

Internet of Things at the Service of Bioconstruction

Fabián-Ricardo Corredor-Sánchez; Juan-Sebastián González-Sanabria; Miguel-Ángel Mendoza-Moreno

Citación: F.-R. Corredor-Sánchez, J.-S. González-Sanabria, M.-Á. Mendoza-Moreno, “Internet of Things at the Service of Bioconstruction,” *Revista Facultad de Ingeniería*, vol. 30 (55), e12266, 2021. <https://doi.org/10.19053/01211129.v30.n55.2021.12266>

Recibido: Noviembre 17, 2020; **Aceptado:** Diciembre 22, 2020;
Publicado: Enero 01, 2021

Derechos de reproducción: Este es un artículo en acceso abierto distribuido bajo la licencia [CC BY](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)



Conflicto de intereses: Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Internet of Things at the Service of Bioconstruction

Fabián-Ricardo Corredor-Sánchez¹

Juan-Sebastián González-Sanabria²

Miguel-Ángel Mendoza-Moreno³

Abstract

The Internet of Things (Internet of Things - IoT) approach promotes the interconnection of objects that humans use on a daily basis so that they are administered, controlled and/or monitored through telematic technologies. This paradigm has a wide field of application to support several development schemes in a variety of areas. In the case of construction, there are home automation schemes, but regarding bio-constructions, the myth of incompatibility between digitized systems and “bio” schemes exists. However, bio-constructions require aesthetic, structural, environmental and technological considerations to integrate efficient and friendly systems, contributing to a sustainable environment, generating and regulating the resources of the environment in which they are implemented. In this way, a documentary research process has been developed to determine the degree of applicability of IoT for green buildings. As a result, a set of IoT technologies was identified, which can promote the administration and control of the normatively established agents involved in a bio-construction for living spaces.

Keywords: Baubiologie; bioconstruction; biohouses; IoT; Internet of things.

¹ M. Sc. (c) Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (Tunja-Boyacá, Colombia).

² M. Sc. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (Tunja-Boyacá, Colombia). juansebastian.gonzalez@uptc.edu.co. ORCID: [0000-0002-1024-6077](https://orcid.org/0000-0002-1024-6077)

³ Ph. D. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (Tunja-Boyacá, Colombia). miguel.mendoza@uptc.edu.co. ORCID: [0000-0001-9000-5881](https://orcid.org/0000-0001-9000-5881)

Internet de las cosas al servicio de la bioconstrucción

Resumen

El enfoque de Internet de las Cosas (Internet of Things - IoT) promueve la interconexión de los objetos que el ser humano usa cotidianamente para que sean administrados, controlados y/o monitoreados a través de tecnologías telemáticas. Este paradigma tiene un amplio campo de aplicación, como apoyo a diferentes esquemas de desarrollo en diversidad de áreas. Para el caso de las construcciones, se cuenta con esquemas domóticos, pero existe el mito en este ámbito de la incompatibilidad entre los sistemas digitalizados y los esquemas "bio". Sin embargo, las bioconstrucciones requieren consideraciones estéticas, estructurales, ambientales y tecnológicas para integrar sistemas eficientes y amigables, contribuyendo a un medio ambiente sostenible, generando y regulando los recursos del entorno en el que son implementadas. De esta manera, se ha desarrollado un proceso de investigación documental guiado a determinar el grado de aplicabilidad del IoT para bioconstrucciones. Como resultado, se identifica un conjunto de tecnologías propias del IoT que pueden promover la administración y control de los agentes establecidos normativamente para una bioconstrucción de espacios habitacionales.

Palabras clave: Baubiologie; biocasas; bioconstrucción; Internet de las Cosas.

Internet das coisas a serviço do edifício verde

Resumo

A abordagem da Internet das Coisas (IoT) promove a interconexão de objetos que os seres humanos usam diariamente para que sejam gerenciados, controlados e / ou monitorados por meio de tecnologias telemáticas. Este paradigma tem um amplo campo de aplicação, como suporte para diferentes esquemas de desenvolvimento em diversas áreas. No caso das construções, existem esquemas de automação residencial, mas existe um mito nesta área da incompatibilidade entre sistemas digitalizados e esquemas "bio". No entanto, as bioconstruções requerem considerações estéticas, estruturais, ambientais e tecnológicas para integrar sistemas eficientes e amigáveis, contribuindo para um ambiente

sustentável, gerando e regulando os recursos do meio em que são implementadas. Dessa forma, um processo de pesquisa documental foi desenvolvido para determinar o grau de aplicabilidade da IoT para edifícios verdes. Como resultado, identifica-se um conjunto de tecnologias IoT que podem promover a administração e o controle dos agentes instituídos pela regulamentação para uma bioconstrução de espaços residenciais.

Palavras-chave: Baubiologie; biohouses; bioconstrução; Internet das Coisas.

I. INTRODUCCIÓN

La implementación de componentes sostenibles en las áreas del conocimiento del ser humano es un factor fundamental para la preservación del medio [1], razón por la que la implementación de IoT en diseños de bioconstrucciones es una oportunidad para apoyar tecnológicamente a este campo. La propuesta del diseño de un marco de aplicación donde artefactos y estructuras de IoT apoyan los componentes que caracterizan el diseño y normatividad de una bioconstrucción de edificaciones, principalmente de casas, constituye un instrumento de innovación tecnológica aplicado en campos ambientales y arquitectónicos.

Las bioconstrucciones tienen una norma técnica de medición en Baubilogie del año 2015 [2], para medir indicadores en tres áreas: i) campos, ondas y radiación; ii) toxinas domésticas, agentes contaminantes y ambiente interior; y, iii) hongos, bacterias y alérgenos [2]; indicadores que abren la posibilidad a los componentes IoT para suplir las funciones de monitoreo y control. Además de esto, las bioconstrucciones derivan características de aprovechamiento de recursos, para el caso, la energía y el agua potable, a lo cual IoT puede promover procesos ajustados a la racionalización y personalización del consumo, lo que podría identificarse como un aporte a la sostenibilidad. Algunos aspectos de IoT promueven la eficiencia de recursos energéticos, proporcionando conservación de la energía, reducción de costos y ambientes de vida saludables [3]; y de esta forma, se logra el aprovechamiento de los recursos básicos de consumo del ser humano en una construcción de tipo habitacional.

Es tan elevado el uso que están teniendo los dispositivos IoT que para el año 2020 se estimó la conexión entre 25 y 50 billones de dispositivos en el mundo [4]; aclarando que en esta proyección, adicional a dispositivos como teléfonos inteligentes, computadores y tabletas, se incluyen dispositivos que van desde artefactos usados en grandes proyectos ferroviarios [5] hasta electrodomésticos básicos usados en el hogar. Sin embargo, hay otros investigadores que, involucrando el panorama de redes 5G, precisan una cifra de 28 billones de dispositivos inteligentes conectados en el mundo para el 2021 [6]. Este pronóstico de crecimiento trae consigo un incremento equivalente en el mercado tecnológico,

el cual ofrece servicios a partir del uso y transformación de elementos tradicionales en dispositivos inteligentes. En la Figura 1, se pueden observar los periodos en los cuales la economía global ha sufrido transformaciones radicales, destacando que la cuarta revolución industrial está siendo promovida por IoT, en virtud de la automatización masiva de procesos.

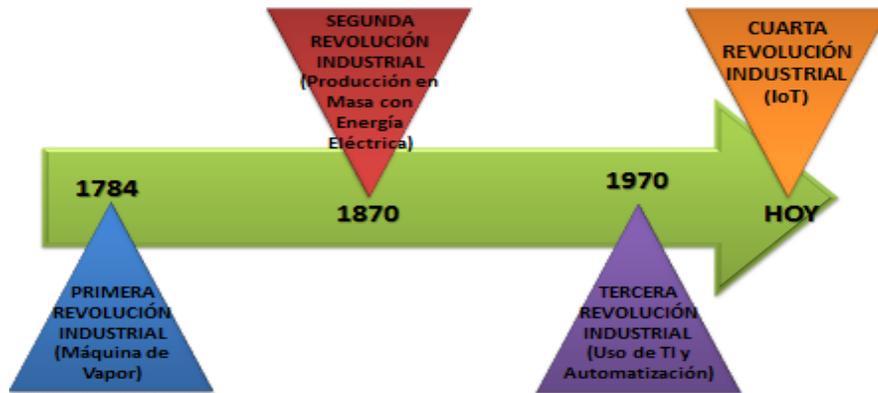


Fig. 1. Adaptación de las cuatro revoluciones industriales.

Es de aclarar que un elemento se convierte en un dispositivo inteligente cuando cuenta con tres características principales: conciencia contextual, autonomía y conectividad [4]. La conciencia contextual, se adquiere a través del uso de sensores y la interacción con otros elementos; la autonomía, se obtiene a través de instrucciones computacionales que enmarquen la actuación funcional del elemento; y, la conectividad se logra a través de la transmisión de información para interoperar. Sin embargo, en la actualidad, estos elementos que alcanzan la característica de dispositivos inteligentes dentro de la estructura de IoT tienen problemas relacionados con el consumo de energía y la integración con dispositivos heterogéneos.

Con el fin de brindar un panorama adecuado de la integración de IoT para el apoyo a las bioconstrucciones, el presente trabajo se estructura así: una sección donde se conceptualizan los agentes de medición de una Bioconstrucción tipo casa, además de los recursos aprovechables; una sección donde se presenta el enfoque de IoT caracterizando los artefactos y estructuras que lo promueven; una sección que evidencia componentes propios de IoT que permiten apoyar

actualmente el despliegue de bioconstrucciones de tipo vivienda; finalmente, una sección que describe los desarrollos que deben ser tenidos en cuenta como trabajo futuro para el complemento de IoT en la promoción de Bioconstrucciones.

II. METODOLOGÍA

El desarrollo de la investigación tiene un enfoque mixto, brindando factores cuantitativos en la medición, análisis y deducción de resultados de consumo de recursos naturales y energéticos en áreas interiores y exteriores de una vivienda y factores cualitativos en la caracterización de los elementos de IoT que apoyan los principios de biocasas.

El proceso inicia con la revisión de literatura científica especializada con ayuda de bases de datos digitales en temas relacionados a la ingeniería, tecnología, arquitectura y medio ambiente, donde se puntualiza en la clasificación conceptual y normativa vigente de las bioconstrucciones, dadas por las organizaciones internacionales competentes. Las bases de datos utilizadas son principalmente Scopus e IEEE, para las que se usaron los siguientes términos de búsqueda: “*Bioconstruction*”, “*Baubiologie*”, “*bioconstruction+IoT*”, “*bioconstruction+Internet of Things*” y “*Baubiologie+IoT*”. Adicionalmente, se estudian las pautas y materiales de este tipo de construcciones ofrecidas por reconocidas revistas especializadas. De la misma manera se despliega la evolución que ha tenido IoT en los últimos diez años, en redes tipo LAN y apoyo en temáticas de fuentes de energía e implementaciones en construcciones tipo vivienda.

El resultado final, otorga la posibilidad de realizar una síntesis metodológica que incluirá la formulación de las arquitecturas y artefactos de IoT que sirven para dar apoyo a cada uno de los requerimientos de una biocasa con resultados de operabilidad y registros medibles de consumo y optimización de recursos que serán la base del análisis de la consistencia de la aplicación de IoT en el desarrollo de Bioconstrucciones.

III. CONTEXTUALIZANDO LAS BIOCONSTRUCCIONES

La calidad de vivienda mediante el uso de materiales ecológicos, la disminución de agentes tóxicos en la construcción y la gestión de recursos, entre otros, son ventajas en el desarrollo de una bioconstrucción que sin lugar a duda, este tipo de vivienda puede disponer de los mismos beneficios de una vivienda convencional con la diferencia de un notable impacto ambiental, reducción de tiempo de mantenimiento, ahorro energético y disminución de costos [7].

El documento guía en el campo de las bioconstrucciones es el desarrollado por [8] donde estandariza este tipo de construcción en el 2008 a través de la norma IBN SBM-2008 [8], que años después fue ajustada para que actualmente se constituya como la norma IBN SBM-2015 [2]; sin embargo, este estándar rige para todo tipo de edificación enmarcada en la Baubiologie y aun no se cuenta con especificaciones para los diferentes tipos de construcciones [8]. Basados en esta norma, se eleva el concepto de Bioconstrucción a un campo en profundidad donde se tienen en cuenta rigurosamente no solo los factores establecidos en dicha norma sino también los introducidos por investigadores expertos en el área, aportando a la presente investigación argumentos, prácticas y pautas de construcción de tipo medioambientales y sostenibles como solución a temas contaminantes [9].

El principio de la norma técnica de medición en baubiologie persigue la detección y reducción de riesgos físicos, químicos y biológicos en espacios habitados, en busca de entornos vitales con la menor contaminación y la mayor naturalidad posible [8]. Las mediciones y presentación de indicadores de estos riesgos se dividen en tres marcos de distribución asociados, representados en la Figura 2 según la IBN SBM-2015.



Fig. 2. Áreas de riesgo según norma técnica de medición en Baubiologie.

A partir de los anteriores riesgos asociados, la IBN presenta el complemento a la norma IBN SMB-2015, en la cual se plasman las rubricas que miden los indicadores para las tres áreas de la norma como se muestra en la Tabla 1 [10]. Los valores resultantes cuentan con un marco descriptivo que presenta el estándar, unidades de medida e instrumentos, en el cual se debe realizar el análisis para las referencias de cada una de las áreas, a fin de ampliar y profundizar las evaluaciones de medida de los riesgos en Baubiologie [11].

Tabla 1. Adaptación de las rúbricas para los valores indicativos de medición en Baubiologie [10].

Área	Rúbricas de medición			
	No Significativo	Débilmente Significativo	Fuertemente Significativo	Extremadamente Significativo
Campos, Ondas, Radiación	Se debe tener precaución, sin embargo, los valores de los indicadores son “normales” es decir, se encuentran en el medioambiente de la casa, de	Se debe mejorar cada que sea posible como precaución a sensibilidad de algunas personas en consecuencia a ciertos valores resultantes de	No se debe tardar en aplicar la mejora correspondiente como precaución a indicadores que traen consecuencias	La aplicación de la corrección debe ser inmediata en respuesta a la alerta generada por los elevados valores de los indicadores encontrados en el hogar.
Toxinas domésticas, Agentes contaminantes, Ambiente interior				

Área	Rúbricas de medición			
	No Significativo	Débilmente Significativo	Fuertemente Significativo	Extremadamente Significativo
Hongos, Bacterias, Alérgenos	manera frecuente y/o casi inevitable.	indicadores medidos en el hogar.	biológicas y sanitarias en el hogar.	

Adicionalmente existen lineamientos de las Bioconstrucciones que determinan el impacto ambiental que provocan en su ciclo de vida: Durante la obra – Durante la vida útil – Después de la vida útil; y se definen en términos de impacto, energía, consumo y residuos. Estos términos se enmarcan en un proceso en común que es la selección y utilización de materiales que hacen parte o intervienen en la Construcción [12]. En la figura 3 se pueden visualizar los principales factores que inciden técnica y económicamente en el impacto ambiental generado por una construcción, lo que ha estimulado el desarrollo de soluciones para estimular la eficiencia en el consumo de recursos como el agua [13], energía [14] y provisión alimenticia en entornos controlados [15].



Fig. 3. Factores de mayor incidencia en la reducción de impacto ambiental de una bioconstrucción.

A partir de estos factores, se conceptualiza el término de Construcción Sostenible cuyo producto será objeto de la medición a través de la norma técnica IBN SMB – 2015. Sin embargo, existen criterios de evaluación aplicados al proceso de construcción desde el inicio hasta el final de su ciclo de vida [12]:

- ✓ Valoración y Control de la Calidad Geobiológica y Medioambiental.
- ✓ Valoración y Control de Productos, Materiales y Sistemas de Instalación.

- ✓ Cuidado y Control de la Calidad de la Actividad de Transformación y Recalificación del ambiente construido.
- ✓ Contención en el uso de recursos energéticos no renovables y reducción de emisiones contaminantes.
- ✓ Minimización de impacto ambiental durante las fases de Producción, Gestión y Recuperación/ Eliminación de los componentes de la construcción.

Finalmente, el proceso de desarrollo de una Bioconstrucción, se consolida con los parámetros que definen las acciones concretas que se deben llevar a cabo para la gestión de una construcción sostenible [12]:

- Correcta Integración con el ambiente físico.
- Adecuada elección de materiales y procesos.
- Gestión eficiente del agua y la energía.
- Planificación y control de la generación de residuos.
- Creación del interior saludable.
- Eficiencia calidad-costo.

A. Líneas de Acción en el Paradigma de IoT

Internet de las Cosas (IoT) promueve la interconexión de objetos que el ser humano utiliza en el día a día a través de una infraestructura inteligente y de la misma forma, estos objetos se convierten en dispositivos inteligentes al servicio, administración y control del ser humano. En la Figura 4 se observan las tendencias actuales de aplicaciones de IoT, que dan cuenta de factores clave para IoT, como las tasas de transferencia según requerimientos y los niveles de implicación de las aplicaciones tanto para la máquina como con el humano.

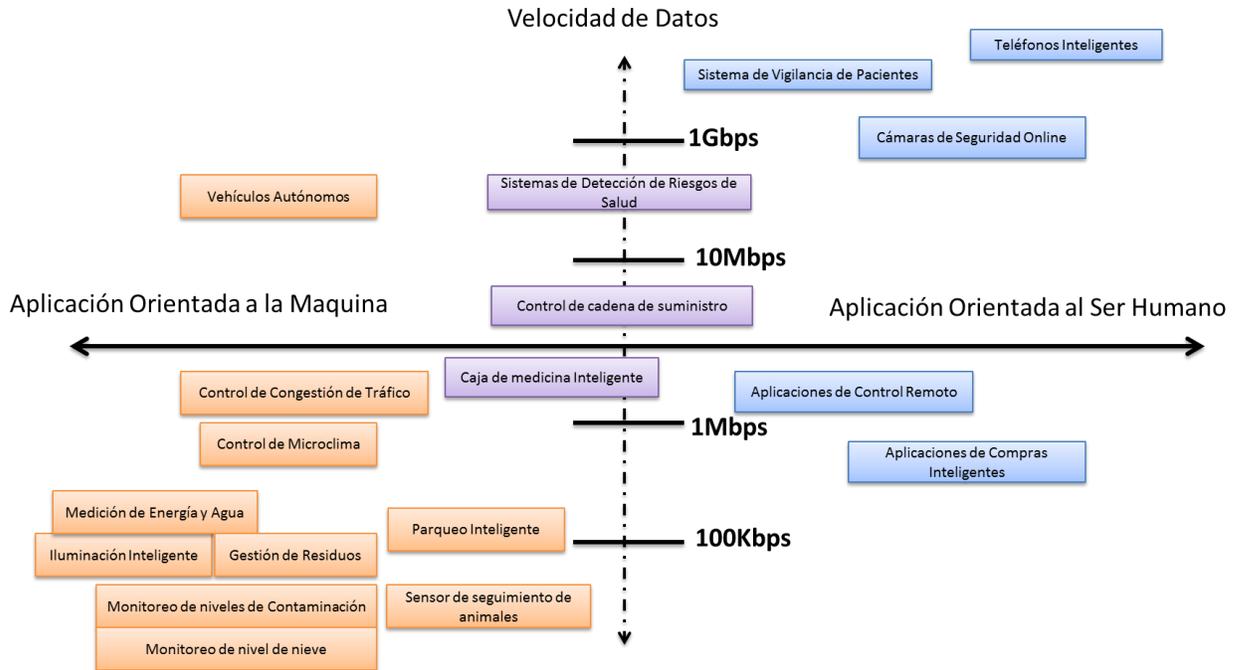


Fig. 4. Adaptación de Clasificación de aplicaciones de IoT [16].

En IoT se han puesto de manifiesto ciertas áreas en las que se recaba el interés por generar mayores aproximaciones, toda vez que su mejora potencializará nuevos desarrollos (figura 5), dichas áreas se corresponden con el consumo de energía, las tasas de transferencia, seguridad e interoperabilidad. Así mismo, se plantea atacar el problema de consumo energético de dispositivos, mediante la configuración específica de nodos de sensores para disminuir los paquetes de transmisión de datos, lo cual representa un ahorro en tiempo-energía [17], sin dejar de lado la confiabilidad de esos datos, que es controlada a través de la redundancia de sensores implementada en la misma configuración. Igualmente, existen tecnologías paralelas que se suman a la evolución de IoT, como lo es el Paradigma Reversible Inalámbrico (TR), el cual aprovecha al máximo la energía del entorno optimizando el consumo de los dispositivos inteligentes, proporciona seguridad en la capa física del modelo IoT, permite integración de dispositivos heterogéneos y es visiblemente, una tecnología 5G prometedora [18].

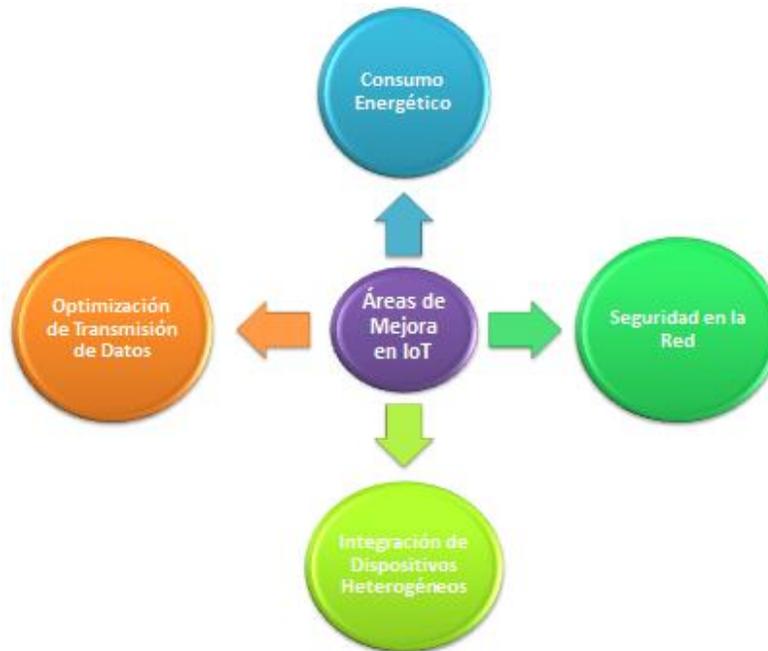


Fig. 5. Áreas de mejora para la arquitectura de IoT.

Por otra parte existen investigaciones que se enfocan en la seguridad de la red de IoT [19], donde se proponen algoritmos para el manejo de la seguridad, monitoreo permanente de los parámetros físicos y una optimización en la capa de control de acceso al medio del modelo, como estrategia de reducción de consumo energético apoyado en el estándar IEEE 802.15.4. Este estándar, que define el nivel físico y control de acceso al medio en redes de tipo WPAN, es también la base sobre la que está definido el conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación inalámbrica Zigbee, a través del cual se ha realizado un importante estudio cuyo objetivo se basa en la adaptación de dispositivos heterogéneos que sean controlables por infrarrojos, obteniendo como resultado gobernabilidad estable e independencia de los dispositivos, con la salvedad de posibilitar el escalamiento a redes de mayor cobertura [20].

En este sentido, se observa que la interoperabilidad de dispositivos inteligentes en implementaciones IoT es un factor primordial, ya que los fabricantes deben superar el desarrollo de ecosistemas homogéneos que contrarían las dinámicas de implementación. Sin embargo, esto no es de fácil alcance, en razón a que no todos los fabricantes cumplen las mismas necesidades y requerimientos en los

dispositivos para la implementación [21]-[22], por lo que se plantea recurrir a la lógica de intercambio de información entre aplicaciones mediante un *Middleware*, como estrategia para la integración de dispositivos heterogéneos.

Como la variable de usuarios de dispositivos inteligentes va en crecimiento día a día, se debe optimizar y evolucionar en modelos teóricos de decisión que son la apertura para el diseño e implementación de una buena arquitectura de IoT [23], apoyando la articulación de objetos y dando cabida a plataformas que permitan la armonización en la toma de decisiones. Sin embargo, estas plataformas existen pero dependen de los fabricantes de los dispositivos, en cuyo caso volvería el problema de interoperabilidad e integración, por lo cual esta toma de decisiones en IoT debería estar mejor soportada por los siguientes dos objetivos fundamentales [24]: el conocimiento Inteligente como Servicio y la Eficiencia Energética como Servicio, impulsando la aplicación de un sistema de gestión integrado que conecte dispositivos IoT y así mismo un soporte basado en un Sistema Operativo de tal forma que los dispositivos no se administren de manera individual; por lo cual propone un modelo inteligente basado en TensorFlow.

En la actualidad, se puede precisar que las necesidades de cualquier aplicación IoT, apunta a altas velocidades de transmisión, ancho de banda, baja latencia, alto rendimiento y una interoperabilidad exitosa; y tal y como se describe en [25] el objetivo principal de IoT es brindar facilidad de operación, control remoto y configuración al usuario final. De esta manera, este mismo autor [25] permite vislumbrar un panorama de la forma en que la tecnología 5G se convierte en un “trampolín” de IoT, permitiendo el uso de diversas y novedosas tecnologías que habilitan el despliegue de arquitecturas, en las cuales se neutralizan muchos de los inconvenientes que se presentaban para IoT antes de la aparición de 5G.

B. Integrando Bioconstrucciones con IoT

Como se ha evidenciado, IoT cuenta con modelos propuestos para su aplicabilidad en diferentes ambientes y escenarios, sin embargo, la presente investigación al estar centrada en la aplicación de IoT a las bioconstrucciones, solo se examinan los modelos que tienen alcance propio en una construcción tipo

vivienda, la cual, a nivel de infraestructura requiere una optimización de recursos al más alto nivel.

El paradigma de IoT ha desarrollado tecnologías de control y administración para pequeñas redes, mediante el uso de sensores y actuadores [26], para obtener resultados prácticos exitosos para redes pequeñas, ideales para ambientes de tipo vivienda; y de la misma manera en coberturas residenciales con resultados exitosos y escalables para el control de elementos eléctricos en el hogar [27].

Analizando las investigaciones de los últimos tres años, donde se han propuesto importantes desarrollos tratan esencialmente la velocidad de datos, la eficiencia energética y la mejora de la escalabilidad [28], se puede identificar que varias de estas tecnologías aplican de manera exacta a mediciones de micro-percepción en Toxinas y Agentes Contaminantes, mediciones sensoriales de ondas y detección de hongos, bacterias y alérgenos, los cuales son identificados como los tres principales elementos a controlar en una Bioconstrucción.

Es de resaltar que, pese a que IoT ha incursionado en gran medida en el despliegue de viviendas, no se ha podido encontrar un interés particular en que la influencia de estas aplicaciones tenga relevancia en el control de elementos que pasan desapercibidos por los sentidos humanos, pero que afectan en gran medida no sólo la salud sino el medio ambiente donde se realiza la construcción.

Adicionalmente, un gran porcentaje de investigaciones y aplicaciones, se centran en el desarrollo de tecnologías domóticas, dirigidas al control de dispositivos dentro del hogar, encontrando el planteamiento de técnicas que optimizan el rendimiento del sistema domótico, pero que al usar sensores de detección de temperatura y humedad se pueden escalar para la detección de partículas determinadas en la norma técnica de la Bioconstrucción [29].

De la misma manera, una construcción amigable con el medio ambiente, debe propender por el aprovechamiento y adecuado consumo de los recursos de que dispone, es por eso que, se han propuesto modelos para detectar los comportamientos del usuario en función de factores como tiempo y temperatura, lo que puede convertirse en un modelo adaptable, para que esos patrones de comportamiento, sean llevados a la racionalización de recursos de la vivienda,

tanto en interiores como en exteriores, generando un control y administración de manera automatizada, con una evaluación y análisis continuos de los datos obtenidos en función de los recursos disponibles y su consumo [30].

Por otra parte, existen aplicaciones que cada vez son más comunes en el hogar con el auge de IoT como la tele salud, los electrodomésticos inteligentes y la energía inteligente [31]. El nivel de complejidad está en que las aplicaciones de medición dadas para mantener los niveles estándar de la Bioconstrucción, competirán por el ancho de banda del hogar con las aplicaciones tradicionales actuales. Kua et al. [31], proponen el uso de Active Queue Management (AQM) para proporcionar la optimización de flujos de proceso, en razón a que los algoritmos tradicionales FIFO (First in, first Out) no son funcionales para este tipo de modelos IoT donde se debe otorgar prioridad a procesos más relevantes en la arquitectura. Otra alternativa, es la de Bera et al. [32], que propone un modelo de redes definidas por software (SDN), las cuales son rentablemente mejores, además de ser confiables debido a la naturaleza de su configuración, la cual permite conexiones masivas dentro de la misma red.

Teniendo en cuenta las soluciones basadas en las tecnologías descritas y mencionadas anteriormente, se ratifica que IoT tiene la capacidad para apoyar una construcción residencial en una vivienda inteligente, adaptando el aporte de [33] ,que plasma los componentes que hacen parte de un edificio inteligente para llevarlos a ser parte también de una vivienda inteligente (figura 6).

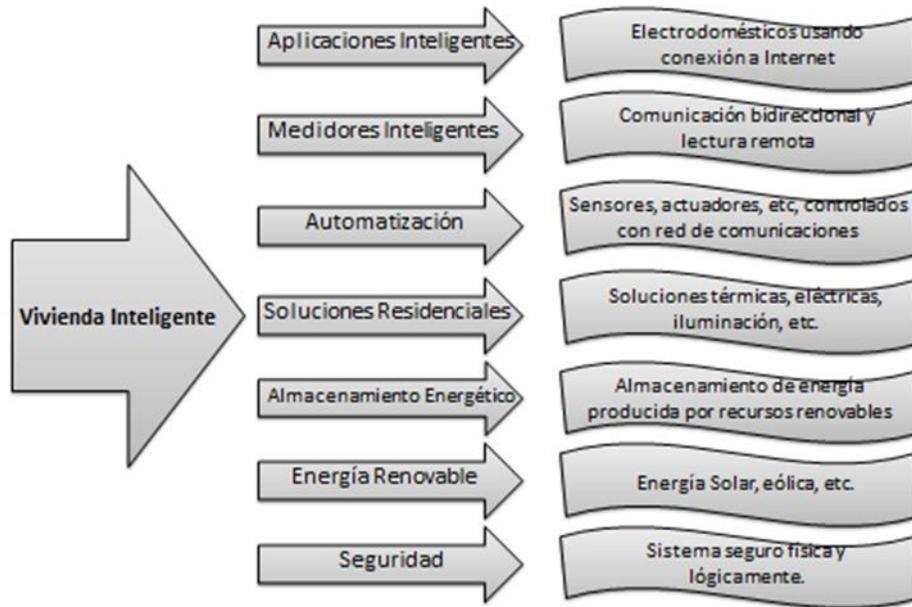


Fig. 6. Componentes de una construcción inteligente. Adaptado de [33].

C. Perspectiva de IoT sobre Bioconstrucciones

Teniendo como fundamento las investigaciones realizadas, en la Tabla 2, se puede observar un panorama de diversas tecnologías y herramientas que apoyan las áreas que componen una arquitectura IoT.

Tabla 2. Integración de componentes propuestos para una implementación IoT.

Componente IoT	Componente Propuesto para el Modelo		
Consumo Energético de Dispositivos	Estándar IEEE802.15.4	TensorFlow	TR
Integración de Dispositivos Heterogéneos	Middleware		TR
Seguridad en la Red	Estándar IEEE802.15.4		TR
Transmisión de Información	AQM		SDN

De la misma manera, se percibe que el proyecto de micro ubicación de Zafari et al. [33], sea escalado para identificar mediante rastreo la ubicación exacta dentro de la construcción de aquellos elementos medibles que se encuentran en las tres categorías de la norma técnica de la Baubiologie.

Es importante resaltar que las implementaciones de IoT llevadas a cabo en una Bioconstrucción llevan consigo un análisis cuantificable, representado en ahorro energético mediante el aprovechamiento de recursos. Por esta razón, en el esquema presentado por Masera et al. [34], se aprovecharon los recursos

ambientales en una Biocasa, minimizando de forma medible el consumo de energía, a través de herramientas como TRNSYS para la estimación de consumo energético y ECOTECT para el análisis lumínico, es uno de los soportes que apoyan la consolidación de indicadores de integración de IoT con Bioconstrucciones.

IV. CONCLUSIONES

El desarrollo e implementación de 5G, permite superar algunos de los inconvenientes que se venían presentando en IoT relacionados con la interoperabilidad, la seguridad, el consumo energético y la velocidad de transmisión de datos, aportando a los elementos propios de IoT un mayor grado de optimización del sistema, transparente a nivel de administración y control del mismo sistema.

En el área de Bioconstrucciones existe una norma claramente definida, que caracteriza puntualmente elementos medibles dentro de los campos que se deben tener en cuenta en una construcción. En la Tabla 3, se presenta una síntesis de los componentes actuales, que permitirían el desarrollo de una Bioconstrucción, a través de IoT.

Tabla 3. Elementos y Herramientas de IoT vs Bioconstrucción

Elementos de Bioconstrucción	Elementos de IoT	Herramientas de Medición
<ul style="list-style-type: none"> • Norma IBN SBM-2015 • Diseños Medioambientales y Sostenibles. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de Red: WLAN, WPAN (Adecuados para Construcción tipo vivienda) • Tecnologías aplicadas: Seguridad, Algoritmos, Protocolos, Interfaz • Artefactos usados: Sensores y Actuadores 	<ul style="list-style-type: none"> • Optimización Energética: TRNSYS y ECOTECT Software [10]. • Percepción y caracterización de agentes contaminantes y/o perjudiciales: adaptación y escalabilidad de modelos propuestos en [29] y [33] para obtener indicadores.

Existen investigaciones que apuntan al desarrollo y optimización de recursos medioambientales y energías renovables. Es claro que una Bioconstrucción además de considerar un diseño sostenible y amigable con el medio ambiente, también relaciona factores que protegen la integridad de las personas que habitan

esas viviendas; y es en ese campo donde aún es escaso el grado de investigación existente. Sin embargo, diversas aplicaciones existentes se pueden adoptar y escalar para llevarlas a una medición, control y administración exacta de una vivienda inteligente que cumpla con las especificaciones de una Bioconstrucción. Aunque la norma de Baubiologie [2] es clara, con respecto a los campos medibles que se deben tener en cuenta, actualmente no existe una norma que apunte a presentar un indicador claro del aprovechamiento de los recursos naturales disponibles en un rango de área de la construcción, lo que es un espacio interesante que vincula tanto la resolución normativa, como el abastecimiento tecnológico para respaldarla. Se habla de un aprovechamiento cualitativo, pero obviando el aspecto cuantitativo, dando paso a la ausencia de una normativa clara que rijan la eficiencia en el aprovechamiento de recursos disponibles al exterior de la casa que cumpla con los niveles de ponderación que debe exigir una Bioconstrucción.

El desarrollo acelerado de IoT permite que, a través de algunos de sus elementos más esenciales como actuadores y sensores, se realicen sistemas tecnológicos sencillos o complejos de manera efectiva. Sin embargo, en el ámbito de una Bioconstrucción existe el factor 'económico' que debe ser considerado con prelación. Pues si bien la inversión en un sistema IoT de aprovechamiento de recursos naturales permite retornar la inversión en un determinado tiempo, la inversión en elementos de micro percepción, actuadores y sensores dedicados para la medición de la norma técnica vigente no presenta retorno de inversión preciso, porque su implementación apunta a un servicio de mejoramiento de calidad de salud dentro de la vivienda.

Es destacable que las personas aún se concentran en el aspecto funcional de las implementaciones IoT más que en aspectos intangibles guiados a las condiciones salubres, de manera que el desarrollo de soluciones centradas en el monitoreo y control de elementos como radiaciones, toxinas y alergénicos resulta siendo deseable para entornos restringidos de tipo industrial, pero poco común para entornos residenciales, no obstante, es necesario que el usuario de bioconstrucciones genere mayor conciencia respecto a las implicaciones que esto

conlleve y que la filosofía ambiental y sostenible, ahora cuenta con parámetros más granulares cuando se trata de disponerlos para la habitabilidad de los espacios.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Fabián-Ricardo Corredor-Sánchez: Investigación, Escritura – borrador original.

Juan-Sebastián González-Sanabria: Metodología, Validación, Escritura – revisión y edición.

Miguel-Ángel Mendoza-Moreno: Validación, Escritura – revisión y edición.

REFERENCIAS

- [1] H. G. Cortés Mura, J. I. Peña Reyes, "De la sostenibilidad a la sustentabilidad. Modelo de desarrollo sustentable para su implementación en políticas y proyectos," *Revista Escuela de Administración de Negocio*, no. 78, pp. 40-54, 2015. <https://doi.org/10.21158/01208160.n78.2015.1189>
- [2] Institut für Baubiologie + Nachhaltigkeit, *Norma técnica de medición en baubiologie-SBM2015*, 2015.
- [3] G. Bedi, G. S. Member, G. K. Venayagamoorthy, S. Member, R. Singh, R. Brooks, S. Member, K. Wang, "Review of Internet of Things (IoT) in Electric Power and Energy Systems," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 5, no. 2, pp. 847-870, Apr. 2018. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2018.2802704>
- [4] M. Silverio-Fernández, S. Renukappa, S. Suresh, "What is a smart device? a conceptualisation within the paradigm of the internet of things," *Visualization in Engineering*, vol. 6, e3, 2018. <https://doi.org/10.1186/s40327-018-0063-8>
- [5] O. Jo, Y. K. Kim, J. Kim, "Internet of Things for Smart Railway: Feasibility and Applications," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 5, no. 2, pp. 482-490, Apr. 2018. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2017.2749401>
- [6] G. A. Akpakwu, S. Member, A. M. Abu-mahfouz, S. Member, "A Survey on 5G Networks for the Internet of Things : Communication Technologies and Challenges," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 3619-3647, 2018. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2779844>
- [7] Ecohabitar, "Qué es la bioconstrucción? Pautas y Materiales," 2019. <http://www.ecohabitar.org/que-es-la-bioconstruccion-pautas-y-materiales/>
- [8] Institut für Baubiologie + Nachhaltigkeit, *Norma técnica de medición en baubiologie-SBM2008*, 2008.
- [9] A. Montesinos López, "El discurso de la bioconstrucción arquitectónica: divulgación y legitimación en revistas profesionales," *Cultura, lenguaje y representación: revista de estudios culturales de la Universitat Jaume I*, vol. 13, pp. 201-220, 2014. <https://doi.org/10.6035/clr.2014.13.11>
- [10] Institut für Baubiologie + Nachhaltigkeit, *Valores indicativos en Baubiologie para las zonas de descanso*, 2015.
- [11] Institut für Baubiologie + Nachhaltigkeit, *Condiciones marco para mediciones técnicas. Aclaraciones y Complementos*, 2015.
- [12] N. L. Arango Ortiz, "Lineas guia de la bioconstruccion," Master Thesis, Università degli Studi di Ferrara,

- Italy, 2007.
- [13] C. González-Amarillo, C. Cárdenas-García, M. Mendoza-Moreno, "M2M system for efficient water consumption in sanitary services , based on intelligent environment," *DYNA*, vol. 85, no. 204, pp. 311-318, 2018. <https://doi.org/10.15446/dyna.v85n204.68264>
- [14] C. González-Amarillo, C. Cárdenas-García, J. Caicedo-Muñoz, M. Mendoza-Moreno, "Smart Lumini: A Smart Lighting System for Academic Environments Using IOT-Based Open-Source Hardware", *Revista Facultad de Ingeniería*, vol. 29, no. 54, e11060, Jun. 2020. <https://doi.org/10.19053/01211129.v29.n54.2020.11060>
- [15] C. A. González-Amarillo, J. C. Corrales-Muñoz, M. Á. Mendoza-Moreno, A. M. González-Amarillo, A. F. Hussein, N. Arunkumar, G. Ramirez-González, "An IoT-Based Traceability System for Greenhouse Seedling Crops," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 67528-67535, 2018. <https://doi.org/10.1109/access.2018.2877293>
- [16] L. Fidelity, "IoT Connectivity Technologies and Applications: A Survey," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 67646-67673, 2020. <https://doi.org/10.1109/access.2020.2985932>
- [17] E. Fitzgerald, M. Pioro, A. Tomaszewski, "Energy-Optimal Data Aggregation and Dissemination for the Internet of Things," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 5, no. 2, pp. 955-969, Apr. 2018. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2018.2803792>
- [18] Y. Chen, F. Han, Y. H. Yang, H. Ma, Y. Han, C. Jiang, H. Q. Lai, D. Claffey, Z. Safar, K. J. R. Liu, "Time-reversal wireless paradigm for green internet of things: An overview," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 1, no. 1, pp. 81-98, 2014. <https://doi.org/10.1109/jiot.2014.2308838>
- [19] Z. A. Khan, "Using energy-efficient trust management to protect IoT networks for smart cities," *Sustainable Cities and Society*, vol. 40, pp. 1-15, Jul. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.03.026>
- [20] G. B. Asencio, J. M. Maestre, J. M. Escaño, C. Martín Macareno, M. A. Molina, E. F. Camacho, "Interoperabilidad en sistemas domoticos mediante pasarela Infrarrojos-Zigbee," *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, vol. 8, no. 4, pp. 397-404, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.riai.2011.09.002>
- [21] M. R. Alam, M. B. I. Reaz, M. A. M. Ali, "A review of smart homes - Past, present, and future," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, vol. 42, no. 6, pp. 1190-1203, Nov. 2012. <https://doi.org/10.1109/TSMCC.2012.2189204>
- [22] M. A. A. da Cruz, J. J. P. C. Rodrigues, J. Al-Muhtadi, V. Korotaev, V. H. C. Albuquerque, "A Reference Model for Internet of Things Middleware," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 5, no. 2, pp. 871-883, Apr. 2018. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2018.2796561>
- [23] K. Zaheer, M. Othman, M. H. Rehmani, T. Perumal, "A Survey of Decision-Theoretic Models for Cognitive Internet of Things (CloT)," *IEEE Access*, vol. 18, no. 8, pp. 1-23, 2018. <https://doi.org/10.1109/access.2018.2825282>
- [24] H. Jo, Y. I. Yoon, "Intelligent smart home energy efficiency model using artificial TensorFlow engine," *Human-centric Computing and Information Sciences*, vol. 8, e9, 2018. <https://doi.org/10.1186/s13673-018-0132-y>
- [25] K. Shafique, B. A. Khawaja, F. Sabir, S. Qazi, M. Mustaqim, "Internet of Things (IoT) for Next-Generation Smart Systems : A Review of Current Challenges, Future Trends and Prospects for Emerging 5G-IoT Scenarios," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 23022-23040, 2020. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2970118>
- [26] E.-R. Adolfo, R.-I. Erica, G.-B. Armando, L.-C. J. Antonio, C.-G. Joaquín, R.-I. Joel, "Plataforma Revista Facultad de Ingeniería (Rev. Fac. Ing.) Vol. 30 (55), e12266. Enero-Marzo 2021. Tunja-Boyacá, Colombia. L-ISSN: 0121-1129, e-ISSN: 2357-5328. DOI: <https://doi.org/10.19053/01211129.v30.n55.2021.12266>

- autoconfigurable de monitoreo remoto para aplicaciones móviles en WSN,” *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, vol. 16, no. 3, pp. 369-382, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.riit.2015.05.009>
- [27] M. C. Rodríguez-Sánchez, J. A. Hernández-Tamames, S. Borromeo, “Wireless System for Home appliances,” *Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*, vol. 4, no. 1, pp. 75-82, 2009.
- [28] A. M. Kurien, “The Narrowband Internet of Things (NB-IoT) Resources Management Performance State of Art , Challenges, and Opportunities,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 97658-97675, 2020. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2995938>
- [29] T. Kim, S. Bae, “Design of Smart Home Implementation Within IoT Natural Language Interface,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 84929-84949, 2020. <https://doi.org/10.1109/access.2020.2992512>
- [30] M. Yamauchi, G. S. Member, Y. Ohsita, “Anomaly Detection in Smart Home Operation From User Behaviors and Home Conditions,” in *IEEE International Conference on Consumer Electronics*, 2019, pp. 1-6. <https://doi.org/10.1109/ICCE.2019.8661976>
- [31] J. Kua, S. H. Nguyen, G. Armitage, P. Branch, “Using Active Queue Management to Assist IoT Application Flows in Home Broadband Networks,” *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 4, no. 5, pp. 1399-1407, 2017. <https://doi.org/10.1109/jiot.2017.2722683>
- [32] S. Bera, S. Misra, A. V. Vasilakos, “Software-Defined Networking for Internet of Things: A Survey,” *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 4, no. 6, pp. 1994-2008, 2017. <https://doi.org/10.1109/jiot.2017.2746186>
- [33] F. Zafari, I. Papapanagiotou, K. Christidis, “Microlocation for internet-of-things-equipped smart buildings,” *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 3, no. 1, pp. 96-112, 2016. <https://doi.org/10.1109/jiot.2015.2442956>
- [34] G. Masera, M. Grecchii, L. E. Malighetti, M. M. Sesana, D. Palazzoi, “Multidisciplinary design process: Urban, architectural and technological analyses for energy-efficient residential buildings in northern Italy,” *International Journal for Housing Science and Its Applications*, vol. 35, no. 1, pp. 11-21, 2011.