



Bandas de espectro radioeléctrico para el despliegue de nuevas tecnologías

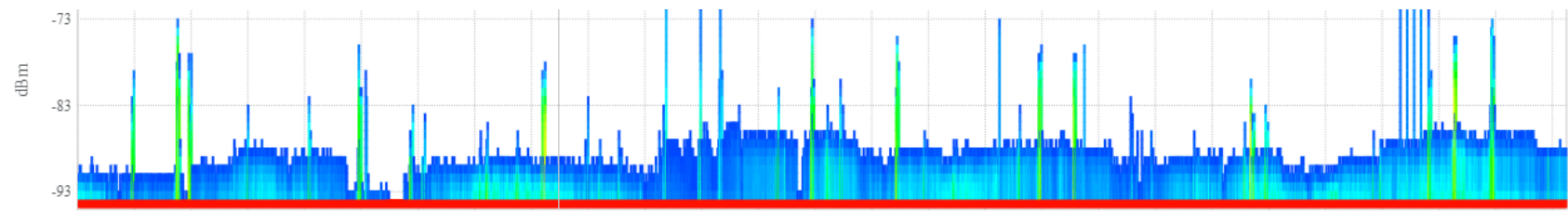
Ing. Javier More Sanchez

jmore@ieee.org

29 de agosto de 2024



1.- Espectro radioeléctrico



El espectro radio eléctrico



Texto Único Ordenado de la **Ley** de Telecomunicaciones (Decreto Legislativo 702 - Decreto Supremo Nº 013-93-TCC)

Artº 57

Recurso Natural

Dimensiones limitadas

Patrimonio de la Nación

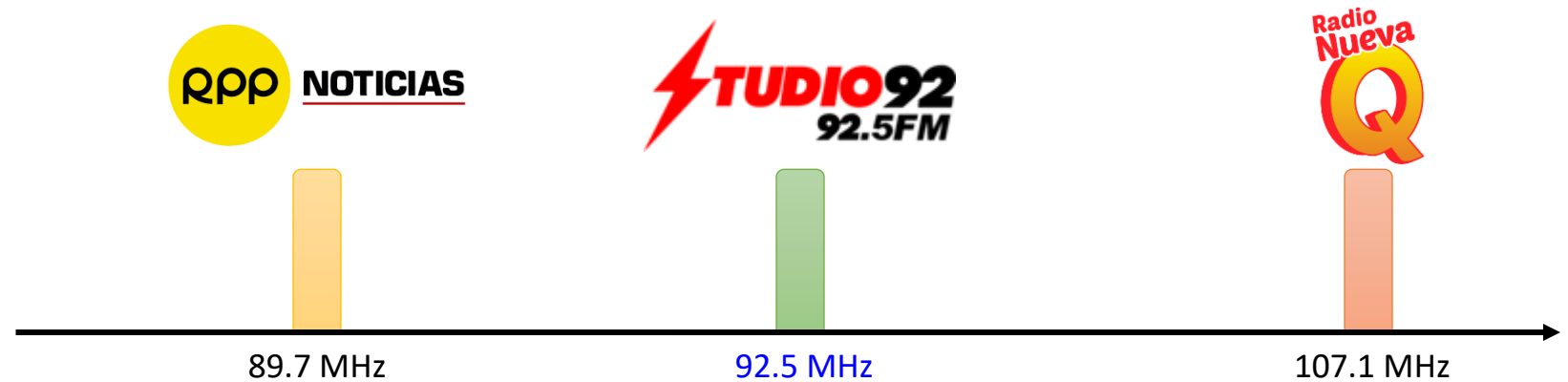
Administrado por el MTC

Artº 199

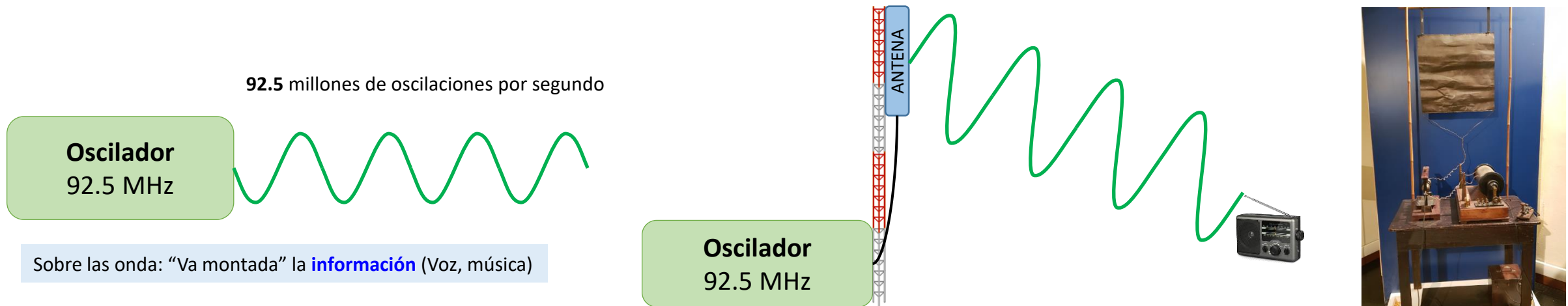
Texto Único Ordenado del **Reglamento** General de la **Ley** de Telecomunicaciones (Decreto Supremo Nº 020-2007-MTC)

“Espectro radioeléctrico es el medio por el cual pueden propagarse las ondas radioeléctricas sin guía artificial”

Espectro radioeléctrico: Una mirada práctica



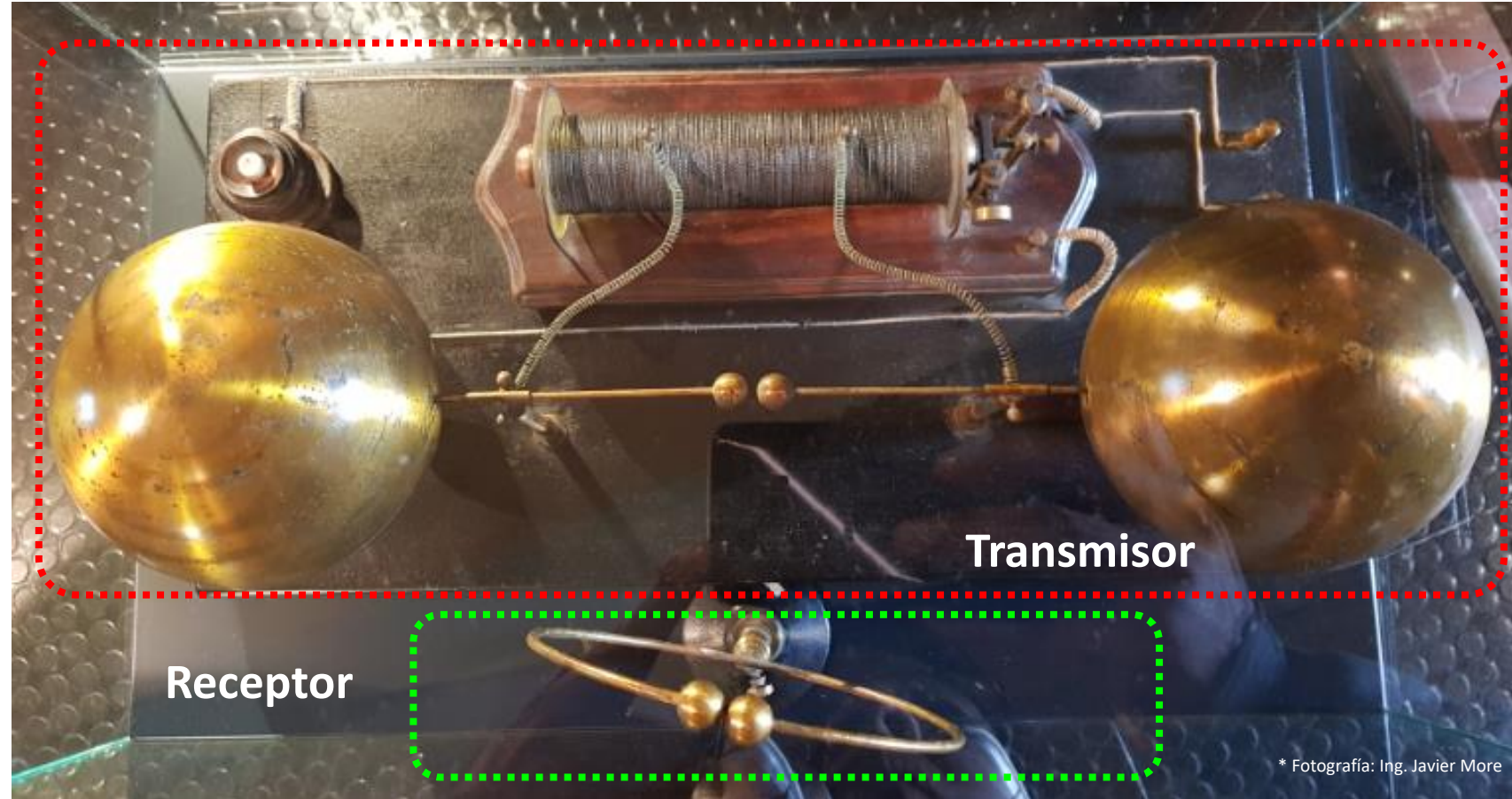
La onda electromagnética es generada por un dispositivo llamado “**oscilador**” y luego enviada al espacio por medio de una **antena**



El experimento de Hertz



Heinrich Hertz



Alcance de algunos centímetros

El experimento de Hertz



Enlace Lima – Iquitos sin repetidores

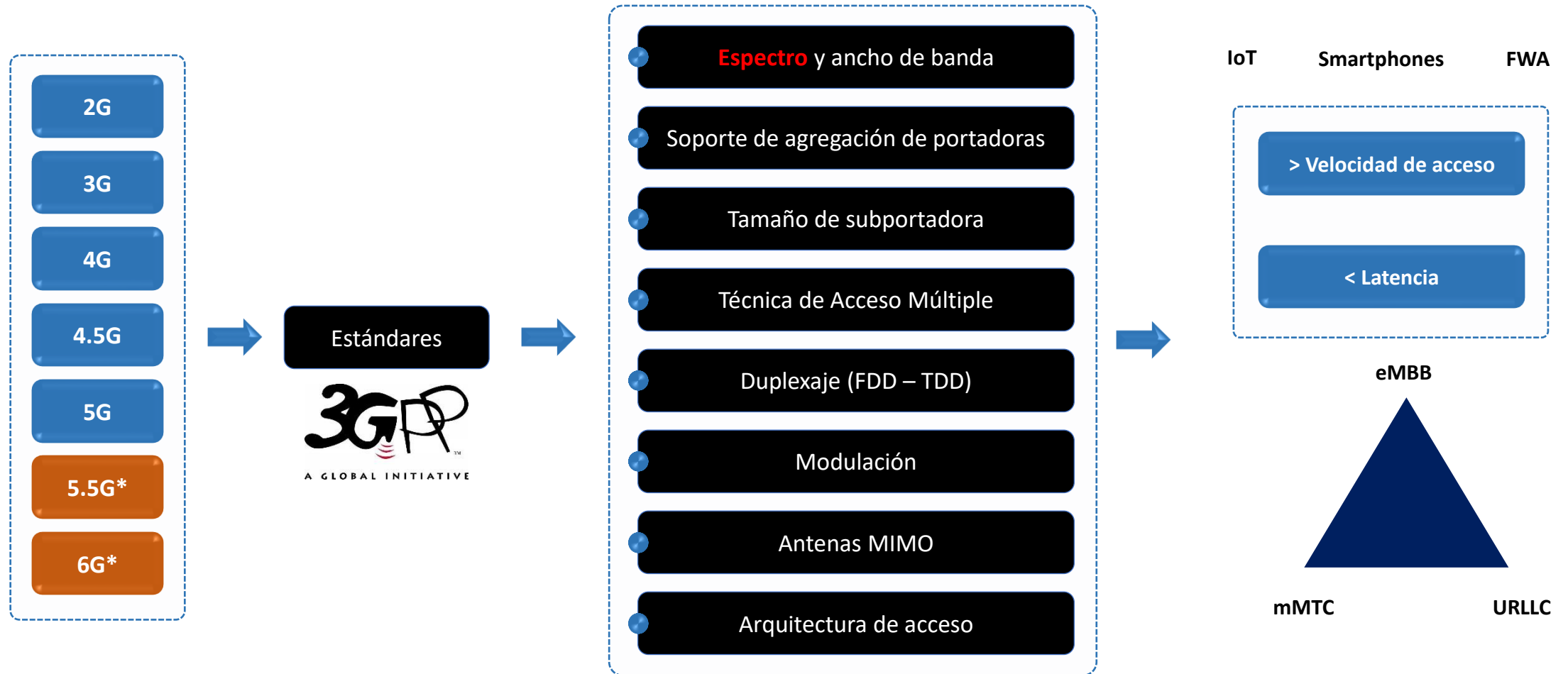


Para mayor información revisar: <https://www.linkedin.com/pulse/inicio-de-las-comunicaciones-inal%C3%A1mbricas-en-el-per%C3%BA-more-sanchez/>



2.- Nuevas tecnologías para el servicio de Internet Móvil

Aspectos de ingeniería detrás de las “G’s”



* El uso de las “Gs” es referencial.

Del 4G al 6G

4G	4G+	4.5G	5G	5.5G*	6G
					
LTE	LTE-Advanced	LTE-Advanced Pro	5G	5G-Advanced	6G
Release 8/9	Release 10/11/12	Release 13/14	Release 15/16/17	Release 18/19/20	¿Release 21?
1° despliegue: 2009	1° despliegue: 2013	1° despliegue: 2015	1° despliegue: 2019	R18 se culminó en junio de 2024	¿2030?

Pasar de una tecnología a otra implica, entre otras cosas, **incrementar la eficiencia espectral**



Transmitir más Rate (bps) por cada Hertz

$$\eta_{\text{espectral}} = \frac{\text{Tasa de Transmisión}}{\text{Ancho de Banda}} = \frac{\text{bps}}{\text{Hz}}$$

* Logos obtenidos de: <https://www.3gpp.org/about-us/legal-matters/logo-usage>

Especificaciones del Grupo 3GPP para 5G:

<https://portal.3gpp.org/Specifications.aspx?q=1&series=45&releases=all&draft=False&underCC=False&withACC=False&withBCC=False&numberNYA=False>

R19: <https://www.3gpp.org/specifications-technologies/releases/release-19>

R19 se culminará
en el 2025

R20 se culminará
en el 2027

Evolución de la modulación: A mayor modulación, mayor velocidad

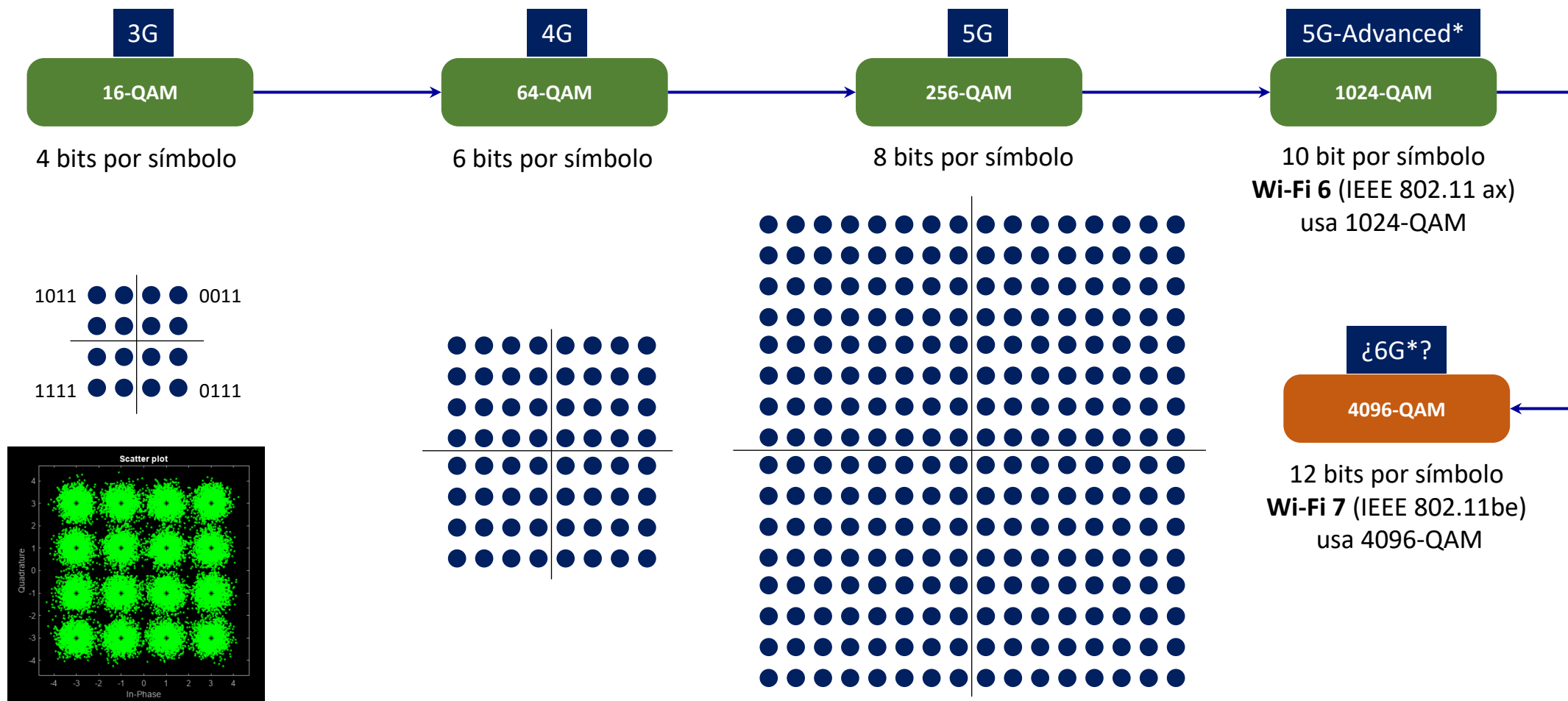


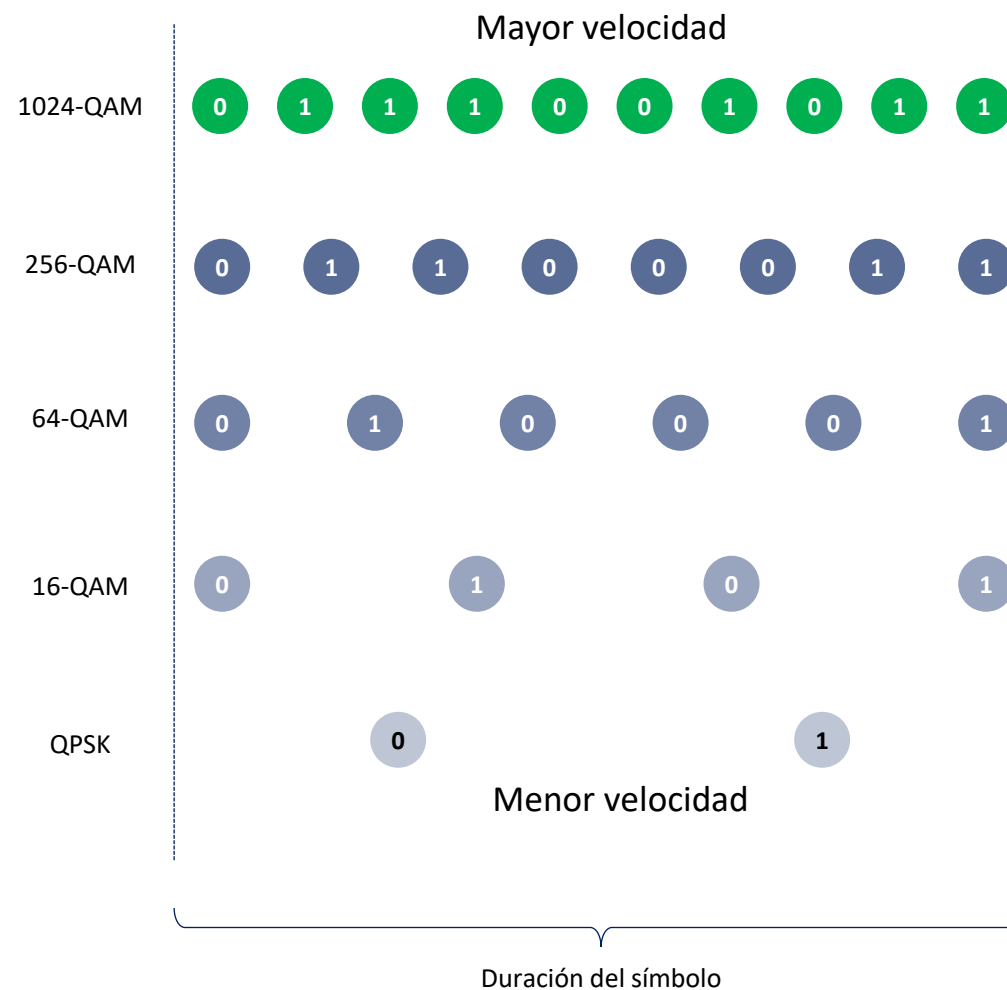
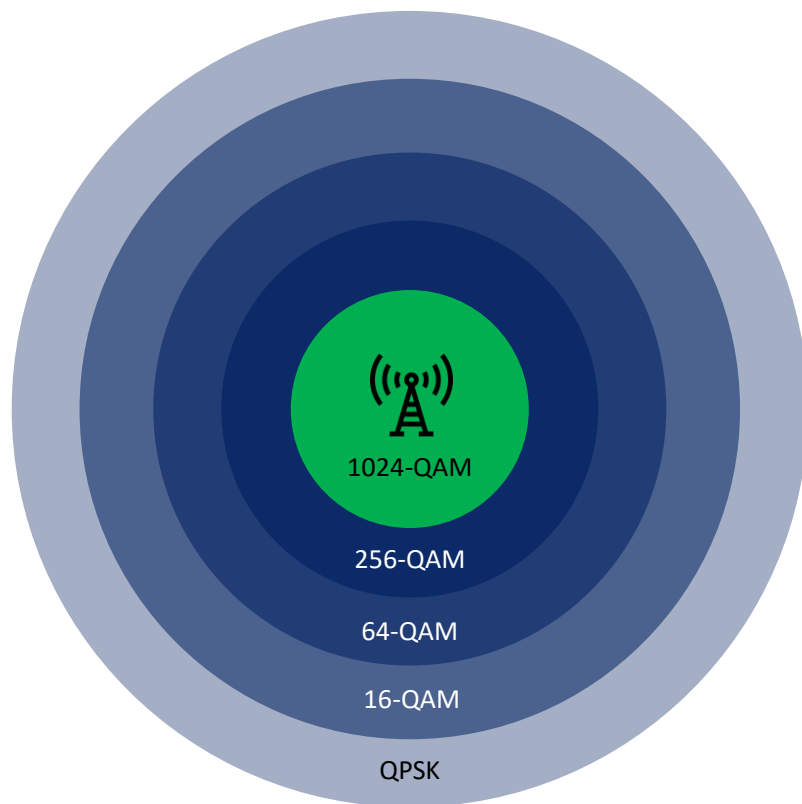
Diagrama de constelación 16-QAM obtenido de: <https://www.mathworks.com/help/comm/gs/examine-16-qam-using-matlab.html>

* El uso de las "Gs" es referencial.

* El uso de 1024QAM se detalla en la especificación 3GPP TS 38.104 V18.3.0

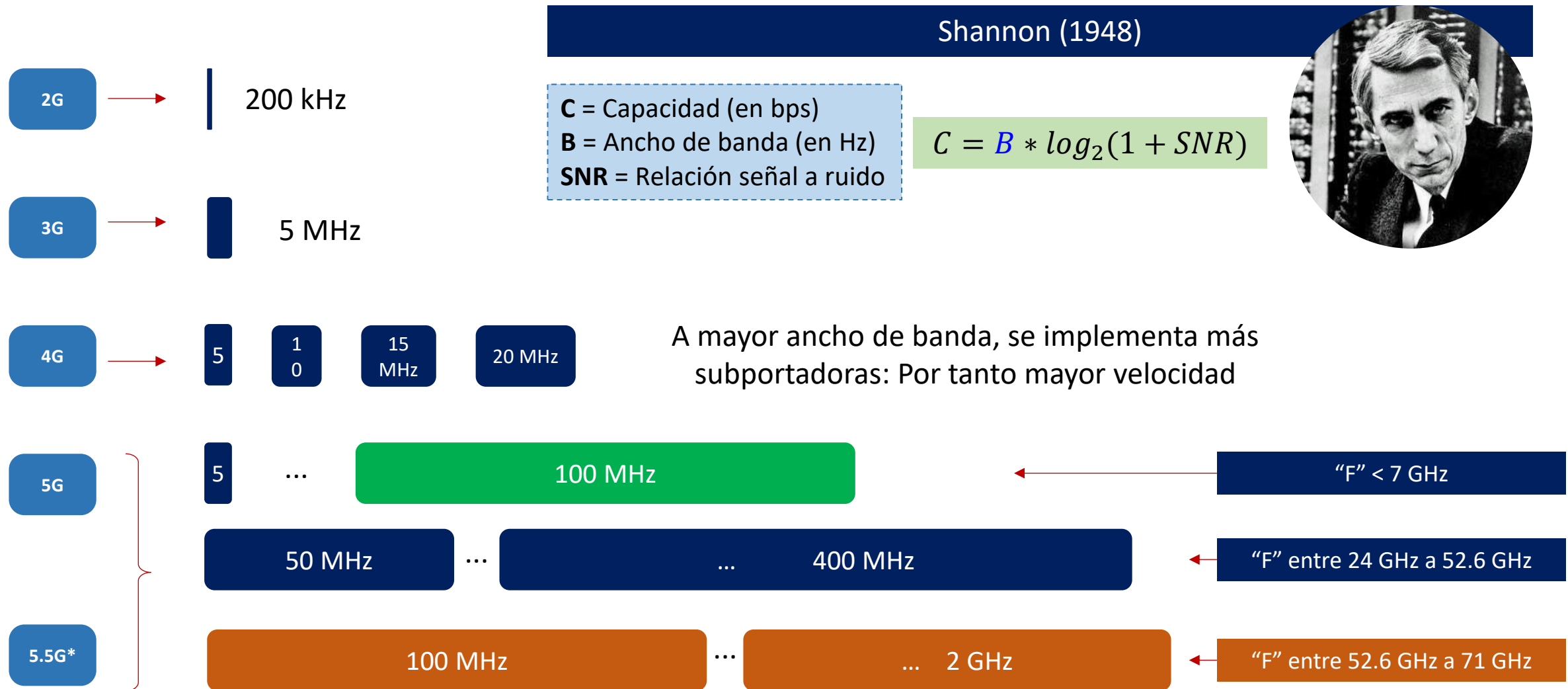
Recordar que el símbolo se transmite en un tiempo determinado. Si más bits se transmiten en una ventana de tiempo, se incrementa la tasa de transmisión

Con 5G-Advanced se tendrá 5 anillos de modulación



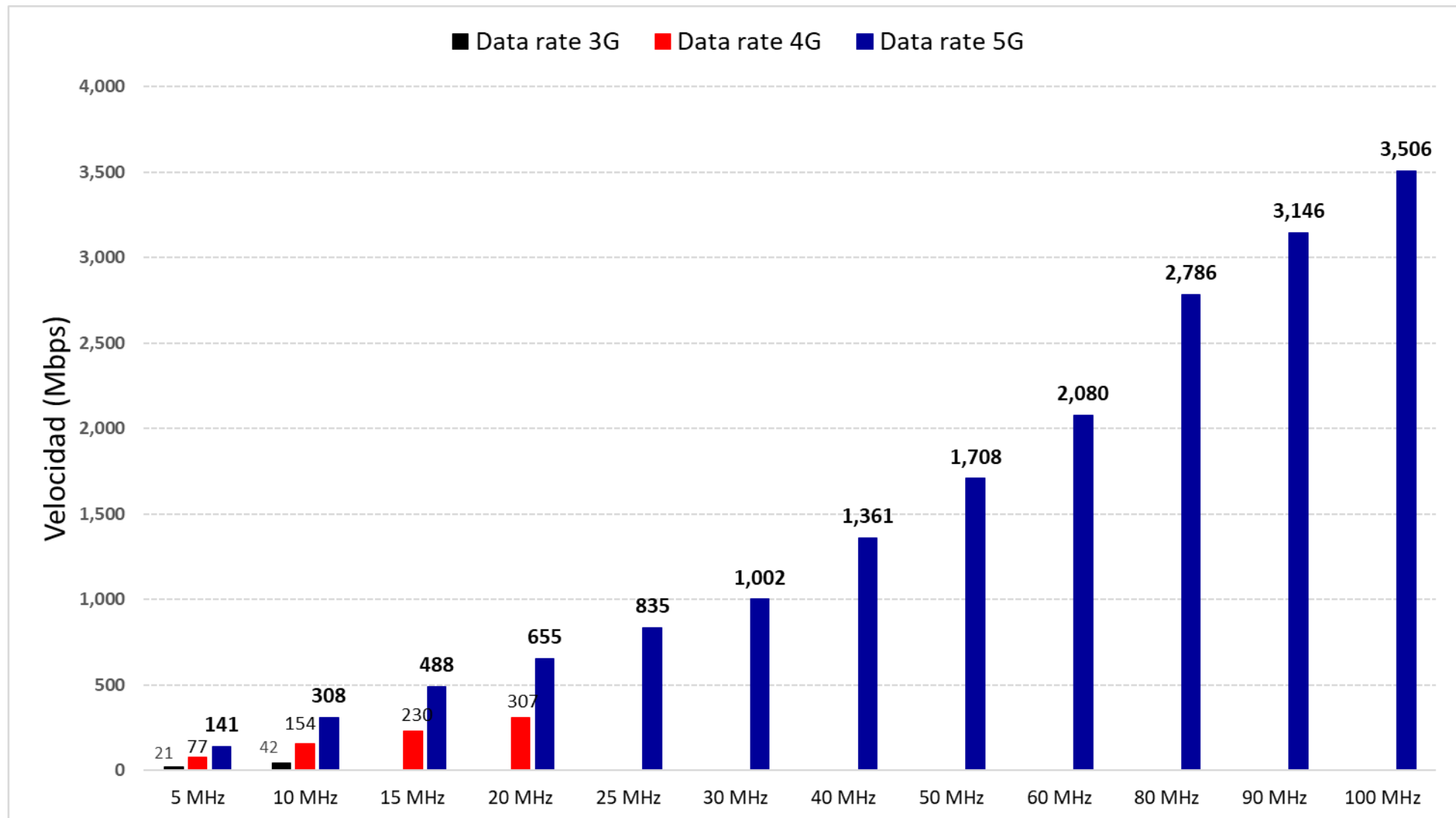
* Ícono de torre obtenido de: https://www.flaticon.com/free-icon/radio-tower_5955723

Y más importante, es el ancho de banda utilizado por cada portadora



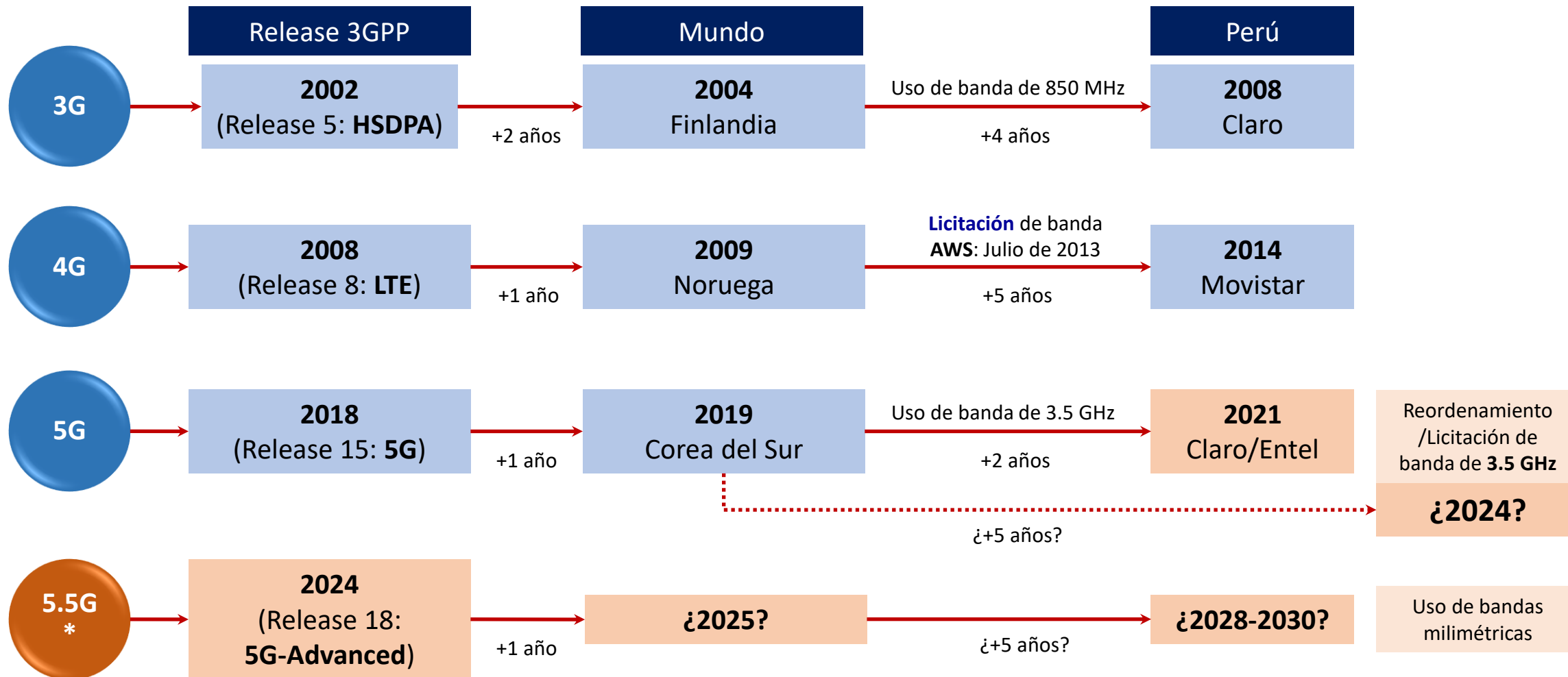
* El uso de las “Gs” es referencial.

A mayor ancho de banda (en Hz) mayor velocidad de acceso a Internet móvil



*Velocidades pico teóricas usando determinado parámetros de entrada. En entornos reales es menor debido a número de usuarios conectados, cercanía del usuario a la estación base, entre otros.
Para mayor detalle: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9486300>

Despliegue de tecnologías móviles en el Perú: Del 3G al 5.5G



* El uso de las "Gs" es referencial.

4G es una tecnología con 15 años de historia



2.- Espectro y velocidad de acceso a Internet Móvil: Caso Perú

Licitaciones 5G en LATAM

Chile
(Febrero
de **2021**)



700
MHz

+

1.7/
2.1
GHz

+

3.5
GHz

+

26
GHz

República
Dominicana
(Octubre
2021)



3.5
GHz

Brasil
(Noviembre
de **2021**)



700
MHz

+

2.3
GHz

+

3.5
GHz

+

26
GHz

Uruguay
(Mayo
de **2023**)



3.5
GHz

Argentina
(Octubre
de **2023**)



3.5
GHz

5G en LATAM (Noviembre 2023)



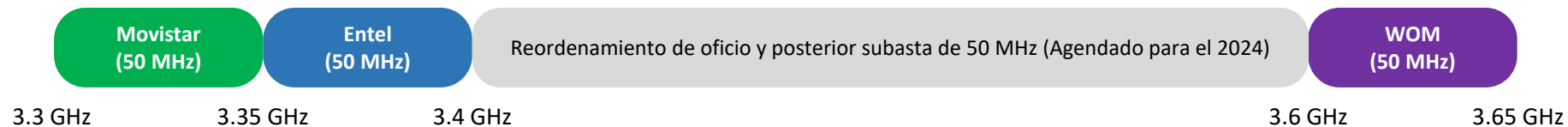
Elaborado con información de los procesos de licitación de los países mencionados

Mapa disponible en: <https://www.nperf.com/en/map/5g>

Resultados de la licitación de espectro en banda 3.5 GHz en América Latina



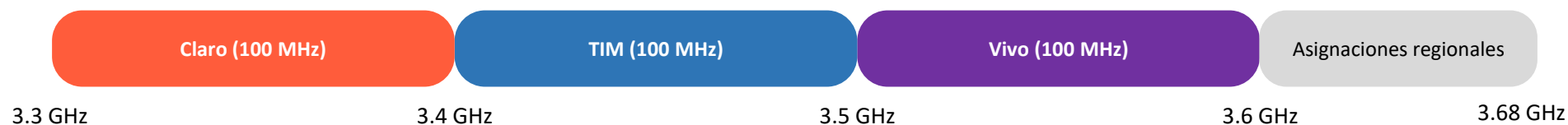
USD 348,7 millones



USD 73.8 millones



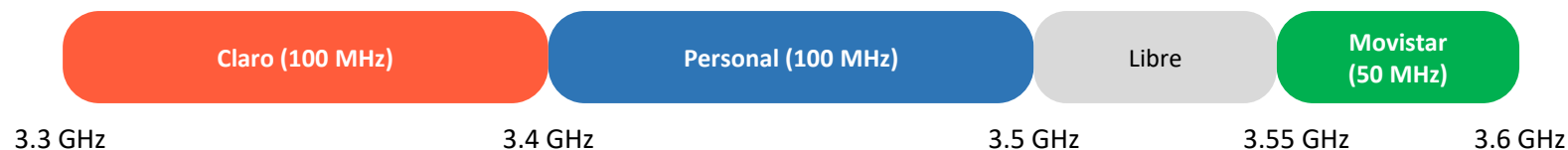
USD 275.6 millones



USD 56 millones

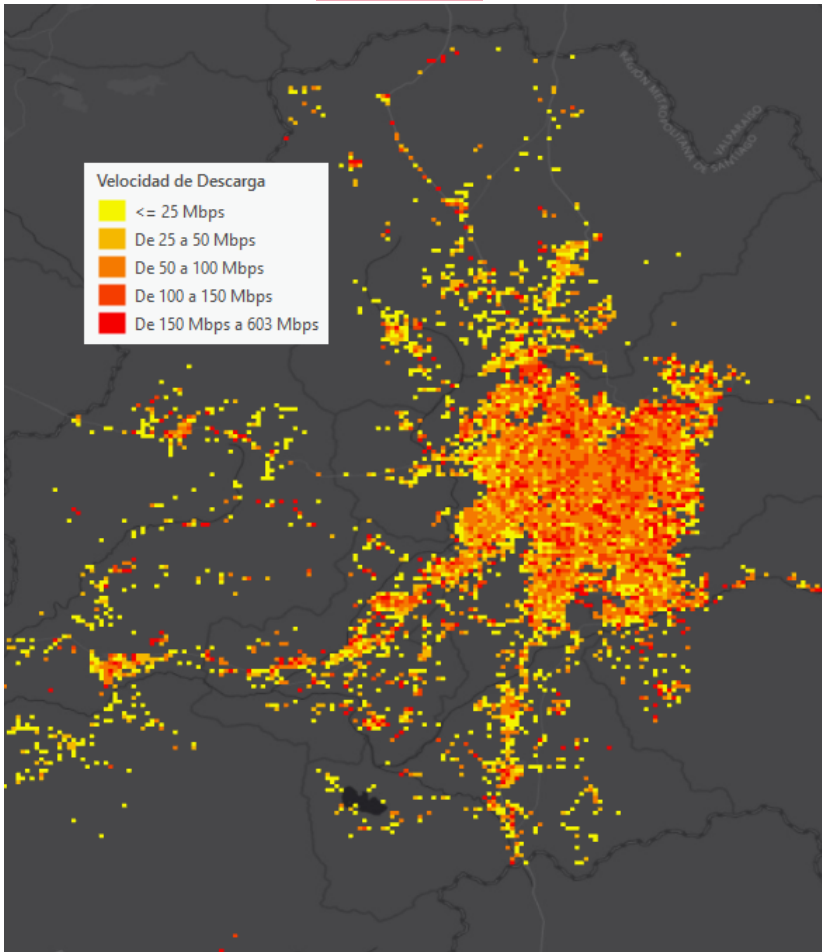


USD 875.1 millones

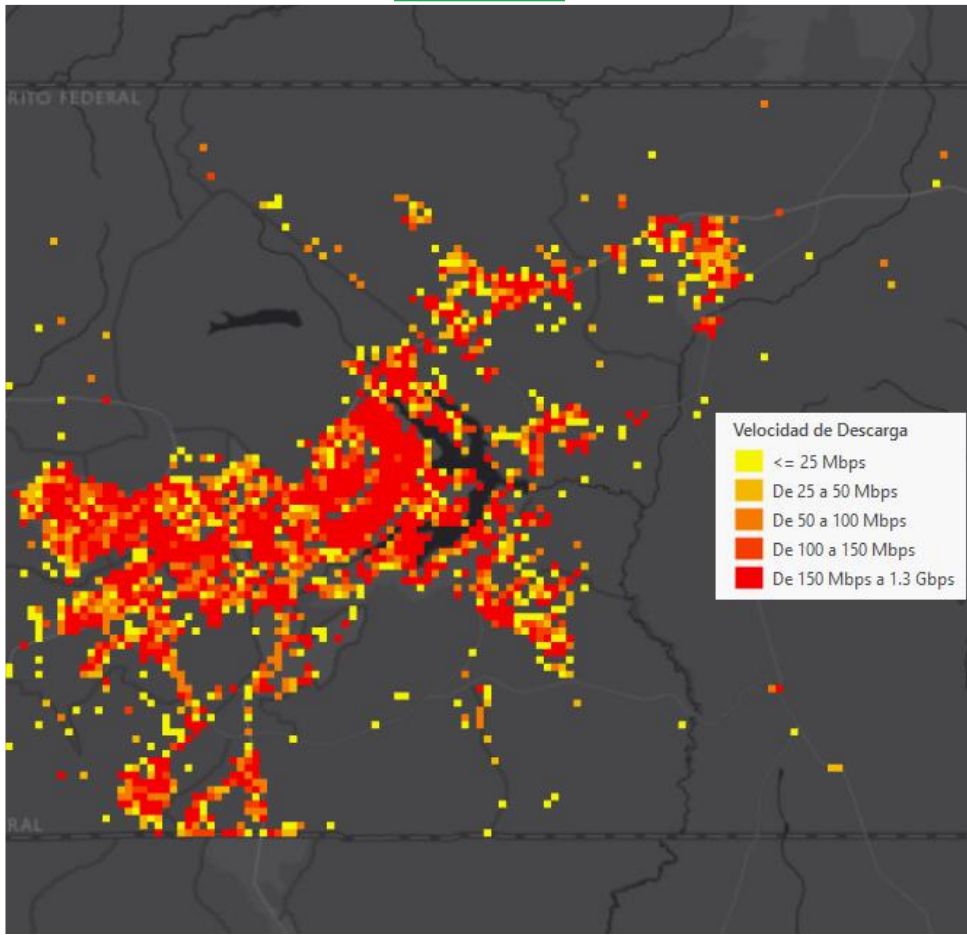


Elaborado con información de los procesos de licitación de los países mencionados

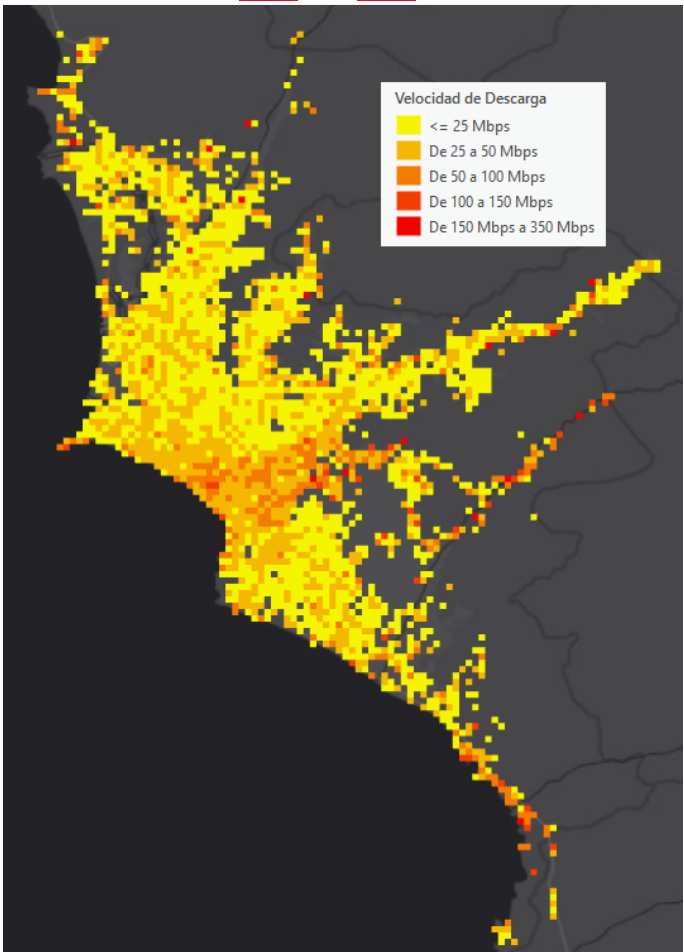
Se evidencia mayor velocidad en países que cuentan con espectro habilitado para 5G (Septiembre de 2023)



Región Metropolitana de Santiago

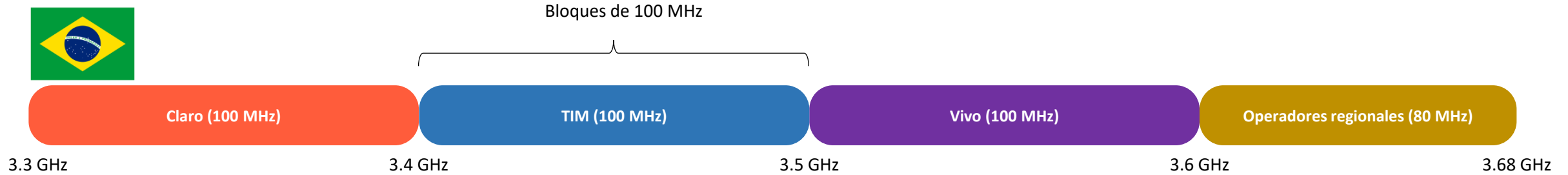


Brasilia (Distrito Federal)

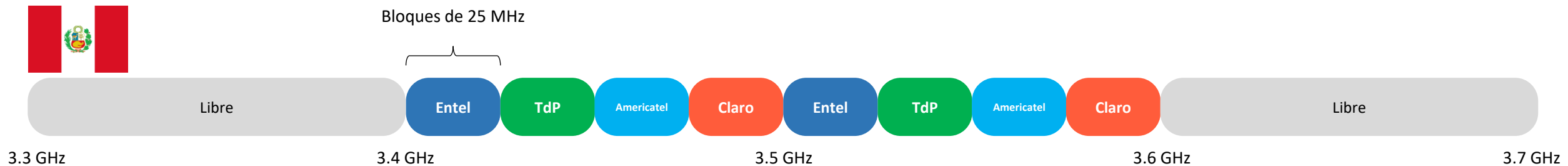


Lima Metropolitana y el Callao

Comparación de asignación de banda de 3.5 GHz en Brasil y Perú



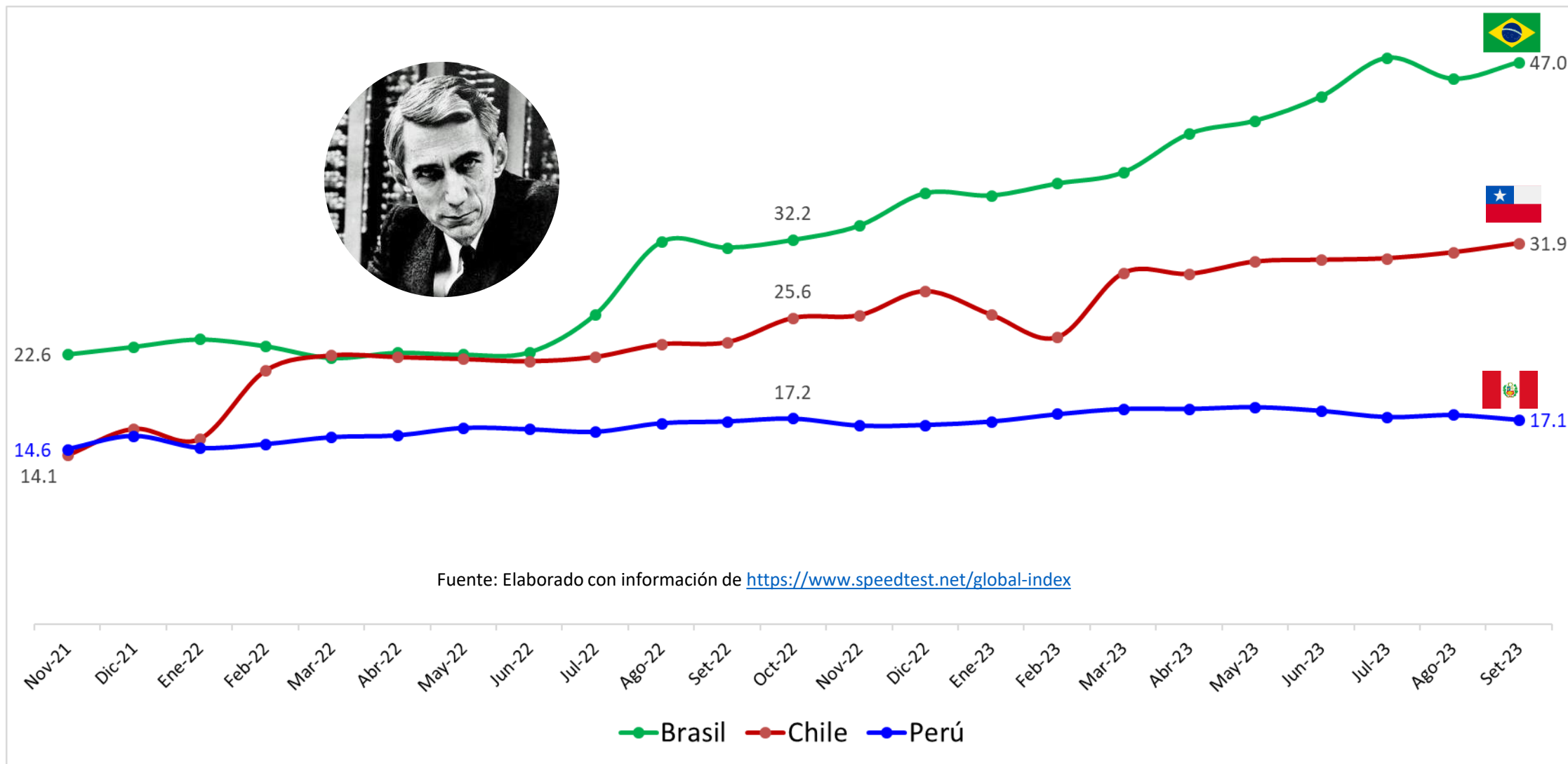
En la Banda 3.5 GHz, 5G opera en modo TDD (Duplexaje por División de Tiempo)



Se requiere reordenamiento de la banda 3.5 GHz

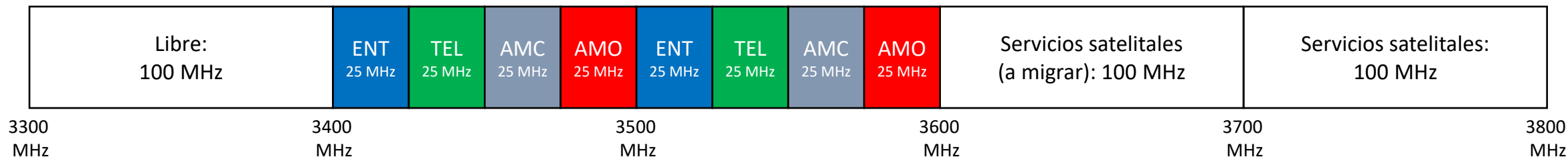
¿Los equipos actuales permiten configuración de portadoras 5G NR de **25 MHz**?

Impacto del despliegue de 5G en la velocidad de Internet Móvil

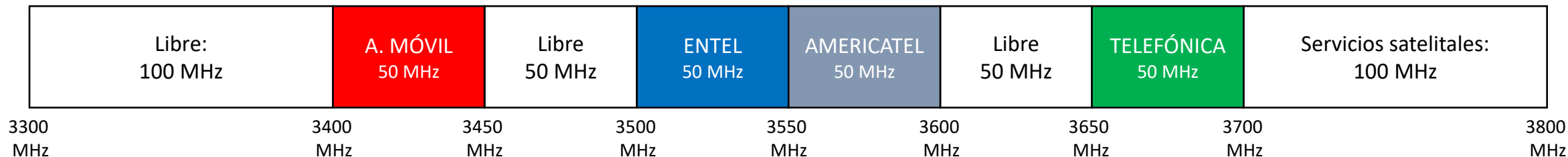


Reordenamiento de la banda de 3.5 GHz: Consulta pública MTC 2023

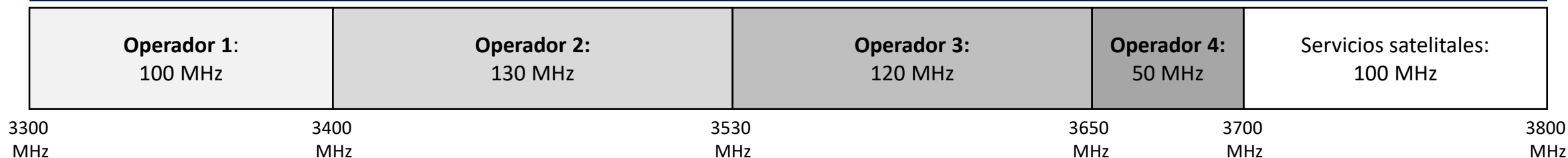
Estado actual de la banda de 3.3-3.8 GHz



1° escenario de reordenamiento

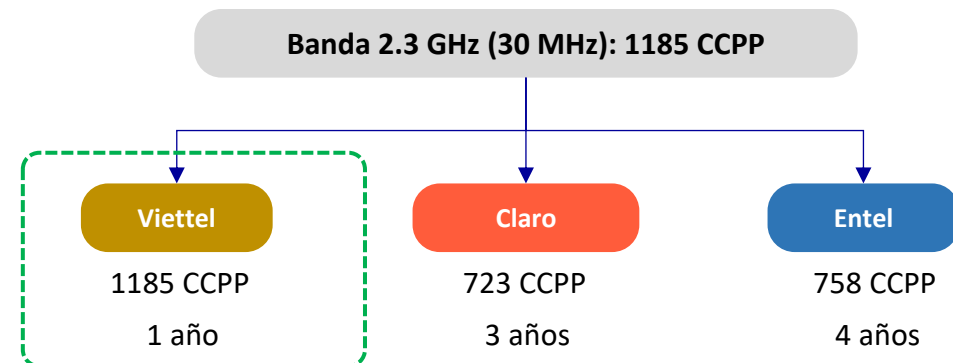
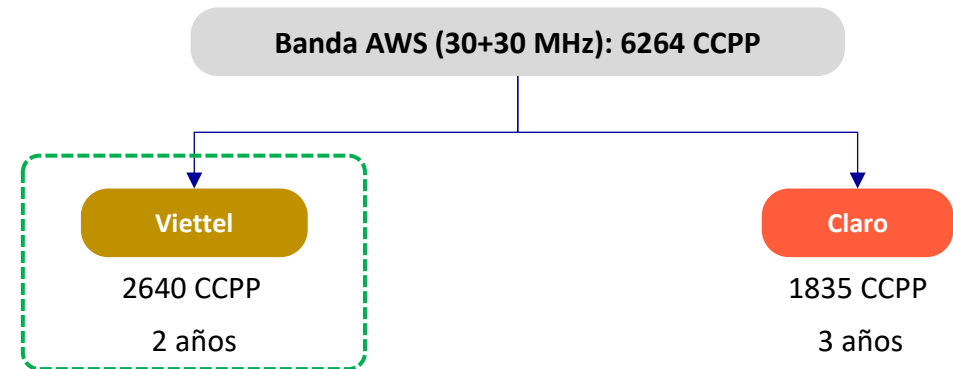
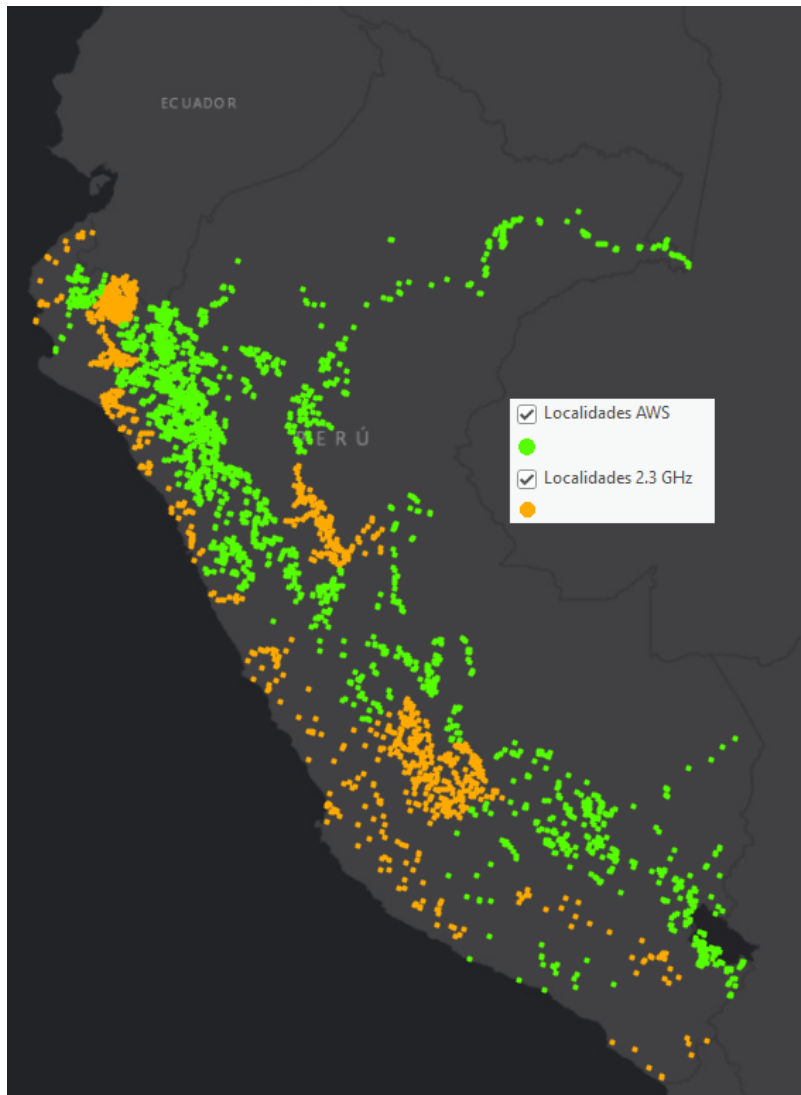


2° escenario de reordenamiento: Concurso y luego reordenamiento (Ejemplo)



Fuente: Elaboración propia usando los gráficos del informe publicado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC)
(<https://www.gob.pe/institucion/mtc/informes-publicaciones/4235551-propuestas-de-reordenamiento-y-concurso-en-la-banda-3-5-ghz-para-servicios-5g>)

Localidades que contarán con 4G producto de la reciente licitación de espectro

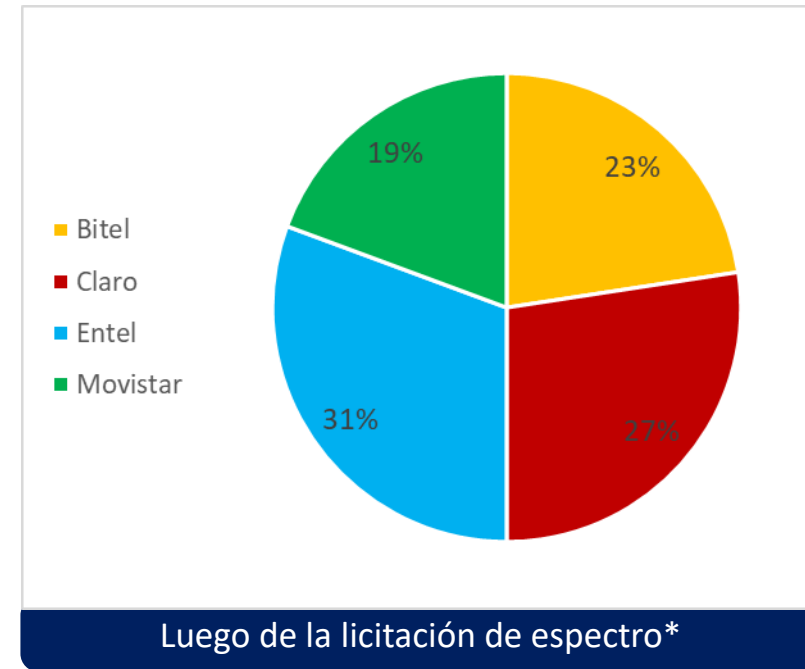
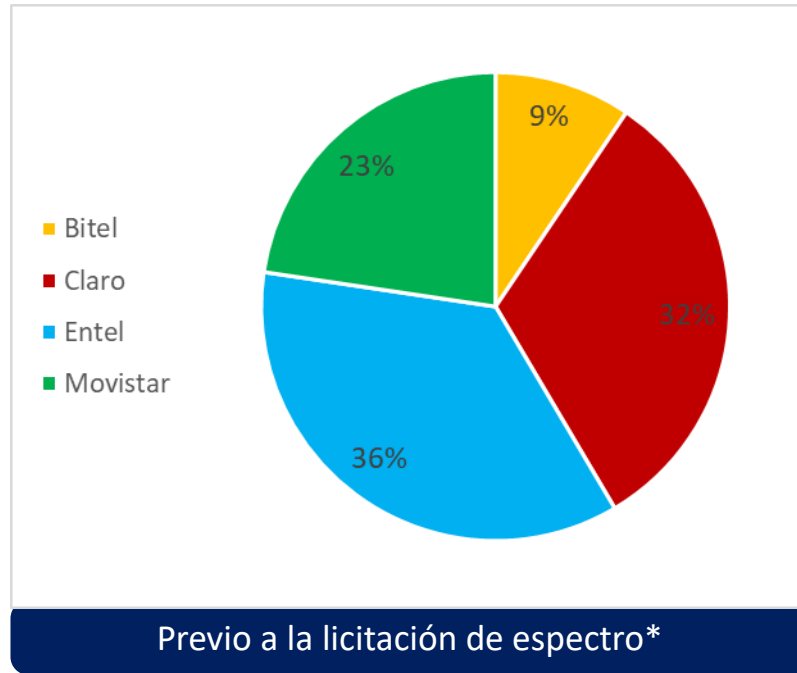


3825 nuevas localidades contarán con Internet Móvil 4G

El proyecto será desarrollado por Viettel Perú

Bandas de espectro para el despliegue de 4G en el Perú

El 10/06/2023 Viettel se adjudicó **90 MHz**: 30+30 MHz de la Banda AWS y 30 MHz de la Banda 2.3 GHz



* Las gráficas muestran el estado del espectro en Lima y Callao. Solo se considera el espectro utilizable (por ejemplo, si un operador tiene 16+16 MHz se consideran 15+15 MHz). Para mayor detalle revisar el Registro Nacional de Frecuencias.

Bandas de espectro para el despliegue de 4G en el Perú*

Banda 700 MHz

15 MHz

Entel

15 MHz

Claro

15 MHz

Movistar

15 MHz

Entel

15 MHz

Claro

15 MHz

Movistar

Banda 900 MHz

16 MHz

Viettel

16 MHz

Viettel

Banda 1900 MHz

15 MHz

Claro

12.5 MHz

Movistar

12.5 MHz

Entel

12.5 MHz

Viettel

15 MHz

Claro

12.5 MHz

Movistar

12.5 MHz

Entel

12.5 MHz

Viettel

Banda 1700/2100 MHz

20 MHz

Movistar

20 MHz

Entel

30 MHz

Viettel

20 MHz

Movistar

20 MHz

Entel

30 MHz

Viettel

Banda 2.3 GHz

30 MHz

Viettel

30 MHz

Libre

30 MHz

Entel

Banda 2.6 GHz

30 MHz

Claro

20 MHz

Entel

20 MHz

Libre

20 MHz

Libre

20 MHz

Claro

30 MHz

Claro

20 MHz

Entel

20 MHz

Libre

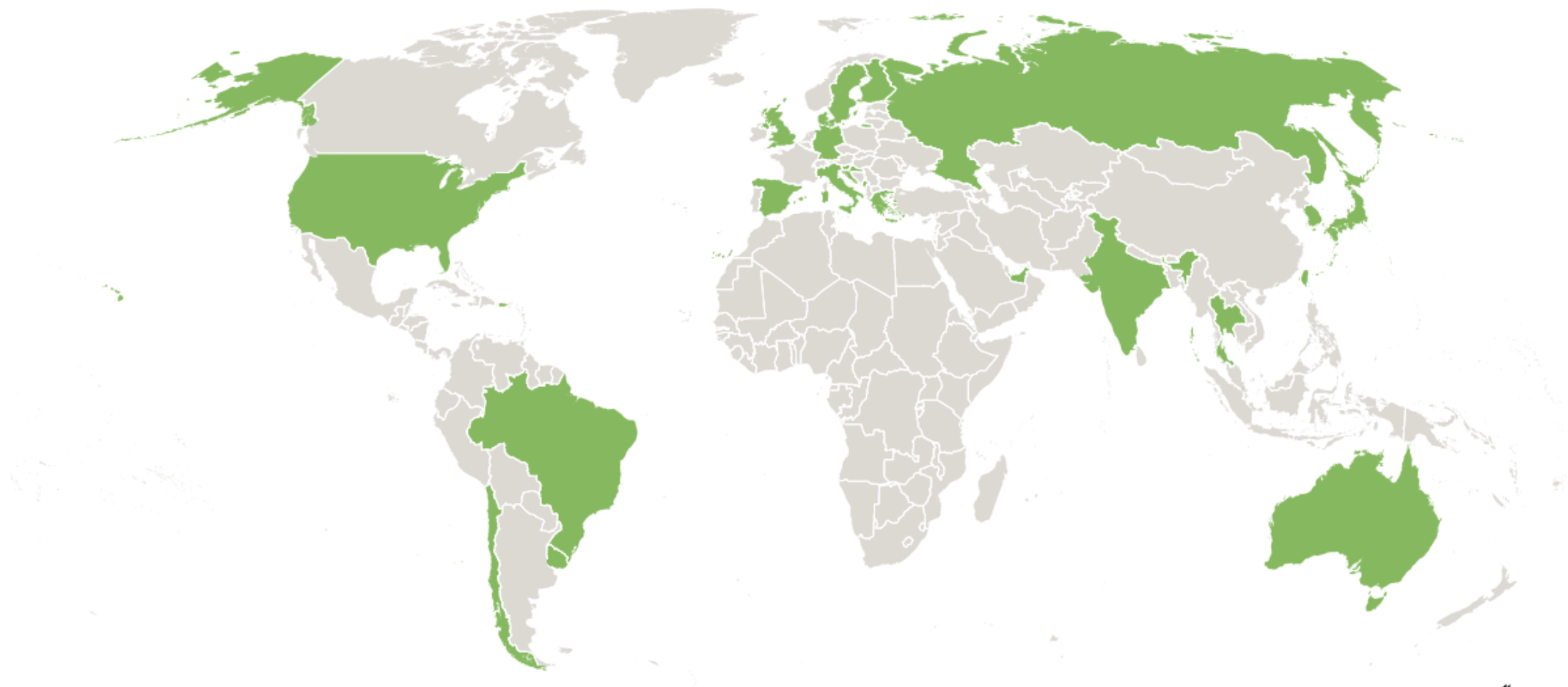
Fuente: Se muestra para Lima y Callao, para mayor detalle revisar el Registro Nacional de Frecuencias (Perú)



3.- Presente y futuro: Bandas milimétricas (mmWave)

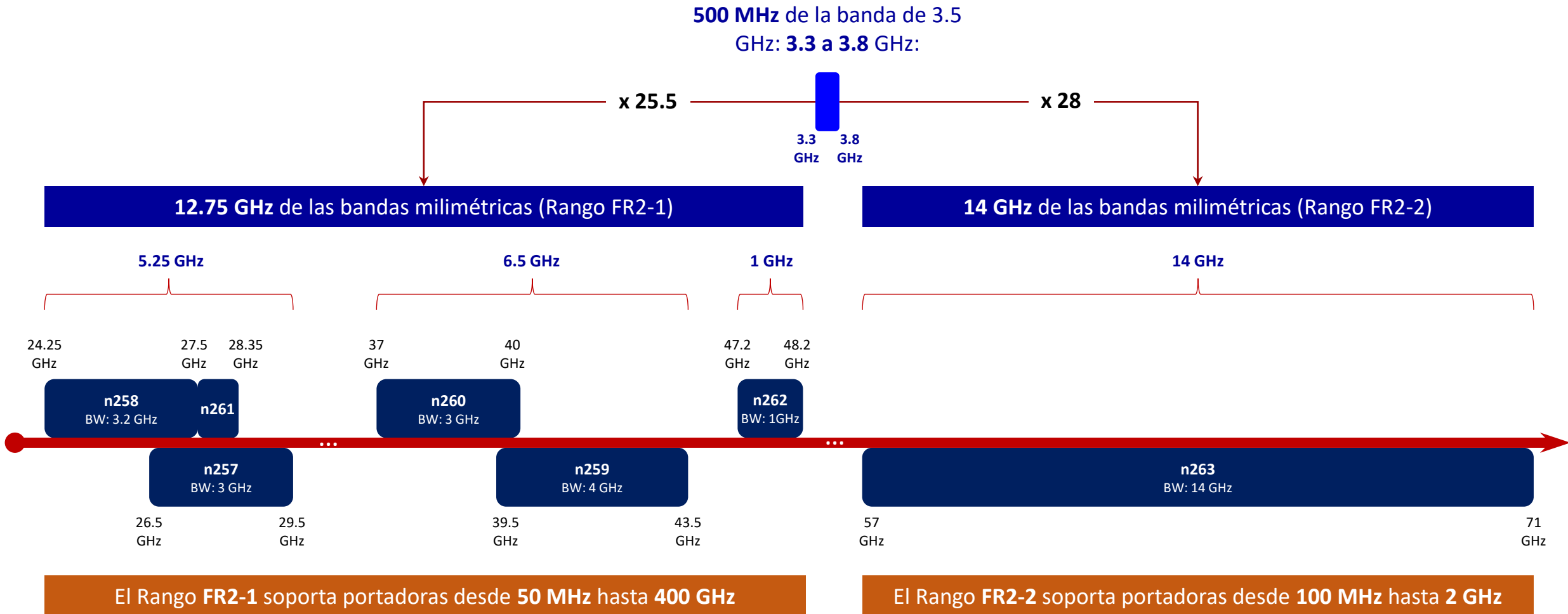
Estado de la asignación de bandas milimétricas (2023)

mmWave Spectrum Auctions Worldwide GSA, Ookla® Analysis



Fuente: OOKLA <https://www.ookla.com/articles/mmwave-spectrum-gigabit-speeds-us-q1-2023>

Banda de 3.5 GHz vs Bandas milimétricas



Elaboración: Ing. Javier More usando información del Grupo 3GPP (3GPP TS 38.104 V17.9.0)

Ejemplo de smartphones que soportan bandas milimétricas

24.25
GHz

27.5
GHz

**n258 (Banda de
26 GHz)**
BW: 3.2 GHz

37
GHz

40
GHz

n260
BW: 3 GHz

27.5
GHz

28.35
GHz

n261
0.85G



iPhone 12
n260 y n261



iPhone 13
n258, n260 y n261



iPhone 14
n258, n260 y n261



iPhone 15
n258, n260 y n261



Galaxy S22
n260 y n261

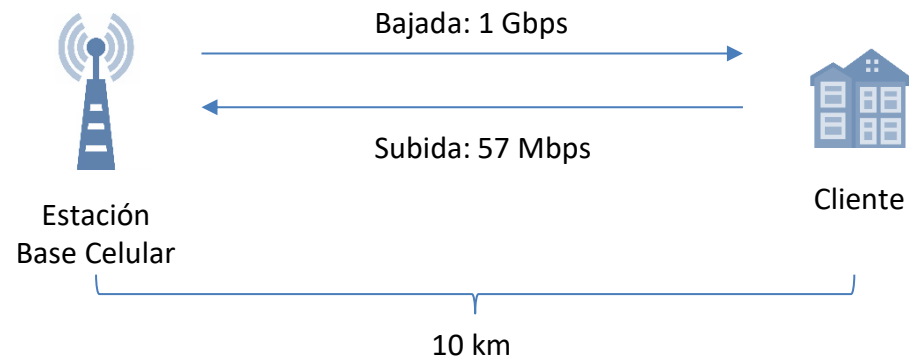


Galaxy S23
n258, n260, n261

Modelos y marcas referenciales. Imágenes y especificaciones técnicas obtenidas de: <https://www.gsmarena.com>

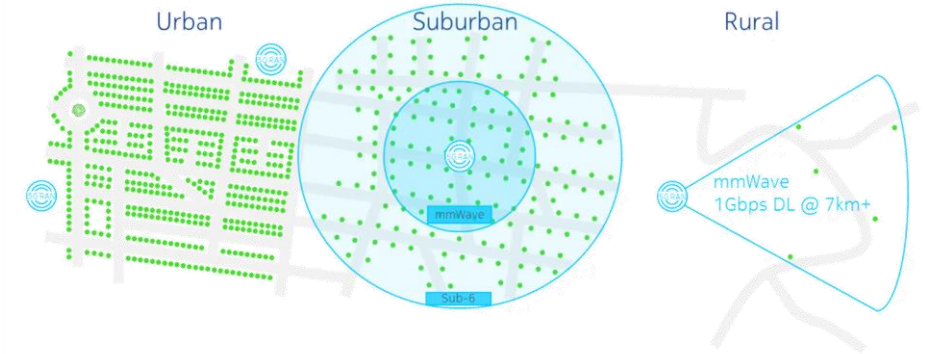
Bandas milimétricas para Internet Fijo inalámbrico (FWA)

Banda de 28 GHz: NOKIA en alianza con QUALCOMM y USCellular han logrado tener servicio hasta en 10 km

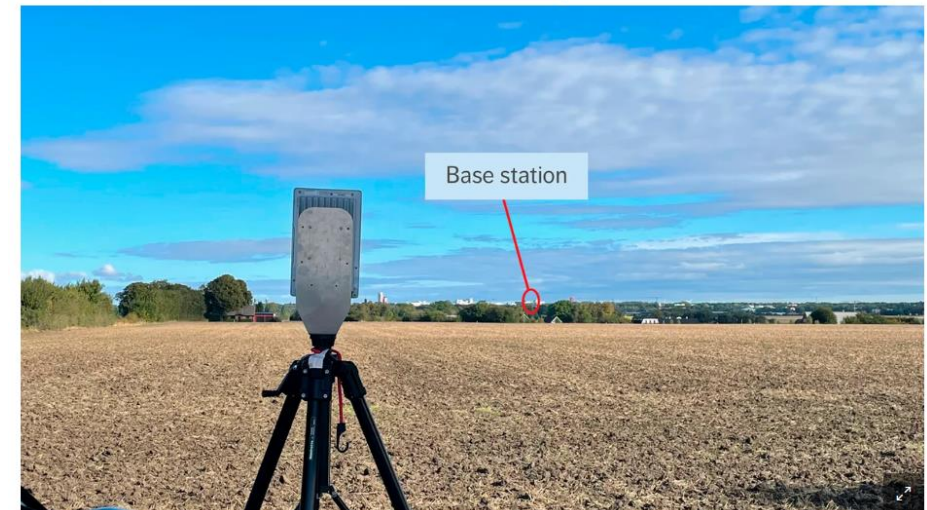


*Approximate locations as base station not visible

1 Gbps hasta 7 km

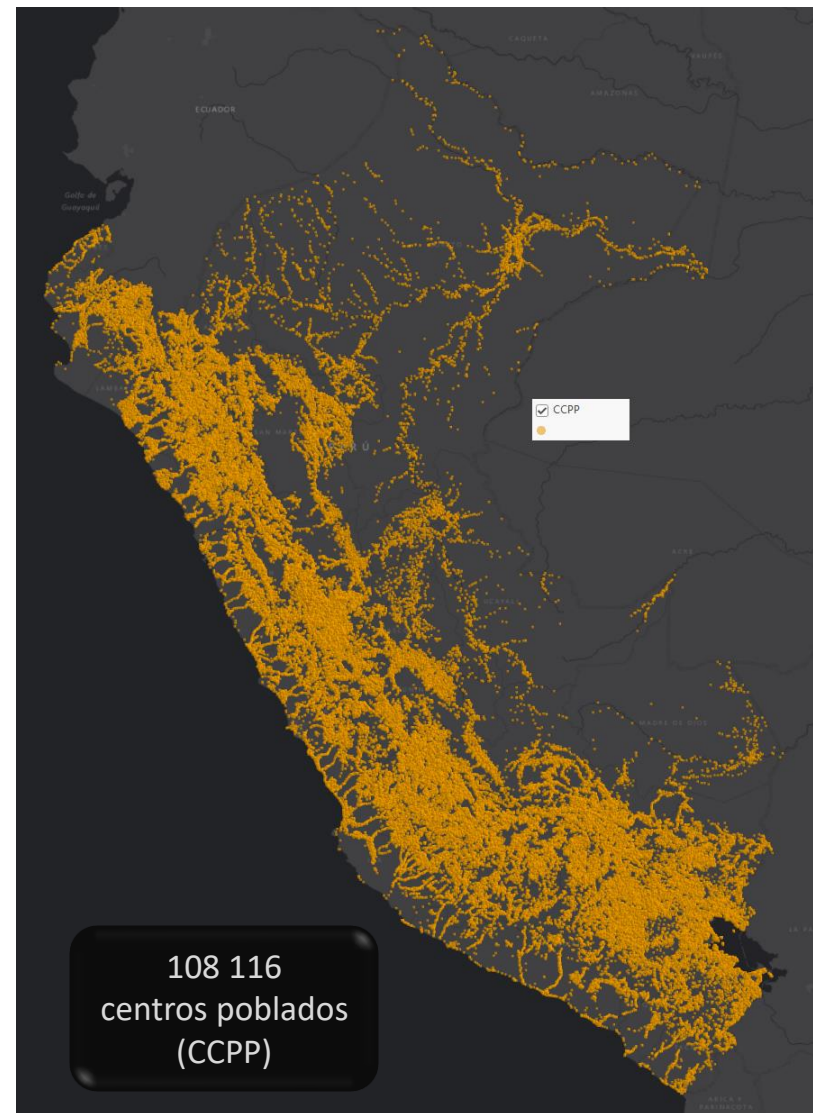
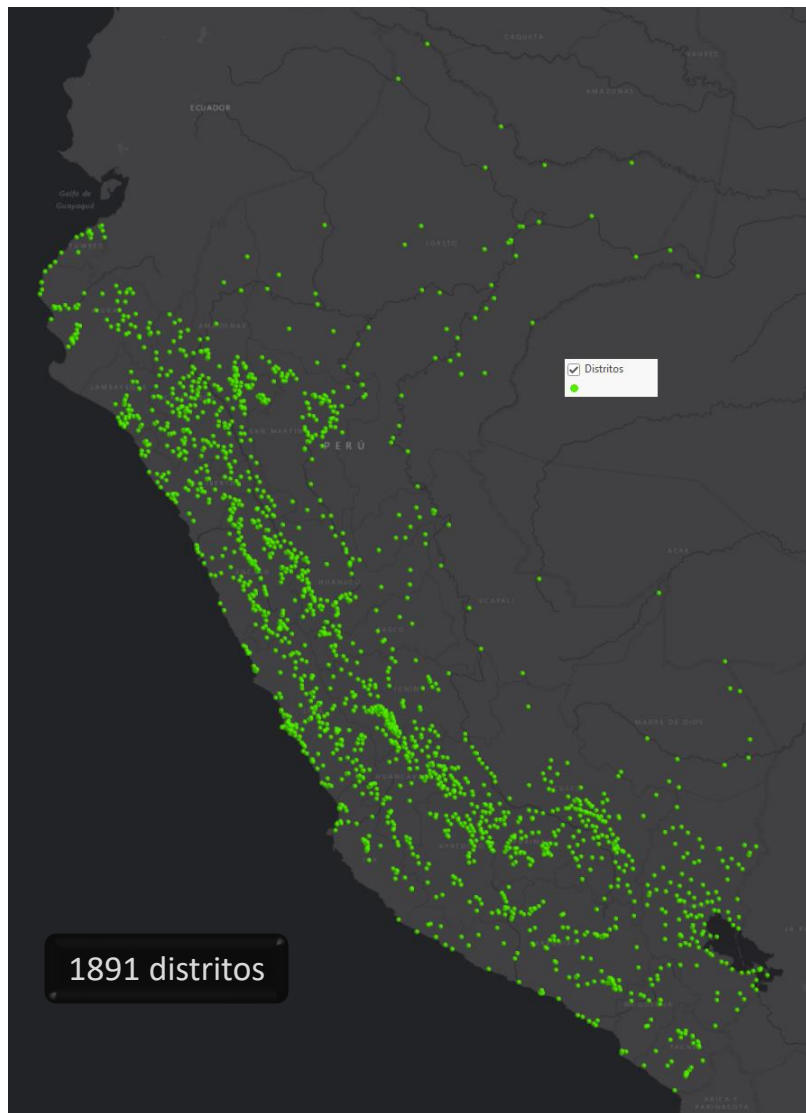
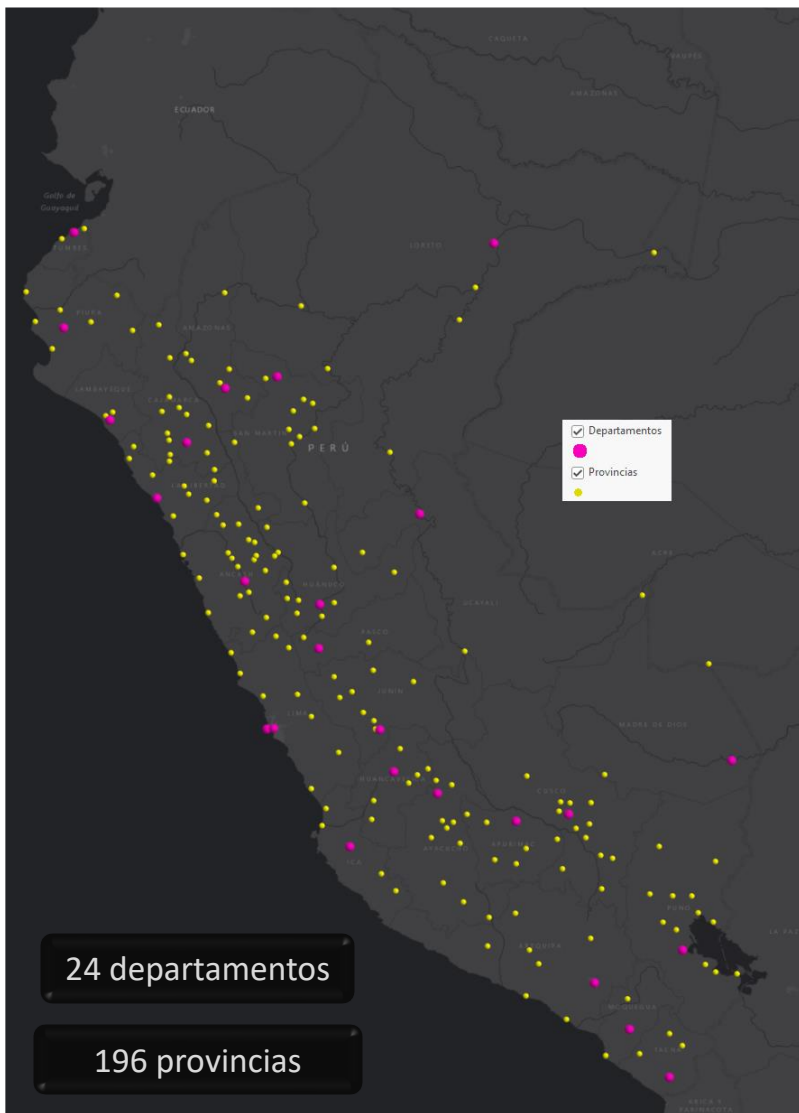


Our field testing showed that in the right conditions, it is possible to achieve DL data rates larger than 1Gbps at a cell range beyond 7km in mmWave frequencies.



Fuentes: <https://www.nokia.com/networks/technologies/mmwave-fwa>
<https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/ericsson-technology-review/articles/closing-the-digital-divide-with-mmwave-extended-range-for-fwa>
<https://www.nokia.com/networks/radio-access/airscale/mmwave-radio>
<https://www.qualcomm.com/news/releases/2021/06/08/nokia-qualcomm-and-uscellular-hit-extended-range-5g-world-record-over>
<https://www.ericsson.com/en/news/2020/12/mmwave-speed-distance-record>

Perú: Más de 30 millones de habitantes distribuidos en 108 mil Centros Poblados



Material de lectura

- Estado del **espectro radioeléctrico** en el Perú y recomendaciones para promover su uso en nuevas tecnologías. Documento de Trabajo N° 43

<https://repositorio.osiptel.gob.pe/handle/20.500.12630/390>

- Las **redes de transporte** de fibra óptica, microondas y satelital y su rol para promover la expansión de la cobertura de los servicios públicos de telecomunicaciones: reporte y mapas de cobertura. Documento de Trabajo N° 49

<https://repositorio.osiptel.gob.pe/handle/20.500.12630/745>

- Estimación del número de **estaciones base celular** para atender la demanda de servicios móviles en el Perú al año 2025, Documento de Trabajo N° 50

<https://repositorio.osiptel.gob.pe/handle/20.500.12630/746>

- Estado de la infraestructura de la red de transporte (backhaul) y efecto del despliegue de **infraestructura de acceso** en la velocidad de Internet móvil

<https://repositorio.osiptel.gob.pe/handle/20.500.12630/823>

- Mobile revolution: From **2G** to **5G**

<https://ieeexplore.ieee.org/document/9486300>

- Asignación de bandas de **espectro radioeléctrico** en el Perú en un escenario de nuevas tecnologías.

<https://repositorio.up.edu.pe/handle/11354/3003>



The header image shows a man, Javier More Sanchez, standing in front of several large white satellite dishes. A circular profile picture of him in a suit is overlaid on the left. The LinkedIn logo is in the top right corner.

Javier More Sanchez ✓
Ing. Electrónico | Mag. Telecomunicaciones | Mag. Regulación SSPP |
Ms. Gestión de Infraestructuras

Peru · **1,766 followers** · **500+ connections**

 Universidad de Lima
 Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Muchas gracias

jmore@ieee.org

29 de agosto de 2024

Off topic: Procesamiento de dataset de CCPP de Perú (Python + Geopandas)



ArcGIS Pro



```
#### Extracción de información de CCPP de Perú V1.0
#### By: Ing. Javier More - Mayo de 2023
import pandas as pd
import requests
import zipfile
import io
import geopandas as gpd #De ser necesario se debe instalar desde el CMD: pip install geopandas
import matplotlib.pyplot as plt
import contextily as ctx

#Se indica el URL en el que se encuentra el archivo.
url = "https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/4544636/Anexos.zip?v=1683816217"
#Se le indica cual es el nombre del archivo
archivo_CCPP = "informe001-ce-ccpp-2023-anexo-04.pdf.xlsb"
#Usamos REQUEST para descargar el archivo ZIP
consulta = requests.get(url)
zip = zipfile.ZipFile(io.BytesIO(consulta.content))
#Se descomprime todos los archivos contenidos en ZIP
zip.extractall()
#Creamos un Dataframe cuando se contiene el archivo_CCPP
df = pd.read_excel(archivo_CCPP, engine="pyxlsb")
df['COORD_X'] = df['COORD_X'].apply(lambda x: -x if x > 0 else x) #Se corrige un error en la coordenada.
#df = df.sort_values(by='COORD_X', ascending=False) #Esta línea solo es para verificar que no se escapen valores positivos en las coordenadas.
#Algunos CCPP estan catalogados como NA, se sugiere reemplazarlo como RURAL
df['CLASIFICACION DE AREA'] = df['CLASIFICACION DE AREA'].replace('NA', 'RURAL')
df.columns = ['UBIGEO', 'UBIGEO_ANT', 'DPTO', 'PROV', 'DIST', 'CCPP', 'CATEGORIA', 'CATEGORIA_2', 'CAP', 'VIVIENDAS', 'HABITANTES', 'Y', 'X', 'TIPO']
#####
# El siguiente código es para eliminar los archivos que se guardaron previamente en el disco duro (Luego de descomprimir). Este paso es OPCIONAL.
import os
for archivo in zip.namelist():
    ruta_archivo = os.path.join(archivo)
    os.remove(ruta_archivo)
#####
df #Permite visualizar el DF.

gdf = gpd.GeoDataFrame(df, geometry=gpd.points_from_xy(df['X'], df['Y']))
gdf.crs = 'epsg:4326' #Se define un sistema de referencia.
gdf_urbano = gdf[gdf['TIPO'] == 'URBANO']
gdf_rural = gdf[gdf['TIPO'] == 'RURAL']
fig, ax = plt.subplots(figsize=(15, 15))
#ctx.add_basemap(ax, crs=gdf.crs.to_string(), source=ctx.providers.Stamen.Terrain)
gdf_rural.plot(ax=ax, color='green', markersize=4, label='Rural')
gdf_urbano.plot(ax=ax, color='blue', markersize=4, label='Urbano')
ax.legend(fontsize='medium')
ax.set_title('CCPP Urbanos y Rurales', fontsize=20, fontweight='bold', color = '#101b6f')
#Para una mejor visualización se sugiere eliminar los ejes:
ax.set_axis_off()
plt.show()
```



CCPP Urbanos y Rurales

• Rural
• Urbano

