# AGRADECIMIENTOS

En mi primer lugar, me gustaría agradecer a mis tutores de proyecto Jorge Portilla y Gabriel Mujica. Agradecer su colaboración y su experiencia en redes de sensores inalámbricas.

Dar las gracias también a mi familia por su constante apoyo y ánimo en épocas difíciles.

# RESUMEN

El mundo tiende a compartir cada vez más información, a estar cada vez más interconectado. Cada vez existe un mayor número de dispositivos conectados entre ellos y con Internet de múltiples maneras. De todo esto surge lo que se conoce, en inglés, como **Internet of Things** o **IoT**, o en español, Internet de las cosas.

Este concepto consiste en redes de sensores capaces de monitorizar su entorno, reaccionando ante posibles cambios.

# INDICE

[AGRADECIMIENTOS 3](#_Toc39049259)

[RESUMEN 4](#_Toc39049260)

[INDICE 5](#_Toc39049261)

[ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS 6](#_Toc39049262)

[ILUSTRACIONES 7](#_Toc39049263)

[ECUACIONES 8](#_Toc39049264)

[TABLAS 9](#_Toc39049265)

[CÓDIGOS 10](#_Toc39049266)

[1. INTRODUCCIÓN 11](#_Toc39049267)

[2. ESTADO DEL ARTE 12](#_Toc39049268)

[2.1. Internet of Things (IoT) 12](#_Toc39049269)

[2.2. Low Power – Wide Area Networks (LPWAN) 12](#_Toc39049270)

[2.3. Narrow-Band IoT (NB-IoT) 14](#_Toc39049271)

[2.3.1. Introducción 14](#_Toc39049272)

[2.3.2. Características NB-IoT 14](#_Toc39049273)

[2.3.3. Arquitectura NB-IoT [5], [9] 16](#_Toc39049274)

[3. OBJETIVOS 17](#_Toc39049275)

[4. MÉTODOS Y EQUIPO 18](#_Toc39049276)

[5. EXPERIMENTOS 19](#_Toc39049277)

[6. RESULTADOS Y ANÁLISIS 20](#_Toc39049278)

[7. CONCLUSIONES 21](#_Toc39049279)

[8. LINEAS FUTURAS 22](#_Toc39049280)

[9. PLANIFICACIÓN TEMPORAL Y PRESUPUESTO 23](#_Toc39049281)

[10. BIBLIOGRAFÍA 24](#_Toc39049282)

# ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

|  |  |
| --- | --- |
| IoT | Internet of Things |
| LTE | Long Term Evolution |
| eNB | eNodeB |
| EPC | Evolved Packet Core |
| NAS | Non Access Stratum |
| LPWAN | Low Power – Wide Area Networks |
| CNAF | Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias |
| LTE-M | LTE Cat-M1 |
| 3GPP | 3er Generation Partnership Project |
| GSM | Global System for Mobile |
| GPRS | General Packet Radio Service |
| HD-FDD | Half Duplex – Frecuency Division Duplexing |
| eDRX | Extended Discontinuous Reception |
| UE | Unión Europea |
| PSM | Power Saving Modes |
| QPSK | Quadrature Phase Shift Keying |
| RRC | Radio Resource Control |
| MCL | Maximun Coupling Lost |
| DONAS | Data Over Non-Access Stratum |
| NAS | Non-Access Stratum |

# ILUSTRACIONES

[Ilustración 1 Principales tecnologías de redes LPWAN. (fuente: http://micm.es/noticias/iot-el-internet-de-las-cosas/) 13](#_Toc39072690)

[Ilustración 2 Modos De Operación NB-IoT (1) [6] 15](#_Toc39072691)

[Ilustración 3 Modos de Operación NB-IoT (2) [7] 15](#_Toc39072692)

[Ilustración 4 Arquitectura básica NB-IoT [5] 16](#_Toc39072693)

# ECUACIONES

# TABLAS

# CÓDIGOS

# INTRODUCCIÓN

# ESTADO DEL ARTE

En los últimos años, se han ido desarrollando cada vez más las tecnologías para Internet of Things, IoT. Entre estas tecnologías están las tecnologías de comunicaciones inalámbricas tanto a redes de áreas pequeñas como de áreas extensas. Estas últimas, conocidas como WAN (wide área network), son usadas como base para la gran mayoría de arquitecturas en proyectos IoT.

En este estudio nos centraremos en las características de una de ellas: Narrowband IoT (NB-IoT). Para esto conviene conocer mínimamente las tecnologías IoT, y en concreto, el modelo de la tipología red WAN sobre la que mejor se aplica IoT en casos de conexiones inalámbricas: LPWAN.

## Internet of Things (IoT)

En el IoT, un gran número de tecnologías inalámbricas, como el WiFi, el Bluetooth, LoRa, NB-IoT, 2G/3G/4G, etc., han sido usadas en diversas aplicaciones, conectando entre si a millones de dispositivos de manera inalámbrica. 3G y 4G son muy usados en IoT, pero no están totalmente optimizados para aplicaciones de este tipo. A pesar de esto, el 4G ha mejorado bastante algunas de las capacidades de las redes móviles, dando a los dispositivos IoT acceso a Internet. Dentro de la conectividad 4G hay varios tipos de tecnologías como BLE, WiMaxb, LTE, Zigbee, LoRa, NB-IoT, etc. [1]

## Low Power – Wide Area Networks (LPWAN)

Las redes LPWA, low power – wide Area, cómo indica su nombre, son redes de bajo consumo, pero con larga distancia. A su vez tienen un bajo ancho de banda, ya que, si hay menos datos, se consigue una mayor distancia.

Estas redes están creciendo rápidamente tanto en el desarrollo de tecnologías con espectro licenciado como con espectro no licenciado, debido a que se ajustan a la perfección a los requerimientos de las aplicaciones actuales de IoT. Esto se debe a que son redes que permiten diseños de red con un alto número de nodos, costes de componentes muy reducidos y una amplia comunidad de desarrolladores.

Varias de las tecnologías que más se han aventajado y siguen aventajándose son: NB-IoT, LoRa, LTE-M y Sigfox, las cuales aportan una gran cobertura a un bajo consumo de energía en la red implementada.

Gran cantidad de servicios de comunicación confluyen en el espectro radioeléctrico de frecuencias electromagnéticas. Para evitar interferencias, dando así seguridad y ordenando la utilización de este espectro, unas determinadas entidades regulan todas las emisiones, acordando y fijando los rangos de frecuencia y los diferentes servicios a los que se asignarán cada banda de frecuencia. En España dicha entidad es el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (CNAF), el cual depende del Ministerio de Economía y Empresa.

Toda empresa que desee una banda para uso exclusivo y explotarla comercialmente, deberá solicitarla y se someterán todas las empresas a concurso público de subasta. Este concurso estará regulado por la Comisión del Mercado de las Telecomunicaciones. Este concurso, a su vez, supondrá un pago al Estado por la concesión temporal de dicha banda.

El espectro dedicado a las concesiones a las operadoras telefónicas, es el **espectro licenciado**. Este espectro tiene como ventajas que se puede usar más eficientemente, ya que la operadora en cuestión tiene mayor flexibilidad en la gestión de la calidad de su servicio. Al estar supervisado, se evitan en gran medida las interferencias. En este espectro, existe un estándar para las tecnologías inalámbricas en redes LPWAN definido en 3GPP, este se conoce como **NB-IoT**, acrónimo de **Narrow-Band IoT**, este estándar se desarrollará más tarde.

A parte de la propia entidad reguladora de cada país, existe una entidad, la Unión Internacional de Telecomunicaciones, la cual se encarga de unificar los criterios de uso y nomenclatura del espectro de frecuencias radioeléctricas.

Este espectro está muy supervisado y reglamentado para poder regularizar los intereses con las necesidades de la sociedad digital. Aunque es necesaria, esta reglamentación impediría la competición contra grandes operadoras en cuanto a iniciativas tecnológicas si no llega a ser por la existencia de un espectro de bandas de frecuencia de uso público o acceso libre, donde se han empezado a desarrollar muchas nuevas tecnologías.

Las principales tecnologías de redes LPWAN se muestran en la siguiente imagen:

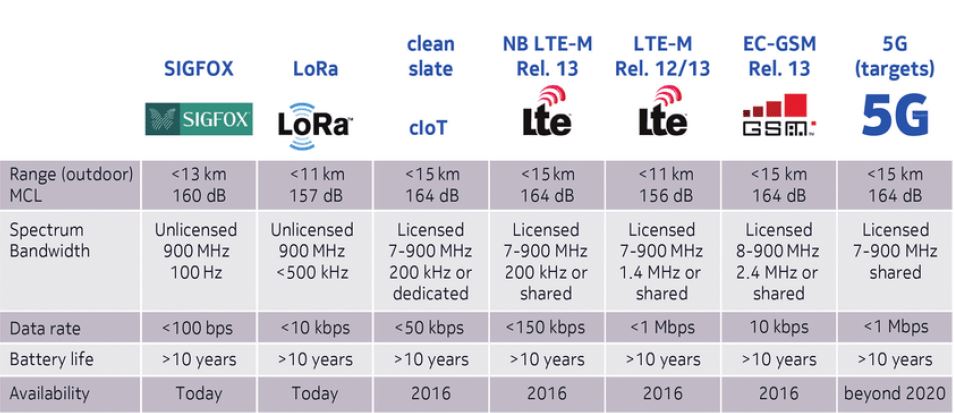


Ilustración 1 Principales tecnologías de redes LPWAN. (fuente: <http://micm.es/noticias/iot-el-internet-de-las-cosas/>)

Este espectro de uso público no requiere identificar ante un regulador los accesos y los usos. Es el denominado **espectro no licenciado** y comprende diferentes bandas de frecuencias, siendo este rango entre los 862 MHz y los 870 MHz el asignado en Europa [2], [3]. Aunque sea un espectro libre y no requiere regulación ni intermediación de ningún organismo, se fijan unas reglas de explotación y normas de transmisión básicas que permitan un reparto equitativo de bandas. Las radiofrecuencias de este espectro son muy vulnerables a interferencias por naturaleza. Debido a la diversidad y descoordinación dificulta la gestión de las interferencias, ya que la supervisión de esta parte del espectro es escasa.

A pesar de esto, al ser una tecnología de bajo coste, bajo consumo de energía y permite largas distancias en la transmisión de datos

## Narrow-Band IoT (NB-IoT)

### Introducción

Narrow-band IoT (NB-IoT) es una tecnología de redes LPWA introducida en la especificación 3GPP Release 13, como una evolución del LTE Cat-M1. Se espera que NB-IoT facilite despliegues masivos de dispositivos IoT permitiendo a operadores existentes introducir NB-IoT en una porción del espectro de sus redes.

NB-IoT, o LTE Cat-NB1, está diseñado para una coexistencia de tecnologías de GSM, GPRS y LTE, operando con ancho de banda de 180 kHz tanto para bajada como para subida de datos. Debido a esto, un operador de GSM puede cambiar su señal carrier o portadora GSM por una señal portadora GSM de 200 kHz con una aplicación de NB-IoT. Con LTE se puede realizar lo mismo, dando un bloque de recursos de 180 kHz a Cat-NB1.

Para cuando NB-IoT está desplegado dentro de una señal portadora de LTE y el rendimiento de ambas no se vea comprometida, se ha optimizado bastante la interfaz aérea del NB-IoT o LTE Cat-NB1, asegurando así una buena coexistencia entre NB-IoT y LTE. [4]

### Características NB-IoT

La principales características de NB-IoT son las siguientes [5]:

* Admite **conexiones masivas**, superando incluso las 52K conexiones por canal. Esto se debe a que las transferencias son a **baja frecuencia** e **insensibles a la latencia**, pudiendo así conectarse muchos dispositivos a una célula. NB-IoT permite, también, dos esquemas de transmisión, multi-tone y single-tone.
* NB-IoT usa un **ancho de banda** de **180 kHz** y se opera con **HD-FDD (Half Duplex).** Esto causa que no se pueda transmitir y recibir a la vez.
* El principal **objetivo de diseño** es **prolongar** la **vida de la batería**. Esto se consigue usando eDRX (recepción discontinua extendida) y diferentes modos de ahorro de batería (PSM). Para eDRX, la UE controla el paginado de canales periódicamente mientras que en PSM, se mantiene el estado recibido del dispositivo.
* **Extiende el rango de cobertura en 20dB** en comparación del GPRS (especialmente en interiores), por lo que reduce la influencia del ruido de interferencia.
* **Se ofrece flexibilidad en el modo de operación.** Coexisten LTE y 2G. Los modos de operación se explicarán más tarde.
* **No se admiten esquemas de modulación superiores a QPSK.** Se mantiene así una baja complejidad en el dispositivo a la vez que el bajo coste.
* **Se soportan aplicaciones de baja tasa de transmisión de datos**, las cuales no tienen un requerimiento de una memoria Flash de alta capacidad, reduciendo así el área del chip y por lo tanto su coste.
* **Se opera en Banda Licenciada,** dando así cierto nivel de seguridad en las transmisiones.
* **Se consigue optimizar la señalización.** No solo se usa RRC (del inglés Radio Resource Control), sino que también se usa Data Over Non Access Stratum (DONAS).   
  DONAS habilita al usuario el transmitir datos sin activar un plano de usuario y soporta transmisión de datos. RRC optimiza el procedimiento del plano de usuario que introduce una forma eficiente de desactivar y activar el plano de usuario.

A la hora de desplegar NB-IoT, hay tres diferentes modos de operación:

1. **Stand-Alone:** Se reutilizan las bandas de frecuencias de señales portadoras GSM
2. **In-band:** Usando bloques de recursos dentro de la señal portadora de LTE.
3. **Guard band**: Se usarían bloques de recursos sin utilizar en las bandas de trasporte de LTE. Esta banda sin usar es la banda de los 180 kHz.

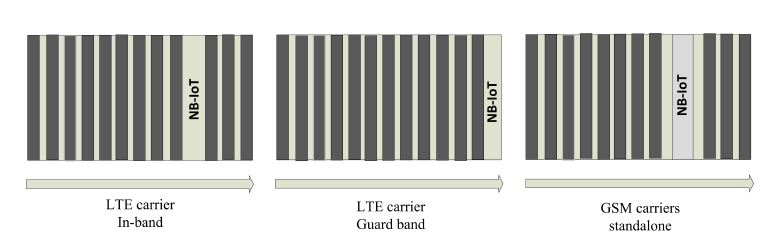


Ilustración Modos De Operación NB-IoT (1) [6]

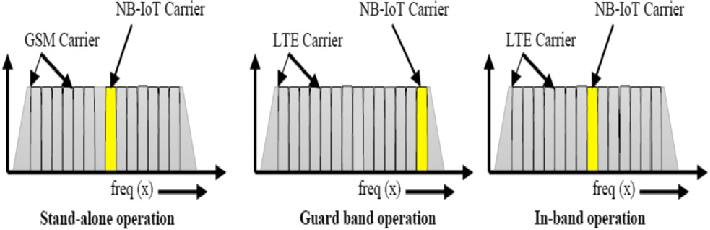


Ilustración Modos de Operación NB-IoT (2) [7]

En todos los modos de operación a la hora del despliegue, se implementa NB-IoT con los siguientes objetivos de diseño de sistema [8]:

1. **Mejorar la cobertura dentro de edificios.** Se busca mejorar la cobertura en 20 dB comparado con los dispositivos GPRS. Esto se debe al objetivo de perdidas máximas de acoplamiento (MCL, maximun coupling lost) de 164 dB, pudiendo llegar así a un rango de envío y recibo de datos de 160 bps.
2. **Soportar una cantidad masiva de dispositivos de bajo rendimiento.** El objetivo es llegar a soportar 52547 dispositivos por sector.
3. **Reducir complejidad de los dispositivos.** Reduciendo así la complejidad de las aplicaciones IoT.
4. **Mejorar eficiencia energética.** Se busca una esperanza de vida de 10 años para una batería con capacidad de 5Wh a los 164 dB MCL.
5. **Reducir latencias.** Para el 99% de los dispositivos se miden latencias de 10 segundos o menos.

### Arquitectura NB-IoT [5], [9]

La arquitectura básica de NB-IoT es similar a la de la red de LTE, también conocida como EPC (Evolved Packet Core), pero con la diferencia de estar optimizada para un masivo despliegue de dispositivos, consiguiendo la optimización de los planos de usuario y de control al permitir las transmisiones cortas de datos de las propias aplicaciones M-IoT. Dicha arquitectura básica es la representada en la siguiente imagen:

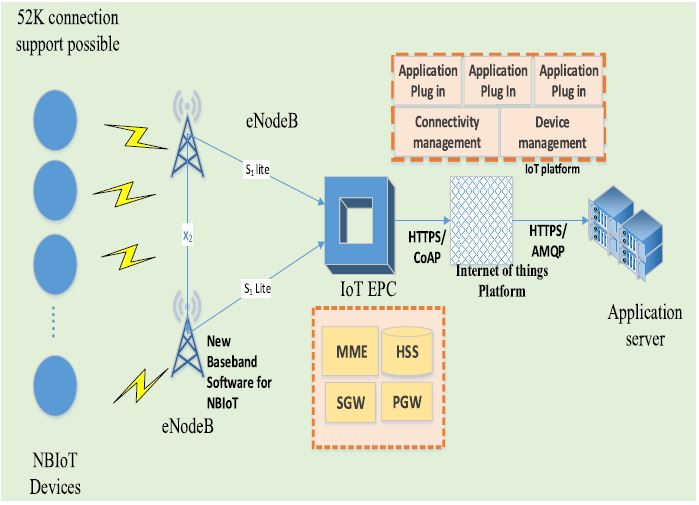


Ilustración 4 Arquitectura básica NB-IoT [5]

El dispositivo NB-IoT se comunica con el eNodeB (eNB), y este a su vez se conecta con el EPC IoT. Esto implica a diferentes partes:

* Serving GateWay (GW).
* Packet Data Network GW.
* Entidad de Plano de gestión de movilidad.
* Home Subscriber server.

Esta comunicación sería de la siguiente manera:

* El dispositivo enlaza con el eNB, usando la capa o nivel de acceso que gestiona los recursos de radio gracias al protocolo RRC, el cuál configura los planos de usuario y control a lo largo de todo el proceso. Se parte de dos posibles estados:
  + IDLE: El dispositivo está disponible y accesible desde la red, pero sin emitir).
  + CONNECTED: El dispositivo esta localizable a nivel de celda y posibilidad de transmisión y recepción de datos (TX/RX).
* Posteriormente, el eNodeB correspondiente pasa, mediante el uso del nivel NAS (Non-Access Stratum), al EPC usando la interfaz s1-lite, versión optimizada del S1-Control-Plane (gestión de plano de control) y capaz de soportar un manejo eficiente de datos. NAS, principalmente, es un protocolo que transmite las señales que no sean de radio entre los dispositivos de usuario y el MME, el cual lleva los datos para la sesión y el manejo de movilidad.
* Finalmente, el EPC pasa la capa (stratum) a una plataforma IoT, accediendo a un plano de usuario, para hacer llegar los datos a los servidores de aplicación para posteriormente ser procesados por dichos servidores. Entre el dispositivo NB-IoT y el servidor de aplicación, hay dos maneras de transmitir los datos, con o sin IP. El modo sin IP es más adecuado para estas aplicaciones debido a que son transmisiones más seguras y se reducen la cabecera en el equipo de usuario. Además, el uso de NAS mejora la transmisión o transferencia de datos a los nuevos elementos de la red para este tipo de dispositivos.

# OBJETIVOS

# MÉTODOS Y EQUIPO

# EXPERIMENTOS

# RESULTADOS Y ANÁLISIS

# CONCLUSIONES

# LINEAS FUTURAS

# PLANIFICACIÓN TEMPORAL Y PRESUPUESTO

# BIBLIOGRAFÍA

[1] S. Li, L. Da Xu, and S. Zhao, “5G Internet of Things: A survey,” *J. Ind. Inf. Integr.*, vol. 10, no. February, pp. 1–9, 2018.

[2] D. Ron, “Radio spectrum A key resource for the Digital Single Market,” no. March, 2015.

[3] Electronic communication Committee, “The European table of frequency allocations and application in the frequency range 9 kHz to 3000 GHz,” *Erc Rep. 25*, no. June, p. 275, 2011.

[4] G. A. Akpakwu, B. J. Silva, G. P. Hancke, and A. M. Abu-Mahfouz, “A Survey on 5G Networks for the Internet of Things: Communication Technologies and Challenges,” *IEEE Access*, vol. 6, pp. 3619–3647, 2017.

[5] S. Popli, R. K. Jha, and S. Jain, “A Survey on Energy Efficient Narrowband Internet of Things (NBIoT): Architecture, Application and Challenges,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 16739–16776, 2019.

[6] C. B. Mwakwata, H. Malik, M. M. Alam, Y. Le Moullec, S. Parand, and S. Mumtaz, “Narrowband internet of things (NB-IoT): From physical (PHY) and media access control (MAC) layers perspectives,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 19, no. 11, pp. 1–34, 2019.

[7] R. S. Sinha, Y. Wei, and S. H. Hwang, “A survey on LPWA technology: LoRa and NB-IoT,” *ICT Express*. 2017.

[8] R. Ratasuk, B. Vejlgaard, N. Mangalvedhe, and A. Ghosh, “NB-IoT system for M2M communication,” *2016 IEEE Wirel. Commun. Netw. Conf. Work. WCNCW 2016*, no. Wd5g, pp. 428–432, 2016.

[9] J. S. Miranda, “Estudio en detalle de NB-IoT. Comparación con otras tecnologías LPWAN considerando diferentes patrones de tráfico.,” 2019.