupo Nacional para la Implementación de la Agenda 2030, 2021), en los últimos cuatro años se ha producido un incremento progresivo y sistemático de las medidas impuestas por el bloqueo económico, comercial y financiero estadounidense contra Cuba. A pesar de ello, el país muestra un entorno regulatorio favorable para impulsar la Industria 4.0, caracterizado por la reciente aprobación de un grupo de políticas que guardan estrecha relación con ello, entre las que se encuentran:

- Política de Desarrollo Industrial, cuyo objetivo es transformar y modernizar de forma gradual (por etapas) la industria, priorizando los productos de mayor impacto en los sectores estratégicos y combinando el desarrollo innovador, la sustitución de importaciones

y la orientación a la exportación, para lograr el aumento de la competitividad de productos y servicios.

- Política Integral para la Automatización en Cuba, que deberá conducir a la seguridad y soberanía técnica, a partir del crecimiento del nivel de automatización como parte del proceso de modernización del plantel industrial del país, los servicios y otras actividades económicas y sociales.

Con estos antecedentes y la necesidad de impactar de forma acelerada en la transformación digital industrial del país, este artículo se propone analizar los conceptos clave relacionados con las plataformas IIoT, sus arquitecturas más frecuentes y los componentes que las caracterizan, y así seleccionar aquellas Plataformas IIoT que satisfagan un conjunto mínimo de características requeridas en el contexto actual del sector industrial cubano.

METODOLOGÍA

La metodología empleada para la selección de las plataformas IIoT con mayor potencial para ser aplicadas en el contexto cubano, consta de los pasos reflejados en la figura 1.

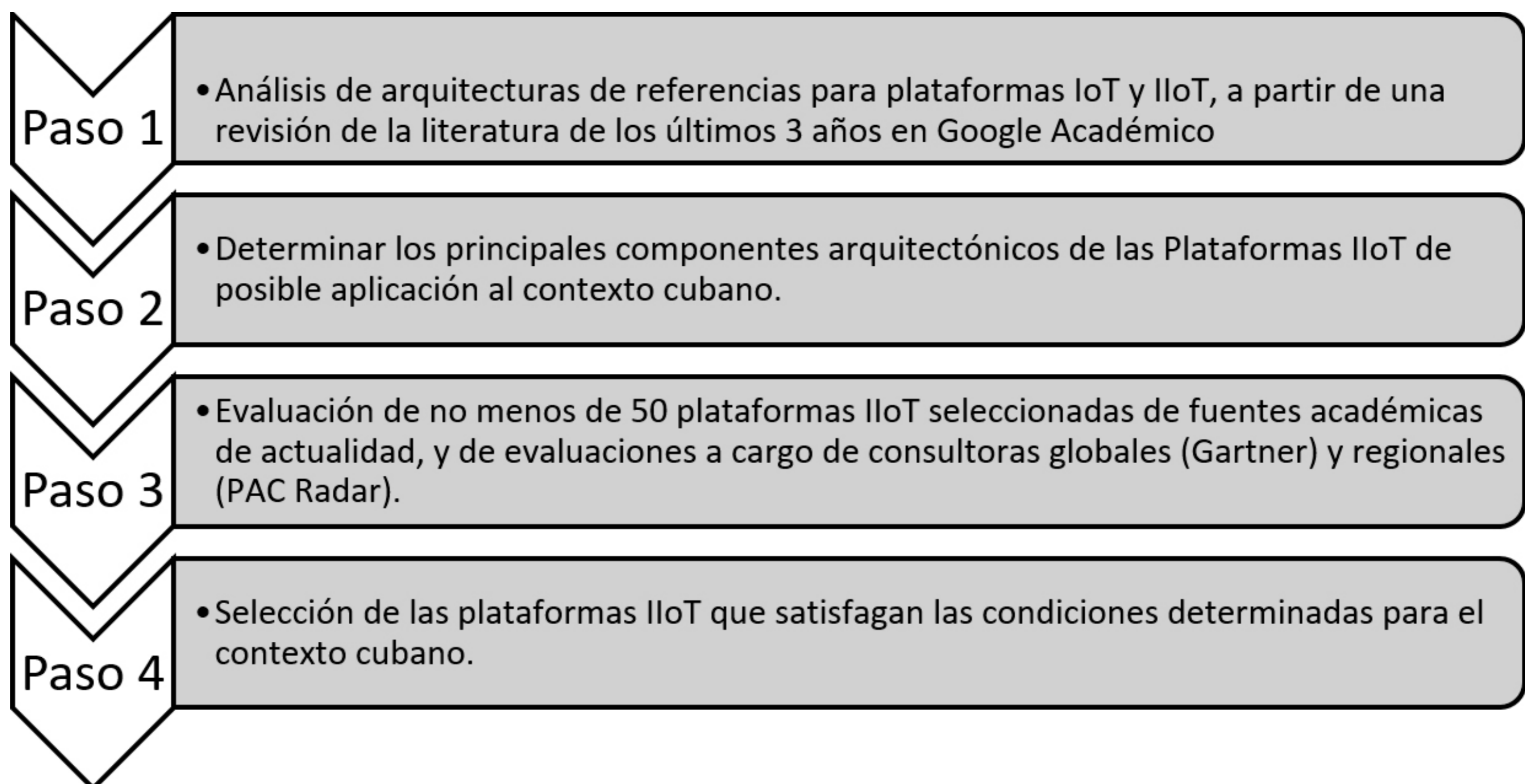


Figura 1. Metodología para seleccionar las plataformas IIoT con potencial aplicación en la industria cubana.

En el paso 1 se realiza el análisis de la literatura sin alcance de revisión sistemática, ya que no era el objetivo del artículo. Se optó en este caso por el repositorio del Google Académico, al cubrir una amplia variedad de publicaciones, como artículos, libros, actas de congreso, tesis y otros materiales, además de indicar la cantidad de citas de cada material y que puede ordenarse por relevancia, fecha o idioma, de forma tal que el investigador, con el empleo de filtros y búsquedas avanzadas, puede llegar de forma relativamente sencilla a los artículos más

relevantes o más actuales, en el idioma de su preferencia. Para el propósito concreto de este artículo, al motor de búsqueda del Google Académico, se le aplicó una ecuación compuesta por las palabras clave, en idioma inglés, “IoT”, “IIoT”, “platform” y “architecture”, para los 3 últimos años. A partir de esta búsqueda se obtienen y describen los modelos de referencia de arquitecturas de IoT, como antecesoras de las específicas para el contexto industrial.

En el paso 2, se determinan los componentes arquitectónicos principales de las plataformas IIoT a partir de una búsqueda complementaria encaminada a encontrar taxonomías y/o arquetipos de plataformas industriales de Internet de las Cosas. Se identifican, para cada capa de una arquitectura multicapa de plataforma IIoT, las dimensiones y sus características. En este segundo paso se analizan cuáles características, para las dimensiones identificadas, deben primar en el contexto industrial cubano, obteniéndose un grupo de características mínimas a satisfacer en la evaluación de plataformas que se hace en el paso 3.

Para evaluar las plataformas se toma información combinada de análisis de literatura científica reciente, realizados a las plataformas industriales de IoT que existen a nivel global con otros informes de evaluación al nivel europeo, por el peso que tienen las plataformas de código abierto en esa región respecto al mundo. Se evalúan más de 50 plataformas, a partir de evaluaciones previas, complementadas con búsqueda e investigación en la web de los proveedores.

Finalmente, en el paso 4, se seleccionan las plataformas que cumplen los requerimientos establecidos para el contexto industrial cubano y se describen sus funcionalidades principales. Asimismo, se discuten algunas recomendaciones que deben tener en cuenta, previo a su adopción.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

ARQUITECTURAS DE PLATAFORMAS IIoT

Las arquitecturas de Internet Industrial de las Cosas se pueden derivar, en su modelo más abstracto, de las arquitecturas IoT. Un modelo de referencia de arquitectura IoT es propuesto por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU, por sus siglas en inglés) (UIT, 2012), como se muestra en la figura 2.

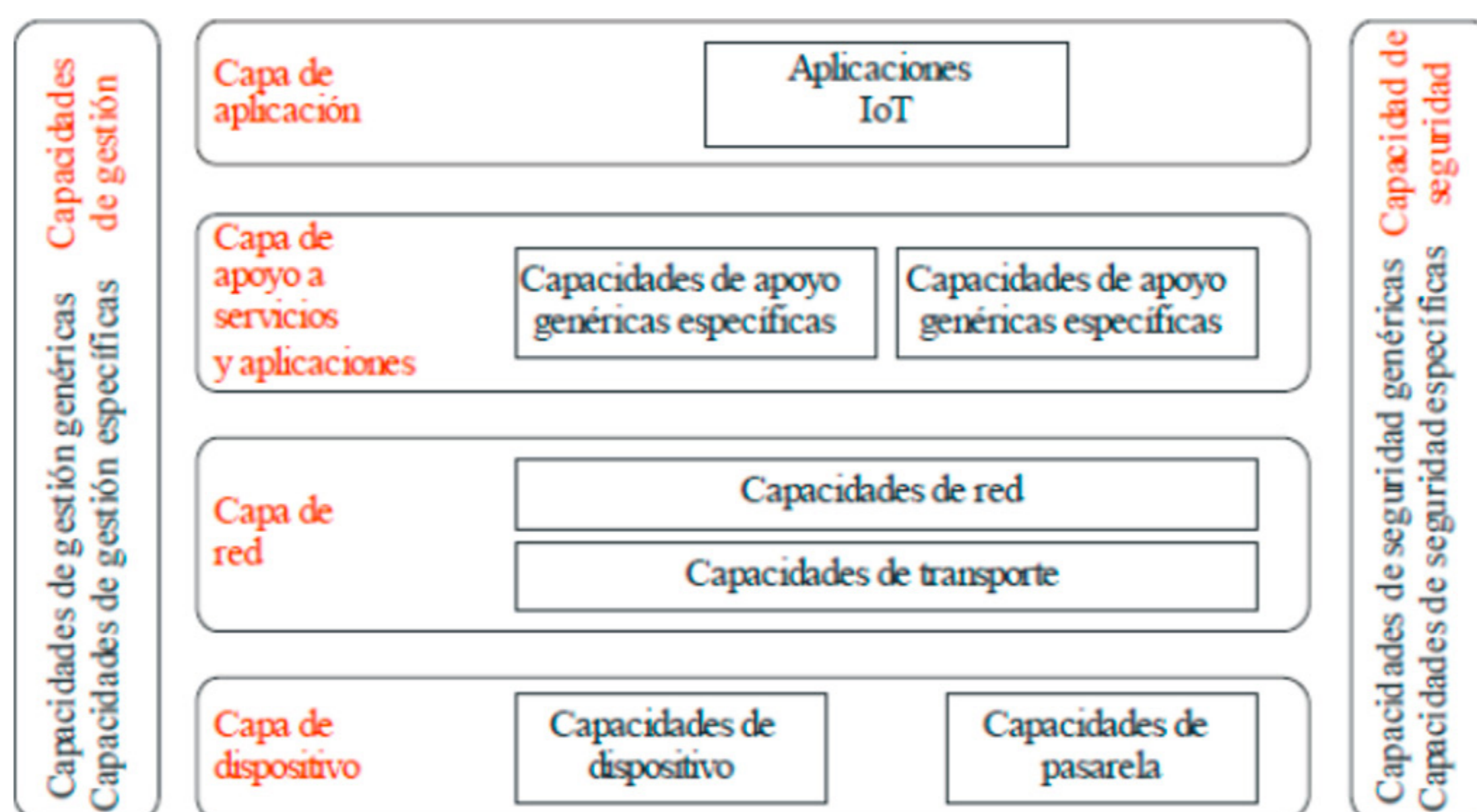


Figura 2.
Modelo de referencia ITU de IoT (UIT, 2012).

- La capa de aplicación, en el modelo de referencia ITU de IoT es responsable de entregar servicios y aplicaciones específicas al usuario final. Esta capa puede entenderse como la convergencia entre IoT y las necesidades industriales e intelectuales, definiendo aplicaciones específicas, como casas inteligentes, ciudades inteligentes, transporte inteligente, entre muchas otras.
- La capa de apoyo a servicios y aplicaciones consiste en las capacidades de soporte genéricas y específicas. Las capacidades de soporte genéricas son capacidades comunes que pueden ser utilizadas en diferentes aplicaciones IoT, tales como procesamiento o almacenamiento de datos. Mientras que las capacidades de soporte específicas atienden necesidades particulares de diversas aplicaciones.
- La capa de red es la capa central de IoT. Su función principal es transmitir y procesar la información obtenida por la capa de percepción. Esta capa también es responsable por interconectar otras redes de dispositivos inteligentes, elementos de red y servidores.
- La capa de dispositivo es la capa sensorial de IoT donde las “cosas” identifican sus alrededores, recolectan información del mundo físico e interactúan con él. Esta capa está compuesta por cámaras, GPS, sensores, terminales, RFID *tags* y actuadores, los cuales convierten toda la información en señales eléctricas que son más fáciles de transmitir para su posterior análisis.
- La capa de seguridad es la encargada de brindar un mayor nivel de seguridad a la solución.

Existen otros modelos de arquitectura IoT (Berbes Villalón, Sánchez Jiménez, Díaz Aguirre & Delgado Fernández, 2022), por ejemplo, la arquitectura de tres capas define la idea principal de Internet de las Cosas e incluye:

1. La capa de transporte transfiere los datos del sensor desde la capa de percepción a la capa de procesamiento y viceversa a través de redes, por ejemplo: inalámbricas, 3G, LAN, *Bluetooth*, RFID y NFC.
2. La capa de procesamiento también se conoce como capa de *middleware*. Almacena, analiza y procesa grandes cantidades de datos que provienen de la capa de transporte. Puede administrar y proporcionar un conjunto diverso de servicios a las capas inferiores. Emplea muchas tecnologías como bases de datos, computación en la nube y módulos de procesamiento de *Big Data*.
3. La capa empresarial administra todo el sistema IoT, incluidas las aplicaciones, los modelos comerciales y de ganancias, y la privacidad de los usuarios.

Otra representación usualmente empleada es la arquitectura de cuatro capas (Sikder, Petracca, Aksu, Jaeger & Uluagac, 2018), donde existe un nivel más de detalle para representar el protocolo de transporte de los datos como una capa más.

Aunque este análisis sobre arquitecturas IoT aporta importantes elementos que se deben considerar en una plataforma IIoT, es necesario analizar particularmente las arquitecturas que incluyen características del contexto industrial. Una excelente taxonomía de los componentes

arquitectónicos de una Plataforma IIoT se ofrece en Arnold, Jöhnk, Vogt & Urbach (2022) y consiste en un modelo de cuatro capas con 13 dimensiones obtenidas tras aplicar una consistente metodología compuesta de siete pasos: (1) determinación de una meta-característica que refleja el propósito de la taxonomía y su grupo objetivo, (2) determinación de las condiciones finales, (3) elección de empírico a conceptual (E2C) o conceptual a empírico (C2E), (4) conceptualización de características y dimensiones, (5) examen de objetos, (6) diseño inicial o revisión de la taxonomía y (7) prueba de condiciones finales. La tabla 1 muestra la taxonomía de elementos arquitectónicos de una plataforma IIoT (Arnold, Jöhnk, Vogt & Urbach, 2022).

Tabla 1. Taxonomía de elementos arquitectónicos de las plataformas IIoT (Arnold, Jöhnk, Vogt & Urbach, 2022).

Capa	Dimensión	Características
Capa de infraestructura	Soporte <i>hardware</i>	Certificado
		Agnóstico
	Alojamiento	Bajo premisa
		Nube pública
		Nube privada
	Procesamiento de datos	Híbrida
		Borde
Niebla		
Capa de red	Transporte físico de datos	Sobre la plataforma
		Cableada
		Inalámbrica de rango corto
		Celular
	Transmisión lógica de datos	LPWAN
		Protocolos de Internet
		Protocolos específicos IoT
Capa <i>middleware</i>	Estructura de datos	Protocolos específicos de la industria
		Estructurado
	Tipo de analíticas	No estructurado
		Descriptiva
		Tiempo real
		Predictiva
	Tecnología de analíticas	Prescriptiva
		Básica
	Integración externa	Avanzada
		Negocio
Máquina		
Código fuente	Servicios web	
	Código abierto	
	Componente abierto	
Capa de aplicación	API	Código cerrado
		Estándar
	Despliegue de aplicaciones	Personalizada
		Nativa
		Contenedores
	Mercado	Fuera de plataforma
		Interno
Externo		
	Ninguno	

Algunas de las características de cada dimensión son mutuamente excluyentes, como el soporte de *hardware* en la capa infraestructura, la tecnología de analíticas y el código fuente en la capa de *middleware*, así como, el tipo de API en la capa de aplicación.

Las plataformas IIoT que se consideran líderes tecnológicos, como PTC, Microsoft, IBM, Siemens, GE Digital y Eurotech, de acuerdo con la Matriz SPARK: Industrial IoT Platforms (<https://www.eurotech.com/en/page/eurotech-leader-in-industrial-iiot-platforms-market>) que hace un *ranking* atendiendo a excelencia tecnológica e impacto del consumidor, poseen características como las siguientes:

1. Perfecta integración TI (Tecnología de información) - TO (Tecnología de operación)
2. Soluciones abiertas, integradas y gestionadas del extremo a la nube
3. Componentes IoT basados en estándares abiertos
4. Tracción y crecimiento significativos del mercado en una amplia gama de sectores
5. Integración con las principales plataformas de análisis
6. Cobertura global
7. Centro en la computación e inteligencia artificial en la nube y en el borde
8. Excelente impacto en el cliente

Este estudio, las plataformas IIoT deben cumplir con un grupo de requisitos de acuerdo con el contexto de aplicación en Cuba, estableciendo que al menos se satisfagan las características siguientes:

1. Se pueda alojar la plataforma en la nube (privada, pública o híbrida), pero adicionalmente es necesario que se ofrezca procesamiento de datos también en la niebla y en el borde de la red.
2. Se utilicen los protocolos estándares de IoT y algunos protocolos industriales que faciliten la relación de la TI con la TO.
3. Permita fuentes de datos estructuradas y no estructuradas.
4. Contemple analíticas de tipo al menos predictiva.
5. Emplee código fuente abierto y tenga una comunidad activa de desarrolladores
6. Se ofrezcan las funcionalidades a través de API estándares
7. Se despliegue la plataforma mediante contenedores

Algunas de estas características son ofrecidas por una buena parte de las plataformas IIoT que existen a nivel global; sin embargo, atendiendo a un estudio reciente (Arnold, Jöhnk, Vogt & Urbach, 2022) de una muestra de 78 plataformas IIoT, las más difíciles de satisfacer de la lista anterior, con menos de un 20 % de satisfacción serían el procesamiento de datos también en la niebla (17,9 %) y el empleo de código fuente abierto (7,7 %).

Por ser la característica más restrictiva para el estudio de plataformas IIoT y la de mayor impacto en el contexto cubano, se hará un levantamiento inicial de aquellas que estén

desarrolladas sobre código abierto, considerando no solo que es un imperativo en Cuba, al estar bloqueado el acceso a múltiples plataformas propietarias, sino porque, además, facilitaría una adecuada escalabilidad, a través de la reutilización de componentes y, con ello, impulsaría la cocreación de valor de forma eficiente y potenciaría la innovación como parte de un ecosistema basado en la propia plataforma.

El uso de código abierto ofrece beneficios importantes, como: rentabilidad, independencia del proveedor, servicios de nivel empresarial y capacidades de personalización (PAC, 2021). Para brindar soporte a sus clientes de la mejor manera posible, las plataformas líderes requieren, primero, garantizar soporte de *software* a largo plazo para los clientes. Esto se puede lograr mediante de servicios de soporte de *software* individuales, pero es aún mejor para un cliente poder confiar en una comunidad sólida de empresas y desarrolladores para garantizar el soporte de *software* a largo plazo. Las comunidades pueden proporcionar el mejor valor a largo plazo.

En relación con el procesamiento de datos, las capacidades de la plataforma de IoT en la nube suelen ser suficientes para muchos casos de uso de IoT simples, pero las capacidades adicionales en el borde son muy importantes para muchos casos de uso de IoT industrial más complejos.

Siguiendo este razonamiento, y de acuerdo al Informe de PAC (2021) sobre la clasificación de las plataformas abiertas, quedan descartadas del análisis para el contexto cubano un grupo de plataformas IIoT centradas solamente en la nube y propietarias, muchas de las cuales están además bloqueadas para Cuba, como: Amazon, Microsoft, PTC, SAP, Schneider Electric, Siemens, entre otras. Una preselección inicial se acota a aquellas Plataformas IIoT que son de código abierto, entre las que destacan: Bosch.IO, DeviceHive, Dianomic, EMQ, Eurotech / Everywhere IoT, Kaa, Mainflux, MathWorks, SiteWhere, Thinger.io, y ThingsBoard.

Para apuntar a las plataformas más integrales y tomando como base los clústeres o arquetipos presentados por Arnold, Jöhnk, Vogt & Urbach (2022), se reduce la muestra para el subconjunto de plataformas que pertenecen al arquetipo 1 denominado “Todo terreno”, ya que son las que mayores posibilidades ofrecen. Las plataformas IIoT de este arquetipo suelen tener una fuerte marca en muchas características (no exclusivas). Si bien son fuertes en diferentes opciones de alojamiento de plataforma, también ofrecen varias opciones de transporte de datos de red y protocolos de transmisión de datos. Además, se destacan por sus sólidas capacidades de análisis y posibilidades de integración de sistemas externos. Aprovechan fuertemente las innovaciones externas, a través de componentes abiertos e implementan aplicaciones de varias maneras en la plataforma, al mismo tiempo que mantienen un mercado interno. Las plataformas IIoT en este grupo ofrecen una solución completa a sus usuarios, brindan servicios integrales y cubren una amplia gama de escenarios de aplicaciones, que van desde la conectividad y el monitoreo de dispositivos, visualizaciones de datos y procesos prescriptivos, hasta actualizaciones inalámbricas o ejecución de comandos.

Las únicas plataformas evaluadas en el arquetipo 1 “Todo terreno” (Arnold, Jöhnk, Vogt & Urbach, 2022) de la lista de plataformas de código abierto preseleccionadas son: Bosch.IO y Kaa.

La primera está rankeada en el grupo de las de mejor clase en el Ranking de plataformas digitales abiertas para el mundo industrial en Europa 2021, mientras Kaa está considerada en el clúster de capacidades emergentes (PAC, 2021).

Plataforma Bosch.IO Suite

Bosch IoT Suite se centra en servicios de IoT escalables ofrecidos como PaaS, que van desde *software* para conectividad y comunicación de dispositivos hasta gestión de dispositivos y datos. (Bosch.IO, 2022). Las configuraciones de nube híbrida de Bosh.IO combinan soluciones de nube de terceros (por ejemplo, AWS o Microsoft Azure) con servicios de IoT proporcionados por Bosch IoT Suite. Además, se desarrollan casos de uso específicos de la industria y del cliente.

Desde el principio, Bosch ha sido miembro del grupo de trabajo Eclipse IoT y ha puesto en marcha varios proyectos de código abierto. Bosch IoT Suite se basa en *software* de código abierto. Por otra parte, las unidades comerciales de Bosh.IO utilizan internamente Bosch IoT Suite para conectar e innovar sus propios productos, lo que le ha dado una ventaja competitiva a esta plataforma, ofreciendo al mercado un conjunto completo de soluciones IoT comprobadas.

PLATAFORMA IOT KAA

Kaa es una plataforma de IoT modular que aprovecha la arquitectura de microservicios para una clara separación de tareas, escalabilidad y extensibilidad. Para desarrollo, experimentación o usos a pequeña escala, Kaa ofrece una imagen Sandbox para instalar en una máquina virtual VirtualBox. También proporciona paquetes y código fuente para instalaciones de clúster Kaa. Entre sus características principales se tiene la capacidad de administrar dispositivos IoT a través de la nube, mediante la interfaz de usuario gráfica o con API REST. Su arquitectura de microservicios de Kubernetes y el uso de contenedores (Docker) es muy escalable. Tiene preintegrado un canal Kafka que gestiona la transmisión y análisis de los datos desde los dispositivos IoT. Para ofrecer reportes y visualizaciones incorpora un panel integrado propio o herramientas de terceros como Grafana. Ofrece un sistema potente de seguridad y administración de acceso. El alojamiento es flexible, en la nube pública, en las instalaciones del cliente o incluso en ambos lugares a la vez (multinube) (KaaIoT Technologies, 2022).

Todas estas características, tanto las de Bosch-IO como las que exhibe la plataforma Kaa, resultan idóneas, al menos teóricamente, para ser empleadas en el contexto industrial cubano actual. Sin embargo, elegir una u otra no va a garantizar el éxito de los proyectos de Industria 4.0 basados en Internet Industrial de las Cosas. Es importante evaluar el punto de partida del escenario (empresa o área de una empresa industrial), donde se requiere gestionar datos desde dispositivos de Internet de las Cosas y extraer el verdadero valor de los datos para convertirlo en rendimiento u otro indicador de desempeño industrial. Se recomienda, entonces, a las empresas del sector industrial cubano, tener una estrategia y hoja de ruta a largo plazo, y, a su vez, comenzar por pequeños prototipos para evaluar la introducción incremental de estas tecnologías e involucrar pruebas de concepto con las plataformas IIoT recomendadas.

CONCLUSIONES

Las plataformas IIoT han ido desarrollándose en los últimos años, mientras crece aceleradamente la disponibilidad de dispositivos conectados a Internet y emergen sistemas de producción ciberfísicos, que habilitan a la industria de nuevas capacidades para mejorar su competitividad y rentabilidad.

En el contexto industrial cubano, caracterizado por un aumento de la conciencia sobre la necesidad de transformar digitalmente el sector y con la introducción paulatina de dispositivos IoT en algunas plantas industriales y cadenas de suministro, en medio de condiciones económicas muy difíciles para acceder a un grupo de tecnologías habilitadoras de la Industria 4.0, se precisa apuntar a aquellas que refuercen la soberanía tecnológica, a la vez que habiliten en su máximo esplendor las capacidades transformadoras del nuevo paradigma industrial emergente.

El aporte principal de este artículo es, justamente, ofrecer una metodología para la determinación de un conjunto de factores que se deben considerar en la selección de plataformas IIoT apropiadas al contexto cubano y haberla evaluado para una muestra de 78 plataformas, con vistas a seleccionar finalmente dos que clasifican como las más idóneas, desde una perspectiva integral, las cuales pueden ser adoptadas en el contexto industrial cubano: Bosch IoT y Kaa, ambas de código abierto y que cumplen las especificidades del arquetipo 1 “Todo terreno”, que permitan garantizar un mayor impacto en las múltiples aplicaciones industriales para las cuales podrían emplearse.

La principal limitación de esta investigación está en que se emplean únicamente métodos de investigación teóricos para determinar el subconjunto de plataformas IIoT apropiadas para Cuba. Futuras investigaciones deberán abordar evaluaciones longitudinales teórico-empíricas de ambas plataformas seleccionadas y ofrecer pruebas de concepto para validar efectivamente su viabilidad en el contexto cubano. Asimismo, se evaluarán los requerimientos necesarios para la adaptación al sector industrial de otras plataformas IoT que han sido validadas por el grupo de investigación en otros escenarios, particularmente, la plataforma IoT FIWARE, implementada en el ámbito de las ciudades inteligentes.

REFERENCIAS

- Arnold, L., Jöhnk, J., Vogt, F. & Urbach, N. (2022). IIoT platforms' architectural features-a taxonomy and five prevalent archetypes. *Electronic Markets*, 1-18. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12525-021-00520-0>
- Bai, L., Hu, M., Liu, M. & Wang, J. (2019). BPIIoT: A light-weighted blockchain-based platform for industrial IoT. *IEEE Access*, 58381-58393. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8704309>.
- Berbes Villalón, D. M., Sánchez Jiménez, L., Díaz Aguirre, M. E. & Delgado Fernández, T. (2022). API para el desarrollo de aplicaciones IoT personalizadas usando FIWARE. *Revista Cubana De Transformación Digital*, 3(1), e132. Recuperado de <https://rctd.uic.cu/rctd/article/view/132>.

- Bosch.IO. (15 de July de 2022). *Bosch IoT suite*. Obtenido de <https://www.bosch-iot-suite.com>
- Boyes, H., Hallaq, B., Cunningham, J. & Watson, T. (2018). The industrial internet of things (IIoT): An analysis framework. *Computers in industry*, 1-12
- Bröring, A., Schmid, S., Schindhelm, C. K., Khelil, A., Kabisch, S., K. D., Teniente, E. (2017). Enabling IoT ecosystems through platform interoperability. *IEEE software*, 34(1), 54-61.
- Christou, I. T., Kefalakis, N., Soldatos, J. K. & Despotopoulou, A. M. (2022). End-to-end industrial IoT platform for Quality 4.0 applications. *Computers in Industry*, 103591.
- Gartner Peer Insights (2022). Industrial IoT Platforms Reviews and Ratings. What are Industrial IoT Platforms?<https://www.gartner.com/reviews/market/industrial-iot-platforms>. Accedido 28 de junio 2022.
- Grupo Nacional para la Implementación de la Agenda 2030 (2021). *Informe nacional voluntario de Cuba 2021 de la Agenda 2030*. Facultad de Economía, Universidad de La Habana.
- Hazra, A., Adhikari, M., Amgoth, T. & Srirama, S. N. (2021). A comprehensive survey on interoperability for IIoT: taxonomy, standards, and future directions. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 55(1), 1-35.
- Hernández-González, S., Morejón-Gross, L. L., Díaz Arrazola, R., Ávila-Árias, D. & Junco-Torres, M. (2021). Una alianza estratégica en favor de los resultados innovativos. Experiencia del trabajo de la Universidad “UNA ALIANZA ESTRATÉGICA. *RENDIJA. Revista Cubana de la Propiedad Intelectual*, 4-16.
- KaaIoT Technologies (July de 2022). *Kaa IoT Platform Features for Enterprise IoT Projects*. Obtenido de <https://www.kaaiot.com/products/overview>
- Moura, R., Ceotto, L., Gonzalez, A. & Toledo, R. (2018). Industrial Internet of Things (IIoT) platforms-an evaluation model. *2018 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI)* (págs. 1002-1009). IEEE.
- PAC (2021). *Open Digital Platforms for Open Source-based Industrial IoT*. (P. GmbH, Ed.) Obtenido de Eurotech <https://www.eurotech.com/en/page/iiot-platforms-based-on-open-source>.
- Pérez, A. L., Anías, C. & Delgado, T. (2021). Procedimiento para la implementación de la computación en la niebla en ciudades inteligentes. *Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones*, 42(1), 45-57. Recuperado en 19 de junio de 2022. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59282021000100045&lng=es&tlng=es.
- Schermuly, L., Schreieck, M. & Wiesche, M. K. (2019). Developing an industrial IoT platform-Trade-off between horizontal and vertical approaches. *14th International Conference on Wirtschaftsinformatik*, (págs. 32-46). Siegen, Germany

