

# Instituto Federal de Telecomunicaciones



## Internet de las Cosas. Demanda espectral Feb-Jun 2018.

Los estudios, resultados y recomendaciones expresadas en el presente reporte no necesariamente reflejan el punto de vista del Instituto Federal de Telecomunicaciones, quedando a cargo del autor la responsabilidad de los mismos.

# Internet de las Cosas; Demanda Espectral en México

Cuevas-Ruíz J.L.

Instituto Federal de Telecomunicaciones

Centro de Estudios

jose.cuevas@ift.org.mx

## RESUMEN

El enorme crecimiento esperado en el mercado de las redes inalámbricas de IoT (*Internet of Things*, por sus siglas en inglés), ha llevado a la necesidad de prospectar las necesidades futuras de este tipo de aplicaciones; no obstante que estos requerimientos son diversos, el ancho de banda que el uso del IoT pudiera demandar representa uno de los puntos más importantes a considerar, debido principalmente a la escases del mismo, y al estado deficitario que de acuerdo a la ITU el país presenta.

## INTRODUCCION

El internet de las cosas (IoT) es una tecnología que permite la conexión máquina a máquina (M2M), así como las comunicaciones máquinas-personas, masivamente. De acuerdo con Ericsson [1], en el 2021 habrá alrededor de 28 billones de dispositivos conectados alrededor del mundo, de los cuales 15 billones serán conexiones M2M y dispositivos electrónicos [2]. En la Figura No. 1 [1], se muestra la estimación de la cantidad conexiones antes descritas contra el número de teléfonos móviles y PC/laptops/tablets conectados, proyectado para el 2021.

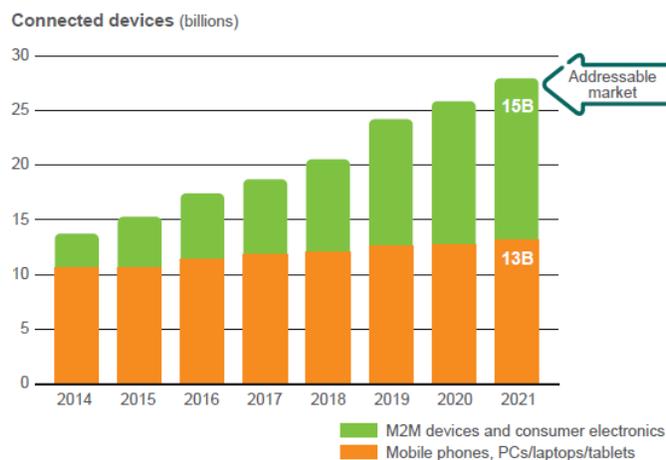


Figura No.1 Dispositivos conectados. (Tomado de [1]).

Son muchos los estudios donde se presentan datos y cifras acerca del crecimiento en el número de comunicaciones de sensores por medio de IoT. De acuerdo IDC (*International Data Corporation*, por sus siglas en inglés), el mercado mundial de IoT crecerá de USD 655.9 mil millones en 2014 a USD 1.7 billones en 2020, a una tasa de crecimiento anual del 16.9 % [7]. Por su parte Gartner Inc pronostica que para el 2020 en el mundo habrá 20.8 mil millones de objetos conectados; en el 2016 se llevaron a cabo diariamente 5.5 millones de nuevas conexiones [7]. En el mismo tenor, información publicada por Juniper Research revela que la cantidad de dispositivos conectados ascenderá a 38.6 mil millones en 2020, presentando un crecimiento de más del 285% respecto a los 13.4 mil millones en 2015[8]. Así mismo, IoT Analytics señaló que casi todos los pronósticos presentados por diferentes organizaciones coinciden en el crecimiento masivo de las conexiones IoT en los siguientes años con tasas mucho mas grandes a la previstas para otras industrias (se estiman crecimientos anuales de entre 14 y 29%). Por cada habitante pudiera haber en promedio 2 cosas conectadas por medio de IoT [9]. Así mismo, la cantidad de objetos conectados a la red será mucho mayor en cantidad que los equipos como smarthphones, laptops, tablets, etc. [10].

Una gran cantidad de estas conexiones se llevarán a cabo haciendo uso de tecnología celular, WiFi e Ethernet, así como también haciendo uso de soluciones tecnológicas más especializadas como LPWAN (*Low Power Wide Area*

Network), (BLE) Bluetooth Low Energy, ZigBee, NFC (*Near Field Communications*) y RFID (Identificación por radio frecuencia).

De acuerdo con GSMA, en el 2020 las comunicaciones de IoT haciendo uso de la red celular representarán más del 10% del mercado global. El reto de los concesionarios de servicios móviles es brindar una red que permita llevar a cabo conexiones de modo seguro, con amplia flexibilidad para soportar una gran diversidad de usos y aplicaciones y además ofertando bajos consumos de energía,

Las tecnologías LPWAN están diseñadas para comunicaciones inalámbricas de baja potencia y de largo alcance; las redes de sensores son uno de los ejemplos más comunes de uso. Las tecnologías LPWAN incluyen estándares como LoRa (*Long Range Physical layer protocol*), Haystack, SigFox, LTE-M and NB-IoT (*Narrow Band IoT*).

Los estándares LPWAN NB-IoT y LTE-M son usados para proveer comunicaciones IoT de bajo consumo de energía y de bajo costo haciendo uso de la red celular; ambos estándares fueron diseñados específicamente para aplicaciones de IoT. El caso de BLE es una versión de bajo consumo del original estándar Bluetooth que opera en la banda de 2.4 GHz; esta diseñado para enlaces de no mas de 100 metros y se usa en equipos con bajos volúmenes de transmisión y en forma de ráfagas (por eventos), de modo que los dispositivos son diseñados para que cuando no están transmitiendo operen en modo de bajo consumo energético. ZigBee opera también en la banda de 2.4 GHz, pero tiene un mayor alcance que en el caso de BLE, y presenta condiciones similares en su capacidad de transmisión. Los dispositivos que hacen uso de ZigBee no tienen la facultad de operar en modo de bajo consumo debido a que están conectados en configuración de malla, lo que requiere que en ciertas condiciones operen como Gateway para intercomunicar a otros dispositivos. En el caso de NFC, este fue desarrollado para rangos de distancia muy pequeños (alrededor de 4 cm) y es usado para sistemas de pago, acceso o etiquetamiento para usos de IoT industriales. Los equipos que hacen uso de sistemas de RFID utilizan un *tag* que va adherido al dispositivo a monitorear; este tag puede ser activo o pasivo, dependiendo si necesita alimentación o no. Obviamente, los tags pasivos tienen un rango de alcance menor y su uso más frecuente es en el control de inventarios. Definitivamente el estándar WiFi (IEEE 802.11 a/b/g/n) es el más comúnmente usado; el 802.11 n es el que ofrece una mayor velocidad de conexión, pero a un alto consumo energético, de modo que son las aplicaciones para IoT hacen uso de las versiones 802.11b o g, que ofrecen una mayor eficiencia de consumo eléctrico. Debido a que en una red de IoT no todos los dispositivos que se conectan necesariamente de modo inalámbrico, Ethernet (IEEE 802.3) se presentan como una opción viable para aquellos sensores colocados dentro de un edificio y/o en una posición fija.

De acuerdo con la OCDE, México en 2016 México tenía alrededor de 8 millones de dispositivos conectados por medio de IoT. Considerando las tasas de crecimiento similares a las usados en [1] para la estimación del número total de dispositivos IoT en el mundo, se estima que el crecimiento de los dispositivos IoT en México tendría un comportamiento como el que se muestra en la Figura No.2., lo que significa que del año 2018 al 2019, cada hora casi 2000 nuevos objetos se incorporarán a la red de IoT.

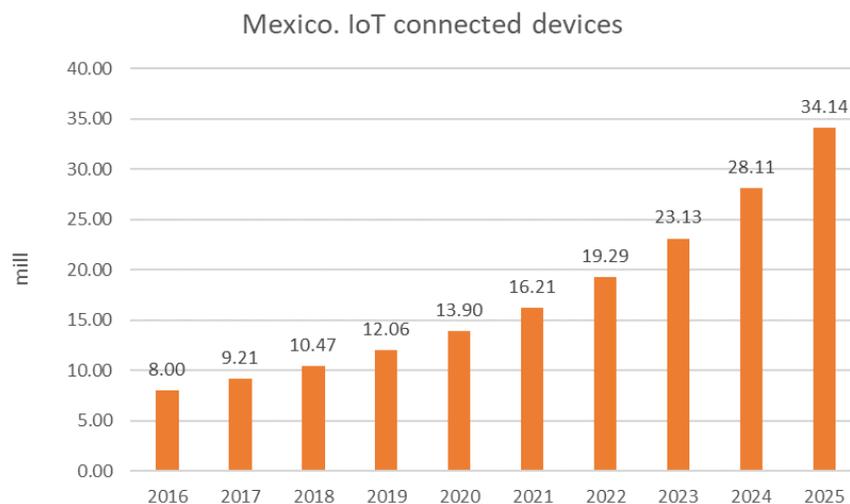


Fig 2. Dispositivos IoT en México estimados con base en [1].

El nivel de penetración de las redes de IoT en el país puede ser mejor interpretado obteniendo el número de objetos conectados por cada 100 habitantes; en la Figura No.3 se muestra la cantidad total de dispositivos conectados por medio de IoT ( que es proporcional a la cantidad de población del país), y el número de

dispositivos conectados por medio de IoT por cada 100 habitantes para varios países, incluido el nuestro; podemos ver que en la actualidad nuestro país presenta niveles similares a China, muy por debajo de países desarrollados como Corea, EEUU o Alemania, con valores de 38.4, 24.1 y 21.8 respectivamente.

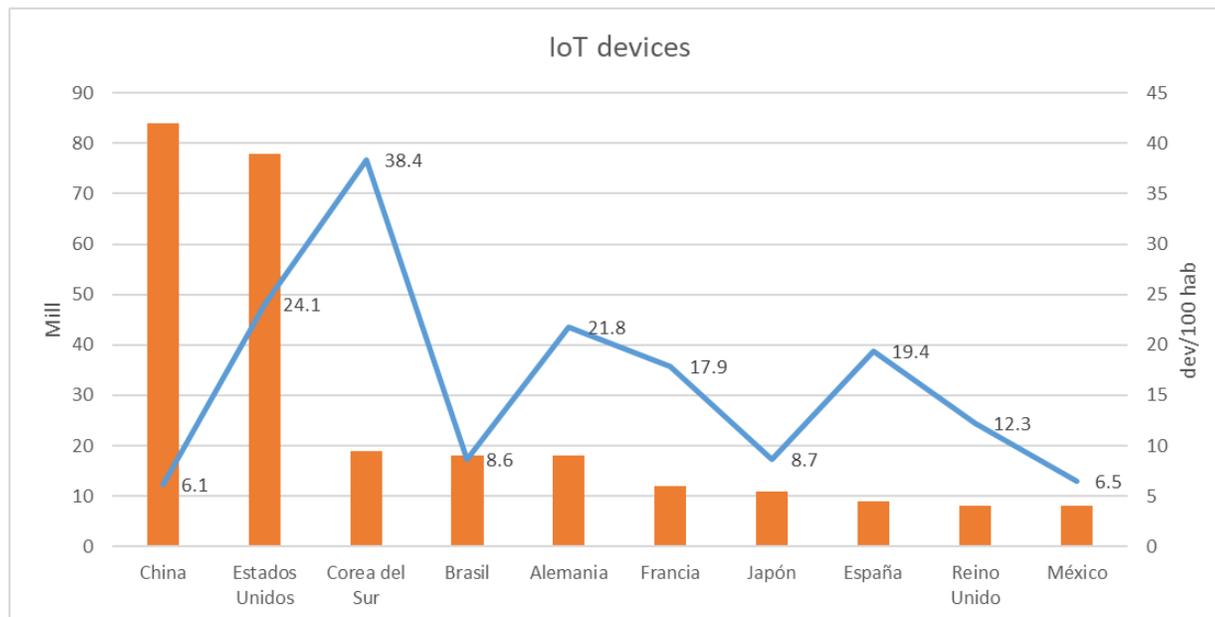


Fig 3. Dispositivos IoT para varios países en el mundo, estimados con base en [1].

### TECNOLOGÍAS DE ACCESO PARA IOT.

En el diseño de las redes de IoT de cobertura amplia y considerando el tipo de objetos a conectar, es posible distinguir dos segmentos, cada uno de estos presentado diferentes requerimientos para su operación. Uno de estos segmentos lo componen aquellos objetos que se consideran como masivos, y que se caracterizan por los grandes volúmenes de conexiones requeridas y pueden demandar poco ancho de banda debido a que la información es transmitida por medio de ráfagas, de manera intermitente; así mismo, la exigencia de una baja latencia no es crítica. Por ejemplo, el estándar de SigFox, que opera en la banda libre de los 900 MHz, establece una configuración para sus dispositivos que permite enviar poco más de 140 mensajes de 12 bytes durante el día, lo que representa un ciclo de envío o uso de la red de un mensaje aproximadamente cada 10 minutos; esta frecuencia de envío puede ser suficiente para aplicaciones de monitoreo de consumo energético o niveles de temperatura; la demanda de ancho de banda de este tipo de aplicaciones es muy baja.

Por otro lado, están las conexiones para aplicaciones críticas, donde es requerido un mayor ancho de banda que soporte altas tasas de transmisión, bajos tiempos de latencia así como altos porcentajes de disponibilidad (vehículos autónomos, algunas aplicaciones de e-Health, etc.).

De este modo, para proceder al análisis de la demanda espectral y de recursos que las aplicaciones de IoT presentan, se debe contar con las características de operación de dichas aplicaciones, como la velocidad de transmisión, latencia y ciclo de trabajo que cada aplicación presenta; en la Tabla No.1 se muestran estas características para algunas de la aplicaciones mas comunes; el ciclo de trabajo para cada una de las aplicaciones describe el nivel de intermitencia de las conexiones a la red de IoT. Por ejemplo, en el caso de monitoreo de salud, es posible que para un usuario que use un dispositivo que monitorea su ritmo cardíaco y que enviará un mensaje solo caso de detección alguna anomalía, pudiera no enviar mensaje alguno durante días. Así mismo es posible que otras aplicaciones requieran de una gran cantidad de ancho de banda, debido a la transmisión de video o contenido multimedia. Esta diferencia en la cantidad de información a enviar es muy clave para el cálculo del espectro demandado

Así mismo, muchas de las aplicaciones solo requieren hacer uso del canal de subida (envío de la información generada, sin tener la necesidad de hacer uso del canal de bajada); del mismo modo pudiera presentarse aplicaciones en las que la comunicación bidireccional fuera muy importante.

Aplicación	Velocidad	Latencia	Ciclo de trabajo
Flotas y Logísticas	100 kbps	baja (seg)	1 informe/hora-1 informe/día
Telemática Autom.	3 Mbps	baja (seg)	Ad-hoc en emergencias
Automat. y telemetría	50-500 kbps	alta (min)	1 informe/hora-1 informe/día
Puntos de venta	200 kbps	muy baja (mseg)	1 informe/hora-1 informe/día
Seguridad y Vigilancia	5-8 Mbps	muy baja (mseg)	UL continuo
Monitoreo de salud	50-500 Mbps	baja (seg)	Informe/día, ad-hoc
wearables (deportes)	hasta 10 Mbps	baja (seg)	ad-hoc
wearables (video streaming)	30 Mbps o más	baja seg	ad-hoc

Tabla No. 1 Características de operación para diversas aplicaciones de IoT.

En la Figura No. 4 se analizan comparativamente diferentes aplicaciones de IoT. Se comparan 4 características fundamentales: velocidad de transmisión, consumo de energía, latencia y cantidad de objetos conectados. La escala que se propone es del 1 al 5, donde el nivel 1 representa: la tasa de transmisión mas baja, el menor nivel de consumo energético, una alta latencia y un menor número de dispositivos conectados; el nivel 5 representa la condición contraria a cada una de las características anteriormente descritas. El conjunto de estas condiciones determinará el ancho de banda a usar.

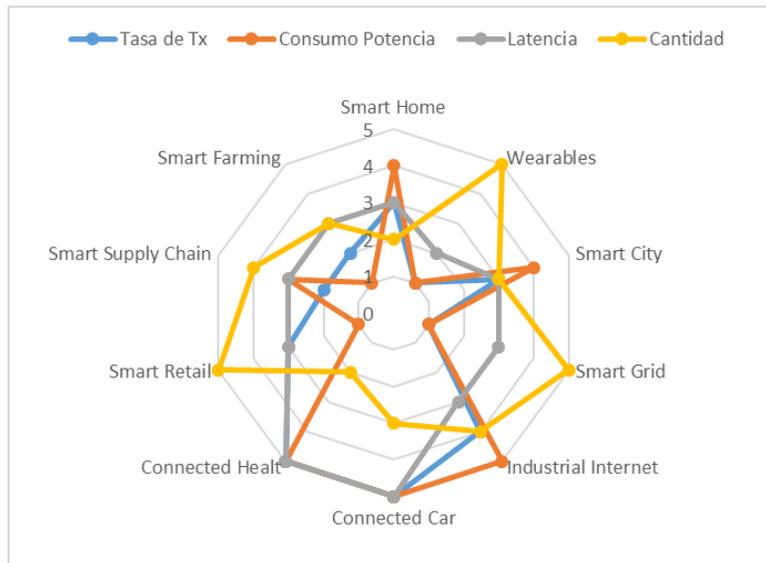


Fig 4. Análisis comparativo de algunas aplicaciones y usos de IoT.

La masificación del uso de estos dispositivos demandará una mayor cantidad de espectro, así como redes que permitan satisfacer la calidad de servicio particular demandada para cada aplicación, por lo que la implementación de redes de IoT presenta retos y consideraciones a tomar en cuenta, que están en función del tipo de sensor y operación del objeto a conectar [3]. Aunque de manera general podemos mencionar que se deben considerar los siguientes aspectos:

- Ancho de banda y tasa de transmisión.
- Consumo de potencia
- Conectividad permanente o no.
- Interoperabilidad
- Seguridad
- Latencia
- Cobertura

La red de IoT puede operar en bandas licenciadas o en bandas libres; en el caso de las bandas libres, la calidad de servicio no puede ser garantizada por el proveedor de la aplicación, ya que el acceso al medio es por medio de mecanismos de contienda y/o probabilísticos; esta condición de no garantizar determinada calidad de servicio,

básicamente consiste en bajas velocidades de transmisión y una alta latencia; no obstante, estas restricciones no son impedimento para el correcto funcionamiento de determinadas aplicaciones de IoT, existen aplicaciones de IoT que se adaptan perfectamente a estas condiciones. De cara a las recomendaciones que este estudio pretende ofrecer, el tema de la saturación de estas bandas puede ser un tema a tener en cuenta. En el caso de México, una de las bandas libres de mayor uso es la que se encuentra en la banda de los 900MHz, y va de los 902 a los 928 MHz, aunque también hay bandas libres en las bandas de 2 y 4 GHz, así como frecuencias en la banda E. Considerando los estándares de mayor uso en América, en la Figura No. 5 se muestran las bandas donde operan actualmente algunas redes de IoT y LPWA.

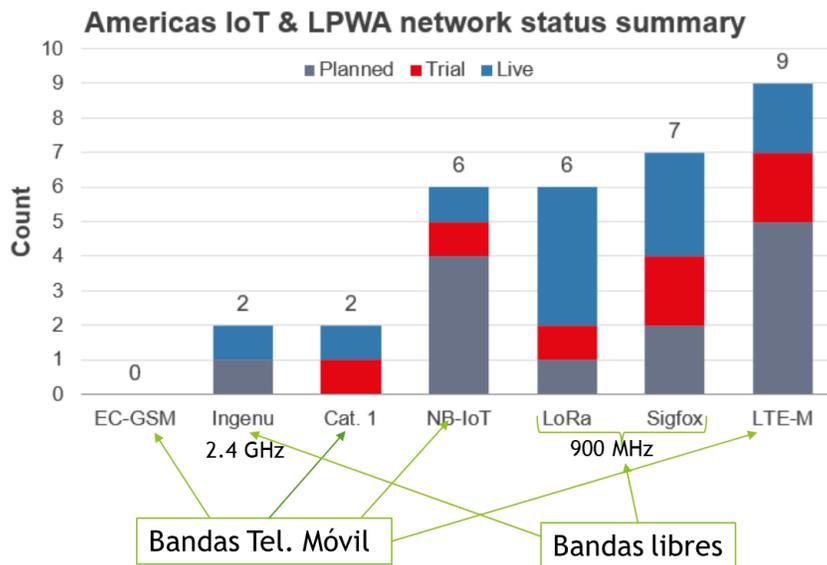


Fig 5. Tecnologías de acceso para IoT; caso para América (OVUM).

### METODOLOGÍA.

Respecto a las consideraciones mencionadas, el presente estudio analizará las condiciones de demanda de ancho de banda y velocidades de conexión para ciertas aplicaciones de IoT. Para el cálculo del ancho de banda, se aplica el procedimiento usado para la obtención de los requerimientos de ancho de banda considerando diferentes ciclos de trabajo para diversas aplicaciones de IoT [4][5]; este procedimiento ha sido aplicado para la estimación del ancho de banda en ciudades inteligentes en la India. El procedimiento hace uso de datos poblacionales para determinar la densidad actual y potencial de dispositivos de IoT conectados por medio de redes inalámbricas; al mismo tiempo, se calcula un área de cobertura de la red, considerando los radios de cobertura típicos para zonas urbanas, semiurbanas y rurales. Con los datos anteriores, es posible obtener el número de dispositivos en el área de cobertura de la red y con esto la demanda de tráfico total, para finalmente estimar el valor del ancho de banda.

La cantidad de ancho de banda demandado para aplicaciones de IoT es directamente proporcional a la densidad de población que se presenta en determinada región; en el caso de México la distribución irregular de población permite encontrar grandes variaciones en la densidad poblacional de una zona geográfica a otra; para considerar estas variaciones, se analizaron las 9 regiones en los que la cobertura geográfica de los servicios móviles en México esta dividido. Para cada región se consideró a la ciudad que presenta la mayor densidad poblacional, con la idea de obtener la demanda máxima de espectro para cada zona. Las ciudades consideradas para cada zona se muestran en Tabla No. 2.

Región	Ciudad	Población (000)	densidad (hab/km <sup>2</sup> )
1	Tijuana	1,441.8	1,113.6
2	Hermosillo	799.1	5,257.6
3	Cd Juárez	1,422.1	7,399.8
4	Mty	1,193.5	1,170.9
5	Guadalaj.	1,513.4	9,644.3
6	León	1,284.3	1,177.9
7	Puebla	1,518.5	2,626.4
8	Mérida	845.7	1,010.6
9	Cd. México	8,833.4	15,632.0

Tabla No. 2. Densidad poblacional para ciudades en cada zona celular en México [CONAPO].

El análisis se enfoca en las aplicaciones de IoT que mayor número de conexiones demandan; como ya se explicó, generalmente estas requieren bajas tasas de transmisión y pueden operar con niveles de latencia elevados.

Para la estimación del tráfico se considera como base que la red opera con el estándar IEEE 802.15.4, usando 6LoWPAN; bajo este estándar un nodo transmite en promedio un mensaje 150 bytes cada minuto, pudiendo utilizar esquemas de reenvío de mensajes de hasta 5 veces antes de alcanzar su destino.

Para el caso del cálculo del ancho de banda se considera que el tiempo promedio para transmitir un bit, incluyendo esquemas CSMA-CA, es de 8-11 useg para una velocidad de transmisión de 100 Kbps. Así mismo se establece una separación de canal de 400 KHz. Las aplicaciones que pudieran operar bajo estas condiciones deberán tener como tasa de transmisión requerida límite la indicada; en [6] y [7] se indican las velocidades para algunas de las aplicaciones mas comunes.

Básicamente el método consiste en los siguientes pasos:

- a) Se establece un radio de cobertura de la red de IoT.
- b) Se determina el número de dispositivos IoT conectados por km<sup>2</sup>.
- c) Se estima el tráfico total de los dispositivos IoT dentro del área de cobertura.
- d) Se calcula el tráfico generado por los dispositivos IoT conectados dentro del área de cobertura, de acuerdo con lo establecido en [7].
- e) Se obtiene una estimación del ancho de banda necesario.

Haciendo uso del procedimiento descrito y con base a la cantidad de unidades conectadas se estimará el ancho de banda necesario, considerando las velocidades de conexión requeridas, así como la densidad de usuarios.

Así mismo se aplicó el mismo procedimiento, pero tomando la clasificación que en México hace el INEGI, clasificando las poblaciones en función de la densidad poblacional; de esto modo se presentan poblaciones Urbanas, suburbanas y rurales, con las sub-clasificaciones y densidades poblaciones que se muestran en la Tabla No. 3.

Tipo de población		densidad (hab/km <sup>2</sup> )
Urbana	Urbana alta densidad	12000
	Urbana densa	6000
	Urbana	1000
Suburbana	Suburbana	250
	Exrural	125
Rural	Rural	30
	Rural aislada	12

Tabla No. 2. Densidad poblacional para poblaciones urbanas, suburbanas y rurales (INEGI).

Para este análisis, se fijaron radios de cobertura en función del tipo de población; para el caso urbano se estableció un radio de referencia de 2, 3 y 4 km para cada una de las sub-clasificaciones mostradas, mientras que radios de 5 y 7 fueron usados para el caso de las poblaciones semiurbanas; finalmente para el caso rural radio de 9 y 10 km se aplicaron.

## RESULTADOS

Para la obtención del número de usuarios dentro del área de cobertura se establece un radio de 2 km, y se obtiene el número de dispositivos por área de cobertura; como se mencionó, la densidad población en México puede variar de manera importante de una zona a otra, y por ende el número de dispositivos IoT conectados; en la Figura No. 6 se muestra el número de dispositivos por celda de cobertura para las Regiones 8 y 9, que son las zonas con la menor y mayor densidad poblacional respectivamente, de acuerdo a lo mostrado en la Tabla No. 2.

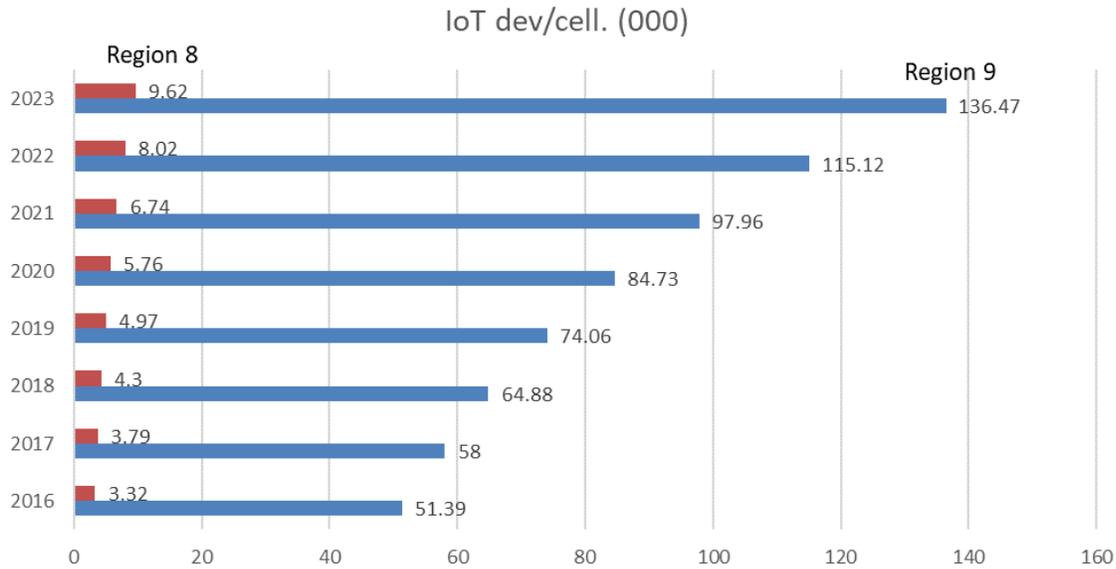


Fig 6. Número de dispositivos IoT conectados por área de cobertura para una célula de 2 km de radio para las regiones 8 y 9 en México.

Considerando las 5 regiones que presentan una mayor densidad poblacional, se hizo la proyección de la cantidad de ancho de banda hasta el año 2023, considerando las mismas condiciones anteriormente descritas; como puede verse en la Figura No. 7, las necesidades espectrales pueden variar considerablemente de una zona a otra. Para el caso de las zonas que no aparecen en la Figura No. 7 (1, 6, 7 y 8), el crecimiento de la demanda espectral es similar al mostrado por la región 4.

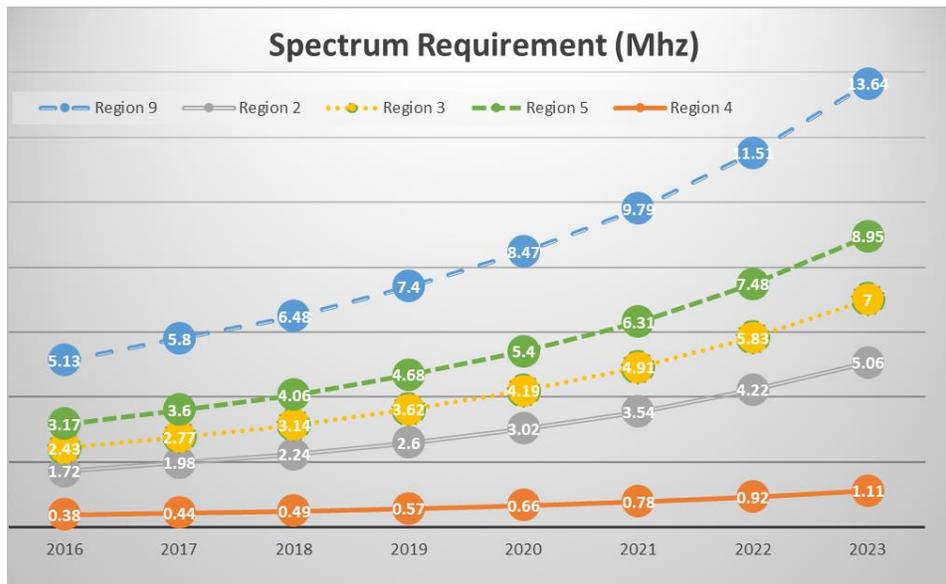


Fig 6. Número de dispositivos IoT conectados por área de cobertura para una célula de 2 km de radio para las regiones 8 y 9 en México.

Como ya se ha mencionado, los resultados obtenidos presentan una dependencia directa del tamaño de la célula a considerar, además de los factores ya explicados. El radio de cobertura de la célula (y por ende el área), puede variar en función del tipo de zona geográfica (urbana, suburbana y rural), pudiendo alcanzar valores de hasta 10 km para zonas rurales en frecuencias por debajo de 1 GHz. Si se considerará que la mayoría de los dispositivos IoT estuvieran distribuido en las zonas urbana y suburbana, y que el radio máximo que en el caso de una zona suburbana pudiera alcanzar valores de aproximadamente 4 km, se hizo un análisis del comportamiento de la curva de demanda de espectro para las regiones mostradas en la Figura No. 6, en función de diferentes valores de radio de cobertura. Los resultados se muestran en la Figura No. 7. Un incremento de 1 km en el radio de cobertura pudiera representar un incremento de hasta el doble de demanda de espectro.

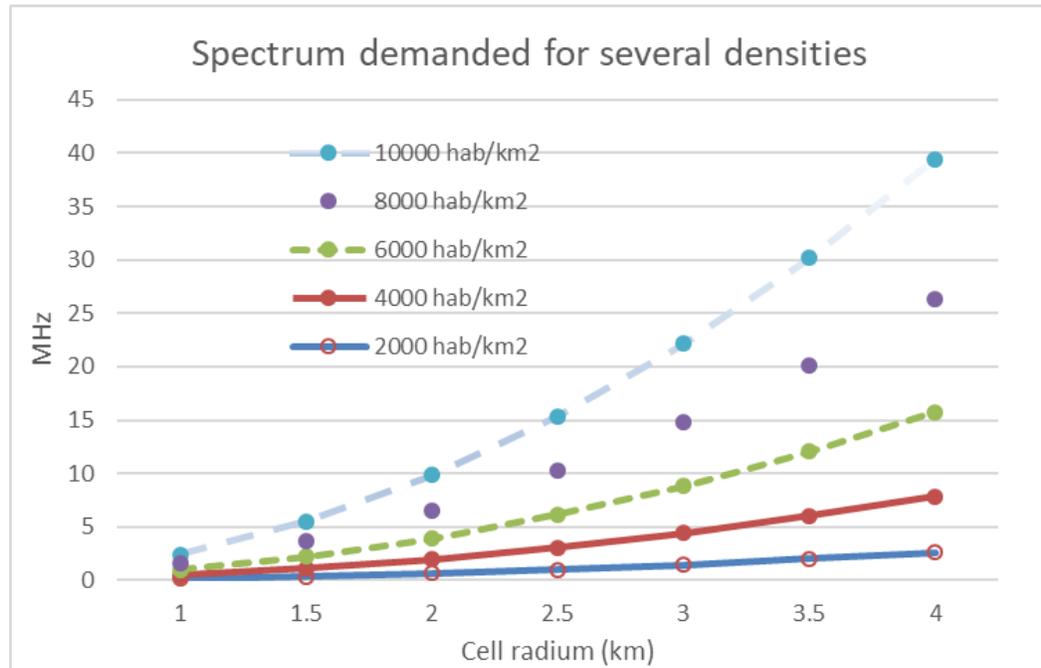


Fig 6. Número de dispositivos IoT conectados por área de cobertura para una célula de 2 km de radio para las regiones 8 y 9 en México.

Para el caso de la clasificación de las poblaciones por la densidad poblacional que presentan y haciendo uso de los radios de cobertura definidos anteriormente, se tienen las necesidades espectrales que se muestran en la Tabla No. 3.

Tipo de población		Radio (km)	BW (MHz)
Urbana	Urbana alta densidad	2	3.92
	Urbana densa	3	4.41
	Urbana	4	1.3
Suburbana	Suburbana	5	0.51
	Exrural	7	0.5
Rural	Rural	9	0.198
	Rural aislada	10	0.098

Tabla No. 3. Cantidad de espectro demandado para cada tipo de población.

### CONCLUSIONES

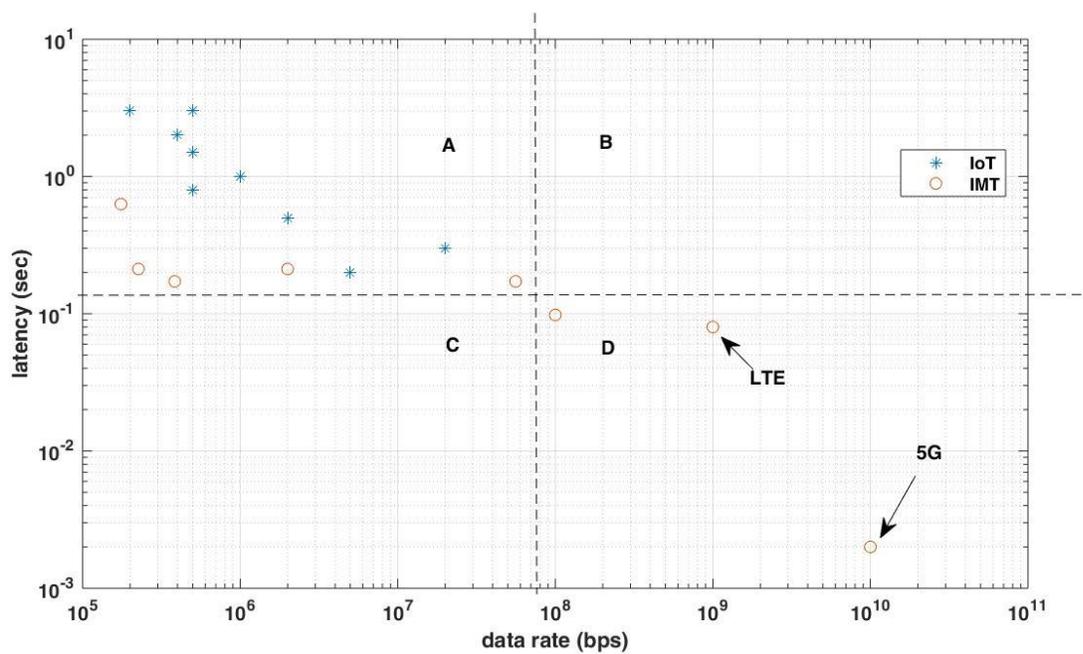
Las estimaciones del ancho de banda, así como del resto de los recursos que serán demandados a medida que los servicios de IoT ganen presencia dependerán en gran medida del tipo de servicios de IoT que se implemente;

además del ancho de banda, que para aplicaciones de baja demanda de velocidad puede no ser la principal preocupación, consideraciones como latencia y seguridad pueden cobrar relevancia. La masificación de los dispositivos IoT, aún de aquellos que presenten bajas condiciones de demanda espectral, estimulará de manera importante el crecimiento de la demanda de espectro; nuevos usos y aplicaciones podrían hacerla crecer de manera exponencial. Así mismo, el precio de los dispositivos es otro de los factores que estimularía su uso y por ende la necesidad de mas espectro.

Una de las ventajas que ofertan los dispositivos de IoT que presentan ciclos de trabajo donde la comunicación no solo no es continua con el nodo de acceso a la red, si no que el envío de mensajes es intermitente; hay escenarios y aplicaciones en los que solo se puede hacer el envío de un mensaje por día. Estos ciclos de trabajo se traducen en significativos ahorros de energía, lo que a su vez posibilita el uso de baterías por largos períodos de tiempo (hay estándares que ofertan un cambio de baterías después de varios años).

Otro de los temas que puede impulsar la demanda de espectro es la mejora en las coberturas de las redes móviles; contando con espectro en varias bandas frecuenciales, será posible brindar cobertura con gran capacidad de transmisión en interiores haciendo uso de bandas de frecuencia elevadas, y por otro lado mejorando la cobertura en zonas abierta por medio del uso de banda inferiores.

De acuerdo a lo comentado a lo largo del estudio, se ha hecho hincapié en el hecho de que los servicios y aplicaciones de IoT demandan condiciones diferentes a las demandadas por los servicios tradicionales de los servicios móviles (IMT), cuyo objetivo de crecimiento se ha basado en otorgar mayores velocidades, normalmente en el canal de bajada, y menores latencias; esto no siempre es aplicable para el caso de IoT. De acuerdo a lo mostrado en la Figura No.7, la tendencia de las comunicaciones móviles (3G, LTE, 5G, etc.) es otorgar mayores velocidades de conexión con latencias cada vez mas bajas (sección D de la Figura); por otro lado, las aplicaciones de IoT que mayor penetración muestran una tendencia a demandar menores velocidad de conexión con valores de latencia mayores (sección A).



Como se muestra, muchas de las aplicaciones de IoT demandan condiciones de operación diferentes a la que se espera tengan las redes basadas en los nuevos estándares para IMT; de este modo, la gestión del espectro para IoT se puede aproximar de manera diferente a lo que se ha hecho hasta ahora; no obstante que organizaciones como GSMA mencionan que en los siguientes años la mayor cantidad de comunicaciones de aplicaciones de IoT se harán haciendo uso del espectro concesionado para IMT, hoy en día se abren otras posibilidades, oportunidades y también amenazas. Además, recordemos que de acuerdo a lo mencionado en la introducción de este estudio se parte de un escenario donde hay un déficit importante de espectro para IMT, que podría ahondarse al desarrollar más aplicaciones de IoT en estas bandas.

Muchas de las aplicaciones de IoT hoy en día operan en México haciendo uso de la banda libre de los 900 MHz (Sig Fox, LoRa WAN), lo que puede representar una condición favorable para su desarrollo, aunque al mismo tiempo se deben tomar medidas para evitar saturación de estas bandas y evitar un deterioro en la calidad de los servicios ofertados; en esta línea, se considera como una estrategia útil para México, contar con un registro del nivel de ocupación de las bandas libres y al mismo tiempo, analizar la implementación de estrategias de compartición de espectro; el fortalecimiento de este tipo de estrategias, así como la promoción del uso de los espacios blancos (por ejemplo TVWS) podrían representar una gran oportunidad. En el caso de las aplicaciones en las bandas de IMT, estándares que se podrían considerar como ya de poco uso como GSM (que aparecen en la sección A de la Figura No. 7 puede presentar condiciones suficientes para aplicaciones de IoT.

En resumen, la cantidad de espectro estimada en este estudio puede ser cubierta haciendo uso de nuevas alternativas, considerando que la mayor cantidad de aplicaciones de IoT demandarán condiciones diferentes a las nuevos estándares de IMT.

## REFERENCIAS

- [1] Cellular network for massive IoT. Ericsson white Paper. Uen 284 23-3278. January 2016.
- [2] Ericsson, Ericsson Mobility Report, November 2015, available at: <http://www.ericsson.com/res/docs/2015/mobility-report/ericsson-mobility-report-nov-2015.pdf>
- [3] Connecting all the things in the Internet of Things. IBM. DeveloperWorks. January 03, 2018.
- [4] D. Kusumawati, D. Setiawan and M. Suryanegara, "Spectrum requirement for IoT services: A case of Jakarta smart city," 2017 IEEE International Conference on Communication, Networks and Satellite (Comnetsat), Semarang, 2017, pp. 21-25.
- [5] Telecommunication Engineering Centre Department of Telecommunications Ministry of Communication & Information Technology Government of India, "Technical Report M2M Enablement in Power Sector, Spectrum requirements for PLC and Low power RF communications." Government of India, pp. 9-15, 2015.
- [6] D. Kusumawati and M. Suryanegara, "Spectrum requirement for IoT health sector in Indonesia," 2016 IEEE 3rd International Symposium on Telecommunication Technologies (ISTT), Kuala Lumpur, 2016, pp. 115-119.
- [7] Gartner Says 6.4 Billion Connected "Things" Will Be in Use in 2016, Up 30 Percent from 2015, Gartner, Inc. 10 de noviembre de 2015.
- [8] Internet of Things Connected Devices to Almost Triple to Over 38 Billion Units By 2020, Juniper Research, 23 de julio de 2015.
- [9] M.Nekovee, "Cognitive Radio Access to TV White Spaces: spectrum Opportunities, Commercial Applications and Remaining Technology Challenges,". 2010 IEEE Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks, Singapore, April 2010.
- [10] IoT Market, Forecasts at a Glance. IoT Analytics, <http://iot-analytics.com/iot-market-forecasts-overview>, 17 de octubre de 2014.