



# ARQUITECTURAS DE NANO-REDES DE COMUNICACIONES EN EL INTERNET DE LAS NANO-COSAS IONT

## ARCHITECTURES OF NANO-NETWORKS OF COMMUNICATIONS IN THE INTERNET OF NANO-THINGS IONT

<sup>1</sup>Juan Tapias, <sup>2</sup>Paulita Flor, <sup>3</sup>Héctor Parra

<sup>1,2,3</sup>Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, Colombia

Recibido: 30/09/22 Aprobado 20/10/22

### RESUMEN

La nanotecnología brinda soluciones a diferentes problemas que se presentan en diversos campos, como el biomédico, industrial, agrícola, y militar. Para ello se hace uso de las nanoredes, que permiten la comunicación a nanoescala, entre los diferentes nanodispositivos que se usan en las diferentes arquitecturas de nanoredes. Pero cuando una nanored se conecta a Internet, pasa a entrar al nuevo paradigma conocido como Internet de las nano-cosas. Por ello, el objetivo de este artículo es analizar los conceptos más importantes de las nano-redes, aplicaciones y proyectos. Se revisarán las arquitecturas de IoNT basadas en las propuestas de Akyildiz y Jornet, la arquitectura de seguridad complementaria propuesta por Sicari, Rizzardi, Piro, Coen-Pososini y Grieco y la arquitectura de nanored propuesta por Akram Galal y Xavier Hesselbach. Por último, se revisarán las tendencias tecnológicas a nivel del IoNT y desafíos en materia de seguridad, privacidad, comunicación y energía.

**Palabras clave:** comunicaciones, IoNT, nano-redes, nano-sensores, nano-tecnología.

### ABSTRACT

Nanotechnology provides solutions to different problems, such as biomedical, industrial, agricultural and military fields. So, nano-networks are used for nano-scale communication between different nano-devices in the different Nano-Network architectures. But when a nano-network is connected to the Internet, it becomes a new paradigm called the Internet of Nano-Things. Therefore, the objective of this article is to analyze the most important concepts of nano-networks, applications and projects. IoNT architectures based on the proposals of Akyildiz and Jornet, the

Citación: Tapias Baena, J. E., Flor, P., & Parra, H. (2022). Arquitecturas De Nano-Redes De Comunicaciones En El Internet De Las Nano-Cosas Iont. *Publicaciones E Investigación*, 16(4). <https://doi.org/10.22490/25394088.6501>

<sup>1</sup>juan.tapias@unad.edu.co, <https://orcid.org/0000-0002-7857-5678>

<sup>2</sup>paulita.flor@unad.edu.co, <https://orcid.org/0000-0003-3163-261X>

<sup>3</sup>hector.parra@unad.edu.co, <https://orcid.org/0000-0002-6130-1873>

<https://doi.org/10.22490/25394088.6501>

*complementary security architecture by Sicari, Rizzardi, Piro, Coen-Porosini and Grieco and the nano-network architecture proposed by Akram Galal and Xavier Hesselbach will be reviewed. Finally, technological trends at the IoNT level and the challenges in terms of security, privacy, communication and energy will be reviewed.*

**Keywords:** *Communications, IoNT, nano-networks, nano-sensors, nano-technology.*

## 1. INTRODUCCIÓN

El internet de las cosas IoT se ha convertido actualmente en pieza clave para el desarrollo de la industria 4.0, y el principal motivo de esto es la capacidad que tiene de generar interacción entre diferentes dispositivos como actuadores y sensores haciendo uso del internet.

Lo anterior le ha permitido tener una influencia clave en los desarrollos tecnológicos surgidos en los últimos tiempos en diversos campos como la domótica, salud, procesos industriales, etc. (Jornet & Akyildiz, 2012).

Por otro lado, los avances tecnológicos recientes han generado cada vez dispositivos de mayor calidad y eficiencia que tienden a ser más pequeños. Ejemplo de esto son las USB, pantallas LED, discos duros, reproductores de música, entre otros. Pero ninguno de estos desarrollos tecnológicos pudiera ser posible, sin la llegada de la nano-tecnología (Morelos *et al.*, 2011). La cual ha tenido un desarrollo muy avanzado gracias a la colaboración interdisciplinaria entre la medicina, la ingeniería, la informática, la biología y aún la física (Sicari *et al.*, 2019). Llegando inclusive a ser considerada por algunos expertos como la posible revolución científico-tecnológica más importante que haya conocido la humanidad, aun superando al Internet, gracias al gran potencial de aplicaciones y funciones que puede desempeñar. La nano tecnología se dedica al trabajo con estructuras o materiales del orden de los nanómetros. La palabra *nano* viene del latín *nano* que significa *enano*, y hace referencia a la millonésima parte de una unidad (Reyes, Nájera & Rojo, 2019).

El concepto de nanotecnología fue acuñado por primera vez gracias a Richard Feynman, un reconocido premio Nobel de física del año 1965, quien lo pronunció en su famoso discurso *There's Plenty of Room at the Bottom* (Feynman, 1965).

Ya más adelante, en 1974, N. Taniguchi afirmó que se trataba del procesamiento, separación, consolidación y deformación de materiales por átomos o moléculas (1974).

Pero fue Akyildiz y Jornet quienes en un artículo denominado *The Internet of Nano- Things* establecieron el concepto de Internet de las nano-cosas o IoNT (2010).

Ahora bien, el Internet de las nano-cosas o IoNT se define como la interconexión de dispositivos a nanoescala con los sistemas y redes de telecomunicaciones. Y puede considerarse una vertiente más del IoT que incorpora nanosensores que se comunican mediante nanoredes a través de Internet (Akyildiz & Jornet, 2010).

Tal es el caso por ejemplo de las tecnologías SDN y NDFV que pueden ser usadas de forma conjunta para el control y administración de nano redes, ampliando y perfeccionando las limitadas capacidades y recursos que poseen estas. Estas arquitecturas SND/NFV aplicadas a IoNT proporcionan comunicaciones más donde las nanomáquinas se conectan usando nano- Gateways (Galal & Hesselbach, 2018).

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Las nano-máquinas

Para entender el papel que juegan las nanoredes en la nanotecnología y su vinculación con el Internet de las cosas IoT, se debe entender el concepto de nanomáquinas.

Las nanomáquinas son dispositivos de tamaño nano con funcionalidades básicas, que permiten la realización de instrucciones simples pero que son la base para el desarrollo de nanobots, nanoprocesadores, nanomemorias y nanorelojes. También son definidas como dispositivos mecánicos que realizan funciones útiles utilizando componentes de escala nanométrica y estructura molecular definida que pueden ser usados en estructuras artificiales o dispositivos naturales como los sistemas biológicos (Nayyar & Dac-Nhuong, 2017).

Unas de sus principales características es que son limitadas por el tema energético, el procesamiento y la comunicación. Por otro lado, también encontramos las nanoredes, que permiten expandir las

capacidades de un nano dispositivo y proporcionan una mejor forma de compartir información (Galal & Hesselbach, 2018).

Ahora bien, el desarrollo de nanomáquinas tiene tres enfoques principales (Akyldiz, Brunneti & Blasquez, 2008). El primero es conocido como el enfoque de arriba hacia abajo, que está centrado en reducir la escala de las tecnologías microeléctricas y microelectromecánicas de nivel atómico. Por ejemplo, la impresión de microcontactos, o el desarrollo de nanomáquinas como sistemas nanoelectromecánicos NEMS.

El segundo es el enfoque ascendente, está centrado en desarrollar nanomáquinas que usan moléculas individuales como los interruptores moleculares, o transbordadores moleculares.

Y el tercer enfoque es el híbrido. Acá se desarrollan nanomáquinas como las biológicas que se basan en la señalización molecular. Aquí hablamos de bionanobots, nanobiosensores, componentes de almacenamiento biológico, entre otros.

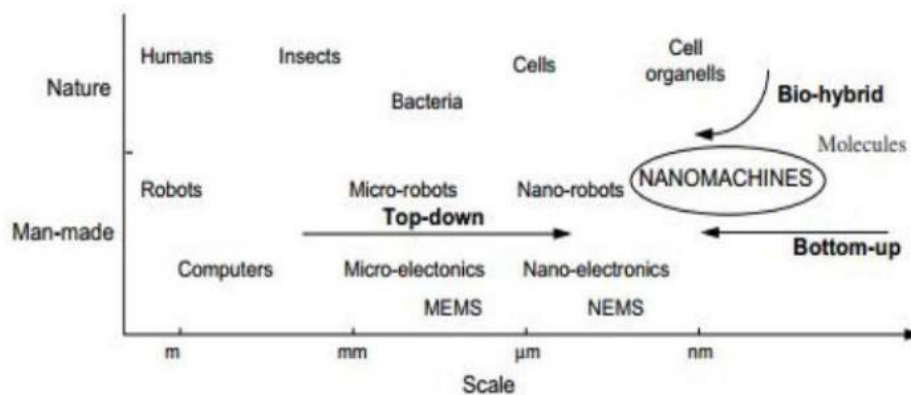


Figura 1. Enfoques en el desarrollo de las nanomáquinas (Akyldiz, Brunneti & Blasquez, 2008).

### 2.2 La nano-comunicación y nano-redes

Podemos definir también la nanocomunicación como el intercambio de información a nanoescala que hace uso de conexiones alámbricas o inalámbricas de nanomáquinas en una red nano (Akyldiz & Jornet, 2011).

Una nanored tiene múltiples aplicaciones, como las funciones de monitorización de ambientes, fabricación industrial, construcción de laboratorios, administración de fármacos, diagnóstico, regeneración de tejidos y operaciones quirúrgicas (Kulakowski, Solarczyk & Wojcik, 2017).

Para el campo de la salud una nanored permite la recopilación de información que resultará vital para el paciente y permite compartirla con los sistemas informáticos, lo que genera que la monitorización en la salud sea más segura y eficiente (Galal & Hesselbach, 2018).

La nanored posee un gran potencial de comunicación y procesamiento que permite maximizar las funcionalidades de una nanomáquina a través de la información compartida. Y es capaz de transportar información a un dispositivo externo como un teléfono inteligente o Gateway que le permite conectarse a la red. Ahora bien, cuando una nanored se conecta al internet entra al nuevo paradigma denominado Internet de las nanocosas o IoNT.

### 2.3 Limitaciones de las nanoredes

Los nanodispositivos por sí solos no pueden manejar protocolos de comunicaciones a nivel complejo, porque no poseen capacidades computacionales, de procesamiento y administración de energía amplias. Para poder sacar una mejor partida al rendimiento de una nanored es necesario que tecnologías adicionales intervengan en la nanored y de esta manera los nanodispositivos optimicen sus funcionalidades mediante las decisiones tomadas a partir de los algoritmos ejecutados por computación de alto rendimiento o HPC (Galal & Hesselbach, 2018).

Por lo tanto, para un correcto funcionamiento de una nanored es necesario implementar una arquitectura jerárquica que permita que la nano red sea controlada a gran escala. Esto permitirá ejecutar de forma externa los cálculos más difíciles y sus decisiones. Por ello a continuación se presentarán dos (2) arquitecturas de IoNT propuestas.

### 3. ARQUITECTURA DEL IONT I, EL ENFOQUE DE AKYILDIZ Y JORNET

Para lograr la conexión entre las nano máquinas en una nanored y luego a internet, se requiere el diseño de una nueva arquitectura de red, para ello Akyildiz & Jornet (2010) propusieron que sin importar la finalidad de la arquitectura de red definida, siempre debería tener los siguientes componentes:

- *Nanonodos*: son las nanomáquinas más pequeñas y simples. Realizan la computación simple y poseen una memoria limitada, transmitiendo a corta distancia dada su baja capacidad de energía y comunicación. Algunos ejemplos de esto los vemos en forma de nanosensores tipo nodo que pueden insertarse en el cuerpo humano y tienen capacidades de comunicación.
- *Nanorouters*: son nanomáquinas que poseen mayores recursos computacionales que los nano-nodos, y tienen la capacidad de controlar el comportamiento de un nanonodo a través de comandos de control. Pero este aumento de sus capacidades también genera un aumento de su tamaño.
- *Nanomicro interfaces*: son dispositivos capaces de tomar la información procedente de los nanorouters y generar una transmisión a microescala y a escala normal utilizando las técnicas de comunicación convencionales.
- *Gateway*: este es el dispositivo que permite la conexión remota de todo el sistema mediante la Internet.

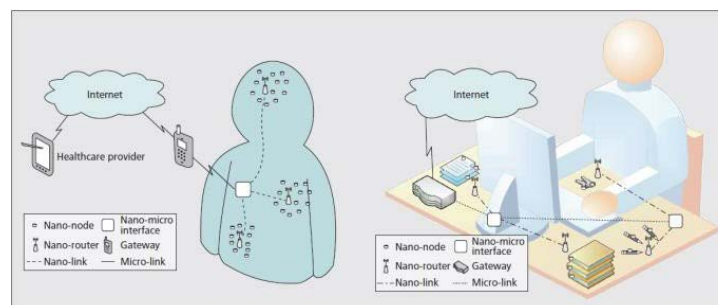


Figura 2. Arquitectura de red para IoNT aplicado al cuerpo humano y una conexión de oficina (Akyildiz & Jornet).

#### 4. ARQUITECTURA DEL IO NT II, ENFOQUE DE SICARI, RIZZARDI, PIRO, COEN-POROSINI Y GRIECO

Sicari, Rizzardi, Piro & Coen-Porosini (2019) proponen una arquitectura para IoNT que amplía la propuesta de Akyildiz y Jornet introduciendo nuevos componentes y funcionalidades de seguridad, además de plantear una naturaleza dual de la nano-red: comunicación vía ondas electromagnéticas y vía molecular. En este enfoque los nanodispositivos son elementos que realizan tareas simples como cálculos de operaciones básicas, almacenamiento de información limitada, y comunicación en cortos rangos. En la siguiente figura se detallan los componentes de un nanodispositivo.

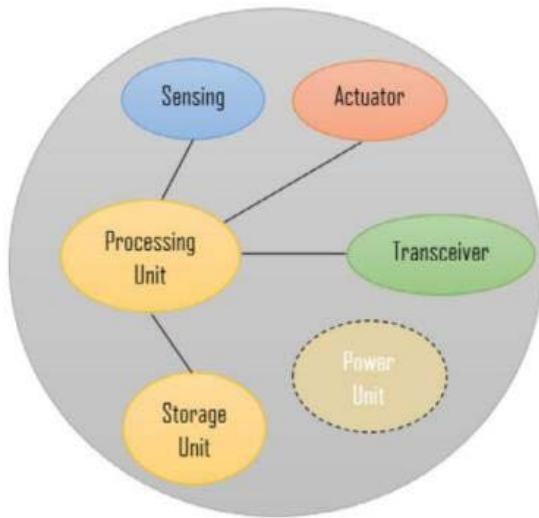


Figura 3. Componentes de un nano-dispositivo (Sicari et al. 2019)

Un nanodispositivo dentro del sistema IoNT debe ser autónomo, es decir, tener la capacidad de actuar por sí solo dentro del entorno donde se encuentre y este entorno debe tener un área de red delimitada con sus tareas claramente definidas. También la nanored tiene la capacidad de agregar diferentes nanodispositivos que sean capaces de detectar otros parámetros y realizar diversas tareas. Es importante aquí agregar que gracias a la naturaleza nanométrica de los nanodispositivos tienen la capacidad de implementarse de forma masiva en muchos contextos ya sean biológicos o ambientales.

La arquitectura IoNT propuesta se detalla en la siguiente figura, donde también es posible analizar el tipo de comunicación que se desarrolla dentro de la nano-red.

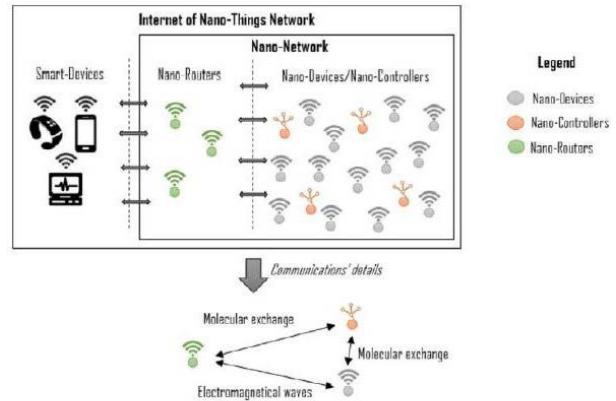


Fig. 2. La arquitectura IoNT de referencia.

Figura 4. Arquitectura de red propuesta (Sicari et al., 2019)

Esta arquitectura abarca:

- *Un dispositivo inteligente.* El cual no es un dispositivo nano y puede ser un punto de acceso, un teléfono inteligente, etc. Este dispositivo no tiene las limitaciones a nivel de recursos y por lo tanto es el encargado de recopilar la información que entrega la nanored, revisando la comunicación IoNT y tomando acciones en respuesta al monitoreo recibido.
- *Los nanorouters.* Son nanomáquinas que tienen más capacidad en términos de unidad de procesamiento, potencia y almacenamiento. Por ello son los encargados de enviar los datos recibidos de otros nanodispositivos a otros nanorouters o directamente al dispositivo inteligente. Este intercambio de información hace uso de ondas electromagnéticas.
- *Los nanocontroladores.* También son nanomáquinas que transmiten y reciben información por medio de comunicaciones moleculares y su objetivo es detectar información del entorno donde están, controlando la confiabilidad de otros nanodispositivos y tomar acciones en respuesta.



En esta arquitectura de red, los nanodispositivos transmiten la información siguiendo un esquema de salto a salto, enviando los datos adquiridos hacia los nanorouters mediante ondas electromagnéticas en la banda de los terahercios y al mismo tiempo reciben información importante vía comunicación molecular por parte de los nanocontroladores. Es por esto que esta arquitectura tiene una naturaleza híbrida.

### 5. ARQUITECTURA DEL IONT III, PROPUESTA DE AKRAM GALAL Y XAVIER HESSELBACH

Akram Galal y Xavier Hesselbach proponen un modelo de arquitectura flexible unificada de nano-redes. Que está basado en una plataforma SDN, IoT, tecnologías Fog Computing y NFV. Esta arquitectura se divide en 5 capas.

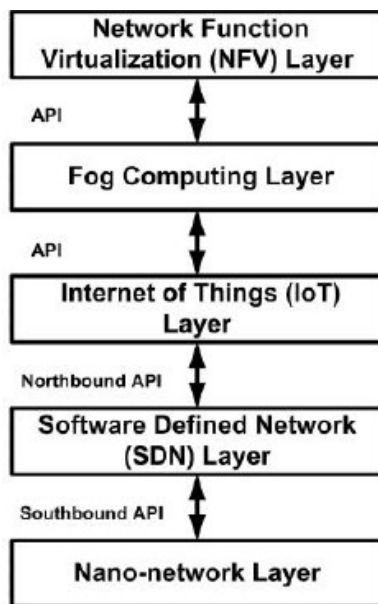


Figura 5. Diagrama esquemático. Arquitectura de red propuesta por Akram Galal y Xavier Hesselbach (2018).

#### 5.1 La capa de nanored

También es denominada capa de dispositivos finales, y contiene los nanodispositivos, nanosensores y nanoactuadores. Aquí también se incluyen los nano-Gateways que transmiten la señal desde y hacia los

dispositivos nano con el objetivo de realizar alguna acción específica. Esta es la capa física donde está el hardware que permite la conexión a la red troncal y su función principal es la entrega de datos o información de un dispositivo a otro. Esta capa no tiene ninguna inteligencia y la toma de decisiones la desarrollan las capas siguientes.

#### 5.1.1 Capa de red definida por software SDN

Esta es la capa de comunicación que contiene los dispositivos habilitados para SDN que reenvían los datos desde y hacia los nanodispositivos de acuerdo con los comandos que posee el controlador SDN. Esta capa se usa entre el borde y la red central y proporciona la capacidad de control de tráfico y la flexibilidad para la configuración, administración, aseguramiento y optimización de los recursos de la nano-red a través de las funciones de SDN.

Esta capa también permite habilitar las funcionalidades de la capa IoT donde existen ciertos requisitos de servicio que son manejados por el controlador central utilizando protocolos de señalización OpenFlow. Por último, esta capa, permite realizar una entrega inteligente de datos mediante las tablas de enrutamiento configuradas y almacenadas permitiendo tomar decisiones correctas al controlador.

#### 5.2 Capa de internet de las cosas IoT

Esta capa actúa como una capa de servicio que es utilizada por las aplicaciones IoT para poder entregar las instrucciones al controlador SDN que a su vez es el encargado de traducir a los comandos de red. También actúa como la capa de aplicación que se usa para crear aplicaciones de desarrollo IoT haciendo uso de API expuestas.

Aquí se proporcionan gestión de dispositivos de operación, actualización, registro, y monitoreo a través de tableros y mecanismos de alerta con el fin de que los dispositivos nano trabajen de forma adecuada. En esta capa la información de cada nanodispositivo se envía a la nube donde se procesa, almacena y se combina con los datos de otros dispositivos.

### 5.3 Capa de computación en la niebla

Esta capa proporciona servicios informáticos ágiles en capacidad de respuesta para la nanored. Aquí se analizan, procesan y agregan datos porque esta capa actúa sobre los datos de IoNT más importantes y sensibles en el borde de la red, cerca donde son generados, en lugar de enviar grandes cantidades de datos a la nube.

Esta capa también es la responsable de proporcionar el esquema de direccionamiento de los nanodispositivos porque incluye el servidor de servicios de nombres de objetos ONS donde son almacenadas las etiquetas de identificación de los nanodispositivos. Este servidor realiza todo el proceso de búsqueda del sistema

tomando un código de producto EPC y devolviendo la identificación del nanodispositivo con la información sobre su ubicación.

### 5.4 Capa de virtualización de funciones NFV

Esta capa es el cerebro de esta arquitectura de nanored. Se trata del controlador del sistema donde se toman las decisiones y acciones en relación a los nanodispositivos con la asistencia del administrador de infraestructura virtualizada –VIM– a través de computación de alto rendimiento. Aquí está la tecnología de virtualización de red NV que se propone como la herramienta que habilita la arquitectura de red facilitando el despliegue de nuevos servicios de Internet. NV permite que varias redes lógicas se integren en una sola red compartida SN.

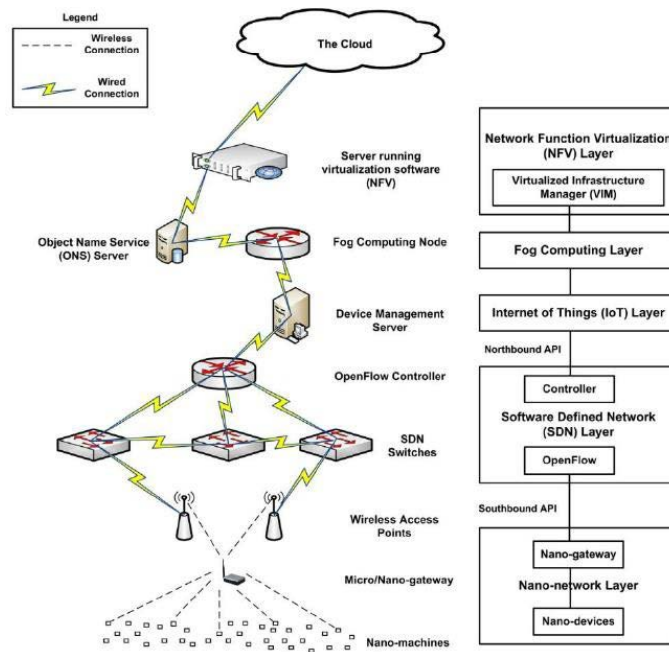


Figura 6. Diagrama esquemático del modelo de arquitectura unificada de nanoredes (Galal & Hesselbach, 2018).

## 6. DESAFÍOS Y PROYECCIONES EN IO NT

Informes de investigación para el año 2016 reportaban que el mercado IoNT estaría creciendo de 4.260 millones de dólares ese año a 9.690 millones para el 2020, con una tasa de crecimiento anual compuesta CAGR estimada en un 22.81 % (Akyldiz, Brunneti & Blasquez, 2008).

Una de las razones para este crecimiento tiene que ver con el hecho de que la infraestructura de IoNT tiene la capacidad de combinar nanodispositivos con tecnologías como IoT, redes de sensores, computación en la nube, big data, etc.

Por ello algunas de las más grandes compañías tecnológicas en el mundo ya están invirtiendo en IoNT

tal es el caso de Intel Corporation, Cisco Systems Inc, Qualcomm Incorporated, Juniper Networks e IBM Corporation en EE. UU., Schneider Electric y Alcatel-Lucent SA en Francia, y SAP SE y Siemens AG en Alemania, entre otros.

### 6.1 Proyectos de nano-redes

Existen proyectos que están trabajando en el desarrollo y uso de arquitecturas de nanored para el internet de las cosas, en esta subsección se mencionan algunos de ellos que dan muestra de las tendencias en nanoredes en la actualidad.

En España, 2016, investigadores de la Universidad de Oviedo trabajaron en un proyecto de distribución de corriente continua mediante nanoredes. Planteando un uso más eficiente y ecológico de la energía mediante cambios en el modelo de distribución de consumo energético a través de la implantación de subredes (Martin *et al.*, 2018).

En Colombia, en el 2019, investigadores de la Universidad de Medellín, trabajaron en un modelo, diseño y control de un sistema de almacenamiento de energía para una nanored de corriente continua. Este modelo permite almacenar la energía en baterías o extraerlas dependiendo de las cargas y el estado de las fuentes de nanored. Para ello se hizo uso de un convertidor bidireccional no aislado desarrollando una estrategia de control basada en pasividad con unos mecanismos adaptativos que permitió la estimación de algunos parámetros del sistema. Algunos resultados de este proyecto fueron la rápida respuesta del sistema, robustez frente a perturbaciones y la contribución a la regulación de la tensión del bus DC de la nanored (Sanchez-Choachi, 2019).

En Ecuador, 2021, en la Universidad del Chimborazo, varios investigadores realizaron un análisis y simulación de eventos discreto NS3 en la comunicación molecular basados en el estándar IEEE 1906.1 mostrando los desafíos en este tipo de comunicación, y la aplicación del estándar (Cevallos & Rivera, 2021).

En 2022, investigadores de varias universidades en Arabia Saudita, Emiratos Árabes Unidos e Irán trabajaron en conjunto en un proyecto que busca determinar la identidad de los nodos transmisores y eventos en redes de comunicaciones IoNT. Entendiendo que la energía se descarga en el medioambiente mediante diferentes eventos, los autores propusieron una energía neutral usando modulación de posición de pulso para identificar los nodos transmisores que se comunican con un solo receptor. Esto les permitió codificar la identidad de múltiples receptores logrando una precisión del 99 % para detectar 10 tipos de eventos diferentes en distancias de 30mm (Hassan *et al.*, 2022).

### 6.2 Problemas y desafíos

Ahora bien, a pesar de las grandes expectativas existentes en el mercado con IoNT y sus proyecciones en crecimiento, aún existen varios desafíos y problemas que necesitan ser resueltos, por ejemplo, en materia de seguridad, servicios y privacidad.

En cuanto a seguridad, dado que los datos se comunican mediante dispositivos conectados a la red, se requiere fortalecer la seguridad de los mismos. Y aunque se han propuesto soluciones y arquitecturas basadas en seguridad, hay que trabajar en fortalecer las tecnologías de hardware y mecanismos de cifrado/descifrado en el contexto de IoNT ya que no están aún lo suficientemente desarrollados para vincularse con protocolos complejos. También se debe trabajar más con la investigación de cómo simular diferentes tipos de ataques e intentos de violación en sistemas IoNT (Sicari *et al.*, 2019).

En cuanto a servicios es necesario proponer nuevas arquitecturas orientadas a los servicios para la creación de nanosensores que puedan recopilar y almacenar grandes cantidades de datos (Akyldiz, Brunneti & Blasquez, 2008).



## 7. CONCLUSIONES

Cada arquitectura para Internet de las nanocosas, permite flexibilidad en la construcción de redes de conexión, con el fin que de acuerdo a la necesidad, se logre implementar la funcionalidad en el entorno adecuado.

La principal aplicación de IoNT son los servicios de diagnóstico y monitoreo, ofreciendo una gran variedad de posibilidades para poder analizar el comportamiento de objetos y seres vivos, obteniendo diferentes tipos de datos; lo que plantea nuevos desafíos en cuanto a la seguridad y privacidad en la arquitectura de nanoredes ya que las características específicas de las nanocosas no permiten aplicar las herramientas de seguridad de las comunicaciones tradicionales.

La obtención y gestión de datos en gran volumen han permitido avanzar en los procesos de toma de decisiones de las distintas organizaciones sin importar su objetivo de negocio, pero con el crecimiento de la industria se requiere que esos procesos de manipulación y transferencia de datos puedan realizarse en arquitecturas de menor escala y dimensionamiento, allí radica la importancia de avanzar en los procesos de estandarización de servicios y protocolos de las comunicaciones y arquitecturas de nanoredes.

## REFERENCIAS

- Akyildiz I. & Jornet, J. (2010). The internet of Nano Things. *IEEE*, pp. 58-65.
- Akyildiz I. & Jornet, J. (2011). A new frontier in communications. *Nanonetworks*, 11, 84-89.
- Akyildiz, I., Brunneti, F. & Blasquez, C. (2008). Nanonetworks; A New communication paradigm. *Computer Networks*, 52(12), 2260-2279.
- Cevallos Y. & Rivera, A. (2021). *Simulación de nano sistemas de comunicaciones en NS3 en función a los componentes comunicacionales establecidos por el estándar IEEE 1906.1*. (Tesis de grado). Universidad Nacional del Chimborazo, Riobamba.
- Feynman, R. (1961). There's plenty of room at the Bottom. *Engineering and Science*, 23(5), 22-36.
- Galal A. & Hesselbach. X. (2018). Nano-networks communication architecture: Modeling and functions. *Nano Communication Networks*, 17, 45-62. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878778918300164>
- Hassan, N., Ullah, I., Usman, M., Mohsin, M. & Awan, H. (2022). ERPPM IoNT: Event Recognition using Pulse Position Modulation in Internet of Nano Things. *Nano Communication Networks*, 31, 100393. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1878778922000011>
- Jornet J. & Akyildiz, I. (2012). The Internet of Multimedia Nano-Things. *Nano Communication Networks*, 3, 242- 251.
- Kulakowski, P., Solarczyk, K. & Wojcik, K. (2015). Routing in FRET-based Nanonetworks. *IEEE Communications Magazine*, 55(9), 218-224.
- Martin, K., Rogina, M., Vázquez, A., Lamar, D., Francés, A., Asensi, R., Sebastián, J. & Uceda, J. (2018). Distribución con nanoredes de corriente continua en el hogar. *Universidad de Oviedo* [https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/42645/1/SAAEI\\_Nanoredes\\_Definitivo.pdf](https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/42645/1/SAAEI_Nanoredes_Definitivo.pdf)
- Morelos, P., Mendoza, M., Valdivia, A., Marrero, D., Paniagua, L., Rodríguez, J., Parra, M. & Salcedo, V. (2011). La nanotecnología en apoyo a la investigación del cáncer. *Revista Médica Instituto Mexicano del Seguro Social*, 49, 621-630.
- Nayyar A. & Dac-Nhuong, L. (2017). Internet of Nano Things (IoNT): Next Evolutionary Step in Nanotechnology. *Nanoscience and Nanotechnology*, 1, 4-8.
- Reyes, H., Nájera, H. & Rojo, A. (2009). La nanotecnología y sus riesgos: el nacimiento de la Nanotoxicología. *Razon y Palabra*. <http://www.razonypalabra.org.mx/N/n68/10hreyes.html>
- Sanchez-Choachi, J. (2019). Control basado en pasividad con estrategia adaptativa de un sistema de almacenamiento energético para una nano-red DC. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 18(35), 185-203.
- Sicari, S., Rizzardi, A., Piro, G., Coen- Porisini, A. & Griego, L. (2019). Beyond the smart things: Towards the definition and the performance assessment of a secure architecture for the Internet of Nano- Things. *Computer Networks*, 162. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2019.07.012>
- Taginuchi, N. (1974). On the basic concept of nano-technology. *Proceeding of the International Conference on Production Engineering*. Tokyo, 18-23.