



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE  
GUAYAQUIL**

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE: INGENIERO DE SISTEMAS**

**CARRERA: INGENIERÍA DE SISTEMAS**

**TEMA:**

**“ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA PARA LA  
IMPLEMENTACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE REDES AMPLIAS DE  
BAJA POTENCIA BASADO EN LOT PARA EL CONTROL DE LA  
CON-TAMINACIÓN Y GESTIÓN DE ESPACIOS VERDES EN LA  
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA”**

**AUTOR:**

**CRISTHIAN DAVID HUACÓN TAPIA**

**TUTOR:**

**Msg. MIGUEL QUIROZ MARTINEZ**

**GUAYAQUIL- ECUADOR**

**Abril 2021**

## DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Cristhian David Huacón Tapia**, declaro que los conceptos y análisis desarrollados y las conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad del/los autor/es.



**Firma del autor**

**Nombre:** Cristhian David Huacón Tapia

**C.I.:** 0938496450



**Firma:**

**(Tutor):** Miguel A. Quiroz Martínez

**C.I.:** 0922799655

# ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE REDES AMPLIAS DE BAJA POTENCIA BASADO EN LOT PARA EL CONTROL DE LA CON-TAMINACIÓN Y GESTIÓN DE ESPACIOS VERDES EN LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Miguel Angel Quiroz Martinez <sup>1</sup>, Cristhian David Huacón Tapia<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Computer Science Department, Universidad Politécnica Salesiana,  
Guayaquil, Ecuador

<sup>1</sup>{mquiroz}@ups.edu.ec <sup>2</sup>{chuacon}@est.ups.edu.ec

**Resumen.** El aire tiene una función que desempeña un rol fundamental en todos los seres vivos para mantener su vida de manera óptima. Por tal motivo, es indispensable controlar la calidad del aire que respiramos siendo este un principal factor para crear un ambiente saludable y cómodo. Si no se controla la calidad del aire, habrá problemas con la salud y daños irreversibles en el área afectada.

En la actualidad, el seguimiento que se le realiza a la contaminación ambiental se utiliza en pocos espacios necesarios debido a los altos costos, junto con equipos de medición de alta precisión. Por lo tanto, para expandir el rango que mide de la contaminación del aire, los datos se introducen en modelos de dispersión, que proporcionaran resultados aproximados. Para superar este problema, se requiere una red de sensores mucho más densa, que pueda monitorear directamente los valores de contaminación del aire que sean de bajo costo y de vida útil duradera.

Con las tecnologías emergentes en el área de Wireless Sensor Network (WSN), se puede lograr un análisis exhaustivo de la contaminación del aire. Con lo cual recurrimos a las redes de LoRa y Sigfox, que nos permiten la detección inteligente en áreas más extensas para verificar el índice de mayor concentración de contaminación.

**Palabras claves:** IoT, Lora, Lpwan, Sigfox, WSN.

## 1. Introducción

En los últimos años han surgido varias tecnologías LPWAN como Sigfox, NB-IoT o LORA. A diferencia de las tecnologías WSN clásicas (como ZigBee, WLAN o Bluetooth), LPWAN presenta un amplio rango de comunicación y un bajo consumo de energía, lo que viene acompañado de bajas velocidades de datos, por lo tanto, no se pueden usar para transmisión de datos de video o audio, siendo más eficiente en aplicaciones que no transmitan gran cantidad de datos. El bajo consumo de energía permite el funcionamiento del dispositivo alimentado por batería durante varios años; además, se puede reducir el número de estaciones base y el costo de WSN [1].

El objetivo del presente trabajo es estudiar la factibilidad de implementar una solución IoT en la Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil, desarrollando un estudio entre las tecnologías LP-WAN con la finalidad de escoger el más óptimo para trabajar con sensores inteligentes de

contaminación ambiental para monitorear la calidad del aire por lo cual se realizara una comparación entre tecnologías, determinando cuál es más factible tomando en cuenta los principales parámetros como el alcance, capacidad de almacenamiento, durabilidad, topología, frecuencia, compatibilidad y estabilidad que serán necesarios para un mayor control de la contaminación.

En el Ecuador, el análisis y el monitoreo del medio ambiente es prácticamente inexistente en el caso de la mayoría de los contaminantes. Como resultado de ello, no hay una base adecuada sobre como tomar decisiones informadas acerca del manejo de la contaminación ambiental. El monóxido de carbono es un gas nocivo para los seres humanos y también la principal causa de contaminación del aire, por lo tanto, es necesario desarrollar un mecanismo para la detección de moléculas de monóxido de carbono. El mayor problema que presenta Guayaquil es la ausencia de las redes de seguimiento permanente, lo que hace difícil e inseguro que se establezcan las tendencias de deterioro de la calidad del aire [2].

## **2. Materiales y métodos**

El presente estudio cuenta con un enfoque cualitativo, y su principal técnica de investigación fue la revisión bibliográfica de artículos relacionados al tema propuesto, los cuales aportaron varias teorías de fundamentos como guías base para el desarrollo de esta investigación.

### **2.1 Revisión Bibliográfica**

Las tecnologías LPWAN como Sigfox, LoRa y NB-IoT son las que más compiten por IoT en gran escala, es por eso que las tecnologías LPWAN son muy populares en cuanto la comunicación por radio de largo alcance y baja velocidad.

### **2.2 Diferencias técnicas**

Hoy en día, las tecnologías LPWAN son las más adecuadas para aplicaciones IoT sobre todo en sensores de redes inalámbricas. Esto se debe a que presenta una cualidad de comunicación de bajo costo, poco consumo y un largo alcance.

Su comunicación se utiliza para mejorar la transmisión y recepción de datos a grandes distancias siendo más eficaz desde el aspecto energético, extendiendo su duración de vida mayor a 10 años gracias a su bajo consumo de energía [3]. Por lo cual, para implementar la tecnología LPWAN más factible se debe considerar una comparativa con los parámetros IoT.

## **I. Calidad de servicio**

Sigfox provee un acceso “al azar” siendo una cualidad fundamental para tener una calidad alta de servicio, además no cuenta con una sincronización entre la transmisión de la red y el dispositivo. El dispositivo transmite el mensaje en una frecuencia “al azar”, posterior a ello emite dos replicas aleatorias en tiempo y frecuencia diferentes, lo que se denomina “diversidad de tiempo y frecuencia”. [4] La modulación ultra-narrow band (UNB) tiene la ventaja de ser eficiente en el espectro y resistente a interferencias ya que toda la energía se concentra en una muy pequeña banda ancha. La diversidad espacial (DE) es debido a las celdas de red superpuestas junto con la diversidad de tiempo (T) y frecuencia (F) que se introducen por el acceso aleatorio de las repeticiones, dando como resultado los principales factores detrás de la alta calidad de servicio de la red Sigfox [4].

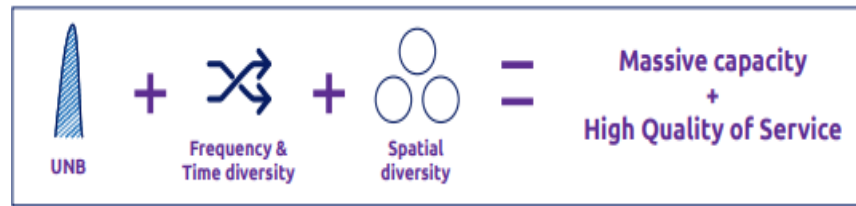


Fig. 1 Calidad de Servicio Sigfox

Lora realiza la transmisión de un solo paquete en unos pocos milisegundos hasta unos pocos segundos, dependiendo de la configuración del modo de comunicación. Esta hace que la tecnología LORA sea la más adecuada para tolerar pérdidas y retrasos en las aplicaciones, siendo una tecnología potencialmente utilizada para el monitoreo y control [5].

NB-IoT tiene tiempos de respuesta más rápidos con una cobertura 4G, siendo su uso en interiores y en áreas urbanas más beneficioso [6]. Están diseñadas para la comunicación de máquina a máquina, que generalmente requiere velocidades de datos bajas [7]. NB-IoT emplea un espectro con licencia que supera los 500 millones de euros por MHz y un protocolo síncrono en LTE [8].

## II. Duración de batería

SIGFOX y LORA permiten alcanzar 15 y 20 años de duración transmitiendo baja tasa de datos. NB-IoT puede durar 10 años batería cuando transmite 200 bytes por día en promedio [8].

## III. Escalabilidad

NB-IoT permite la conexión de 100 mil dispositivos finales por celda mientras que SIGFOX y LORA hasta 50 mil por celda [9].

## IV. Longitud de carga útil

NB-IoT transmite 1600 bytes de datos, LORA 243 bytes de datos y SIGFOX 12 bytes de datos.[10]

## V. Cobertura y Alcance

SIGFOX con una estación base puede cubrir una ciudad con un alcance de 10 km (urbano), 40 km (rural), LORA tiene un alcance menor de 5 km (urbano), 20 km (rural) para cubrir una ciudad requiere de tres estaciones base, NB- IoT tiene un alcance y cobertura más bajas se limita a las estaciones bases LTE en 1 km (urbano), 10 km (rural).

## VI. Costo

SIGFOX Y LORA son los más rentables por contar con un espectro libre y dispositivos más económicos en comparación con NB-IoT. Para calcular el costo, se debe tener en consideración: el costo del espectro (licencia), el costo de la red / implementación y el costo del dispositivo [9].

	Costo del espectro	Costo de implementación	Costo del dispositivo final
<b>SIGFOX</b>	Gratis	\$ 4000 por cada estación base	< \$ 2
<b>LORA</b>	Gratis	\$ 100 por cada gateway \$ 1000 por cada estación base	\$ 3-5
<b>NB-IOT</b>	\$ 500 M / MHz	\$ 15 000 por estación base	> \$ 20

Tabla 1. Costo de Tecnologías Lpwan

### 3. Resultados

#### 3.1 Modelo Conceptual de IoT

Se realizó un modelo en el cual se detalla los principales actores que intervienen en el uso de IoT en la Universidad Politécnica Salesiana; el IoT se encargará de analizar mediante la comunicación entre sensores los datos ambientales de contaminación. El proveedor de servicio brinda los servicios de distribución y localización del producto. El administrador se encarga de controlar el almacenamiento, distribución y transporte de datos entregados por el sensor IoT. La entidad de control universitario trabaja en beneficio de los estudiantes en términos de cumplimiento del proyecto, estableciendo los requisitos necesarios para un control de la contaminación. La asociación de profesores en línea con el cumplimiento de las obligaciones ambientales que buscará fortalecer aquellos proyectos con beneficio para los estudiantes. El estudiante se relacionará con el servicio IoT obteniendo una calidad del aire óptima.

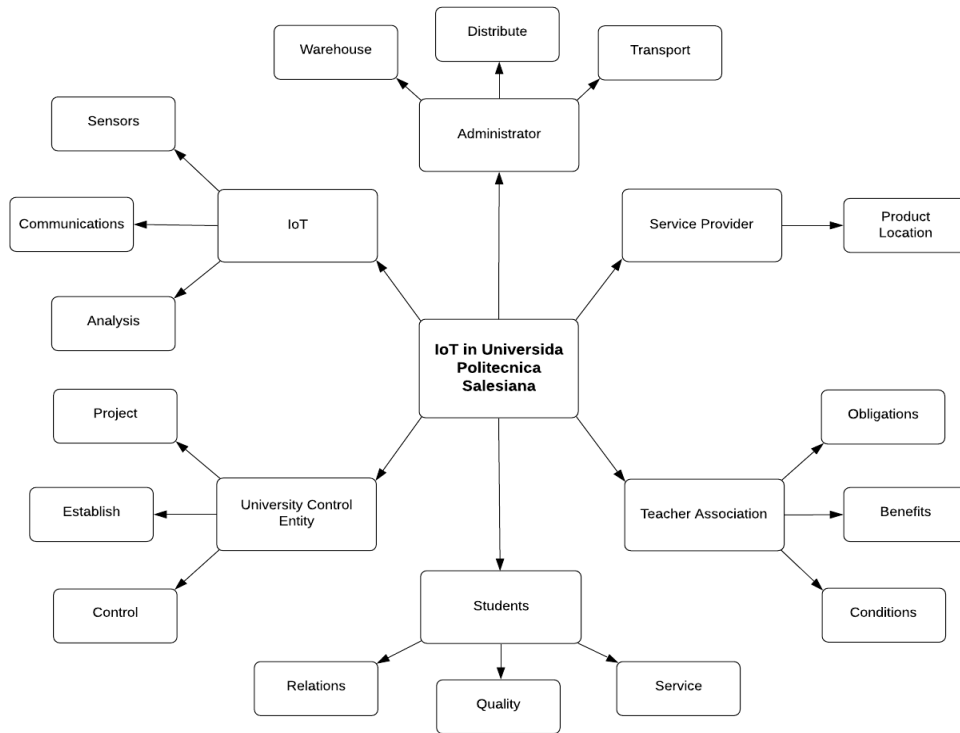


Gráfico 1. Modelo Conceptual de IoT

## 3.2 Propuesta de viabilidad de infraestructura

### i. Tecnología

Para determinar qué tecnología LPWAN se debe implementar en la comunicación IoT, se aplicó el proceso de análisis jerárquico (AHP); En la tabla 2 se presenta los criterios que se escogieron como base para la implementación de IoT para la toma de decisiones multicriterio en la Universidad Politécnica Salesiana.

Cabe recalcar que los criterios establecidos fueron seleccionados de acuerdo a la información de 5 ingenieros expertos en el tema, artículos académicos e investigaciones científicas; para continuar con el proceso del método analítico jerárquico (AHP) se tendrá en consideración la escala de comparación de SAATY que propone el grado de importancia que tiene cada criterio con otro criterio tal como se presenta en la tabla 3 y tabla 4.

MATRIZ DE COMPARACION DE CRITERIOS						
Criterios	Frecuencia	Rango	Potencia de Salida RF	Carga Útil Máxima	Consumo de Energía	Precio / Transceptor
Frecuencia	1	4	6	1/5	1/8	1/8
Rango	1/4	1	1/7	1/2	1/5	1/6
Potencia de Salida RF	1/6	7	1	1/4	1/7	1/2
Carga Útil Máxima	5	2	4	1	1/4	1/6
Consumo de Energía	8	5	7	4	1	1/2
Precio / Transceptor	8	6	2	6	2	1
Total	22,42	25	20,14	11,95	3,72	2,46

Tabla 2. Matriz de Comparación de Criterios.

MATRIZ NORMALIZADA						PONDERACION
0,04	0,16	0,30	0,02	0,03	0,05	0,10
0,01	0,04	0,01	0,04	0,05	0,07	0,04
0,01	0,28	0,05	0,02	0,04	0,20	0,10
0,22	0,08	0,20	0,08	0,07	0,07	0,12
0,36	0,20	0,35	0,33	0,27	0,20	0,29
0,36	0,24	0,10	0,50	0,54	0,41	0,36

Tabla 3. Matriz Normalizada.



CRITERIO: Frecuencia				MATRIZ NORMALIZADA			Vector Promedio
Alternativas	LORA	SIGFOX	NB-IoT				
LORA	1	1/4	1/6	0,09	0,17	0,03	0,10
SIGFOX	4	1	5	0,36	0,69	0,81	0,62
NB-IoT	6	1/5	1	0,55	0,14	0,16	0,28
Total	11	1,45	6,16				

Tabla 4. Criterio Frecuencia.

CRITERIO: Potencia de Salida RF				MATRIZ NORMALIZADA			Vector Promedio
Alternativas	LORA	SIGFOX	NB-IoT				
LORA	1	1/3	1/4	0,13	0,04	0,05	0,07
SIGFOX	3	1	4	0,38	0,12	0,76	0,42
NB-IoT	4	7	1	0,50	0,84	0,19	0,51
Total	8	8,33	5,25				

Tabla 5. Criterio Rango.

CRITERIO: Rango				MATRIZ NORMALIZADA			Vector Promedio
Alternativas	LORA	SIGFOX	NB-IoT				
LORA	1	1/7	1/4	0,08	0,02	0,02	0,04
SIGFOX	7	1	9	0,58	0,14	0,88	0,53
NB-IoT	4	6	1	0,33	0,84	0,10	0,42
Total	12	7,14	10,25				

Tabla 6. Criterio Potencia de Salida R.

CRITERIO: Carga Útil Máxima				MATRIZ NORMALIZADA			Vector Promedio
Alternativas	LORA	SIGFOX	NB-IoT				
LORA	1	1/3	1/6	0,10	0,04	0,02	0,05
SIGFOX	3	1	7	0,30	0,11	0,86	0,42
NB-IoT	6	8	1	0,60	0,86	0,12	0,53
Total	10	9,33	8,17				

Tabla 7. Criterio Carga Útil Máxima.

CRITERIO: Consumo de Energía				MATRIZ NORMALIZADA			Vector Promedio
Alternativas	LORA	SIGFOX	NB-IoT				
LORA	1	1/4	1/8	0,08	0,03	0,01	0,04
SIGFOX	4	1	8	0,31	0,11	0,88	0,43
NB-IoT	8	8	1	0,62	0,86	0,11	0,53
Total	13	9,25	9,125				

Tabla 8. Criterio Consumo de Energía.

CRITERIO: Precio / Transceptor				MATRIZ NORMALIZADA			Vector Promedio
Alternativas	LORA	SIGFOX	NB-IoT				
LORA	1	1/5	1/8	0,07	0,02	0,01	0,04
SIGFOX	5	1	9	0,36	0,11	0,89	0,45
NB-IoT	8	8	1	0,57	0,87	0,10	0,51
Total	14	9,2	10,125				

Tabla 9. Criterio Precio/Transceptor.

CRITERIO / ALTERNATIVA	Frecuencia	Rango	Potencia de Salida RF	Carga Útil Máxima	Consumo de Energía	Precio / Transceptor	PRIORIZACION
LORA	0,1	0,04	0,07	0,05	0,04	0,04	0,0506
SIGFOX	0,62	0,53	0,42	0,42	0,43	0,45	0,4623
NB-IoT	0,28	0,42	0,51	0,53	0,53	0,51	0,4967
PONDERACION	0,1	0,04	0,1	0,12	0,29	0,36	

Tabla 10. Criterio/Alternativa.

## **ii. Viabilidad y Operatividad**

Se demostró mediante métodos, modelos y matrices la viabilidad y operatividad de la tecnología LoRa permitiéndonos reducir tanto el consumo de energía como el costo del dispositivo eficientemente. Además, la combinación de los sensores y procesadores junto con su bajo consumo de energía permite que el sistema tenga una función de suspensión en el dispositivo para recopilar datos a alta frecuencia durante períodos relativamente largos.

## **iii. Trabajos Futuros o Conclusión**

Este documento ha resumido las diferencias técnicas de Sigfox, LoRa y NB-IoT. Además, ha analizado sus ventajas en términos de factores de IoT, lo que lleva a la conclusión que las tecnologías LPWAN ofrecen perspectivas prometedoras; LoRa y Sigfox traen consigo los atributos requeridos que incluyen largo alcance y bajo consumo de energía mientras NB-IoT se encuentra impulsado en el sector de las comunicaciones móviles, siendo una ventaja en comparación con las otras dos tecnologías.

Las pruebas demostraron la robustez del sistema, la estabilidad y la confiabilidad de la tecnología LoRa, a su vez, diversas investigaciones mencionan la pérdida de algunos datos debido a la distancia y obstáculos entre la estación base y el nodo, este es un punto clave para aumentar la potencia del dispositivo y la capacidad de penetración entre obstáculos mejorándolo para trabajos futuros.

Los sistemas de monitoreo LoRa para la calidad del aire son una herramienta viable para la medición de niveles de contaminantes en el aire. Con el uso de esta tecnología se estima avances tecnológicos industriales que serán de gran impacto en nuestro entorno con el fin de poder tomar una decisión y planificación estratégica a largo plazo.

## 4. Referencias bibliográficas

- [1] Anzum R. LoRaWAN Technology on Air Quality Monitoring for Public Health Protection. World Journal of Environmental Biosciences 2020;9(1):1-6
- [2] Spachtholz, A. (2017). *NB-IoT: How to test quality of service in NB-IoT networks*. 6821 Benjamin Franklin Drive, Columbia, MD 21046: Rohde & Schwarz USA. Recuperado de <https://www.rohde-schwarz.com/us/solutions/test-and-measurement/mobile-network-testing/stories-insights/article-nb-iot-how-to-test-quality-of-service-in-nb-iot-networks-part-4-253378.html>
- [3] Knoll, M., Breitegger, P. & Bergmann, A. Low-Power Wide-Area technologies as building block for smart sensors in air quality measurements. *Elektrotech. Inftech.* 135, 416–422 (2018). <https://doi.org/10.1007/s00502-018-0639-y>
- [4] López, J. & Vilajosana, X. (2020). Estudio en detalle de LoRaWAN. Comparación con otras tecnologías LPWAN considerando diferentes patrones de tráfico (tesis de pregrado). Universitat Oberta de Catalunya, España.
- [5] Mekki, K., Bajic, E., Chaxel, F., Meyer, F. (2019). A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment. *ICT Express*, Volume (5) p.1-7. doi: 10.1016/j.ict.2017.12.005.
- [6] Peña Murillo, Sandra Emperatriz. (2018). Impacto de la contaminación atmosférica en dos principales ciudades del Ecuador. *Revista Universidad y Sociedad*, 10(2), 289-293. Epub 02 de febrero de 2018. Recuperado en 02 de diciembre de 2020, de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2218-36202018000200289&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202018000200289&lng=es&tlng=es).
- [7] Petajajarvi, Juha & Mikhaylov, Konstantin & Yasmin, Rumana & Hämäläinen, Matti & Iinatti, Jari. (2017). Evaluation of LoRa LPWAN Technology for Indoor Remote Health and Wellbeing Monitoring. *International Journal of Wireless Information Networks*. 24. 10.1007/s10776-017-0341-8.
- [8] Casanova, M. (s.f.). NB-IoT vs LoRa vs SigFox Comparando las tecnologías LPWAN más modernas. España: Ministerio de Ciencia e Innovación. Recuperado de [https://alfaiot.com/en\\_US/blog/ultimas-noticias-2/post/nb-iot-vs-lora-vs-sigfox-10](https://alfaiot.com/en_US/blog/ultimas-noticias-2/post/nb-iot-vs-lora-vs-sigfox-10)
- [9] Sigfox. (2018). *Sigfox Technical Overview*. Labrège – France: Bâtiment E-volution.
- [10] Martínez MAQ, González GAL, Ríos MDG, Vázquez MYL (2021) Selección de Tecnología LPWAN para la Adopción y Uso Eficiente del IoT en las Zonas Rurales de la Provincia de Guayas usando el Método AHP. En: Ahram T. (eds) Avances en Inteligencia Artificial, Ingeniería de Software y Sistemas. AHFE 2020. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 1213. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-51328-3\\_68](https://doi.org/10.1007/978-3-030-51328-3_68)