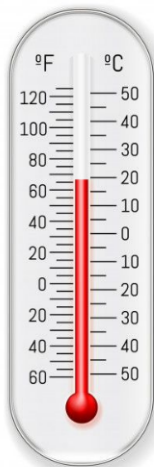


¿Qué Hay De Novedoso En Las Redes De Las Cosas?

Cecilia Galarza

CSC-CONICET/FIUBA

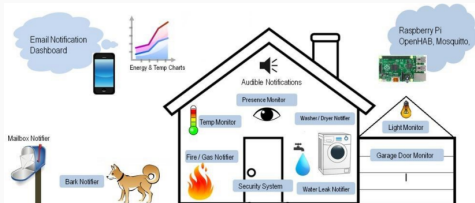
Hace frío?



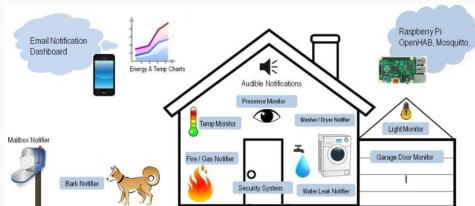
Hace frío?



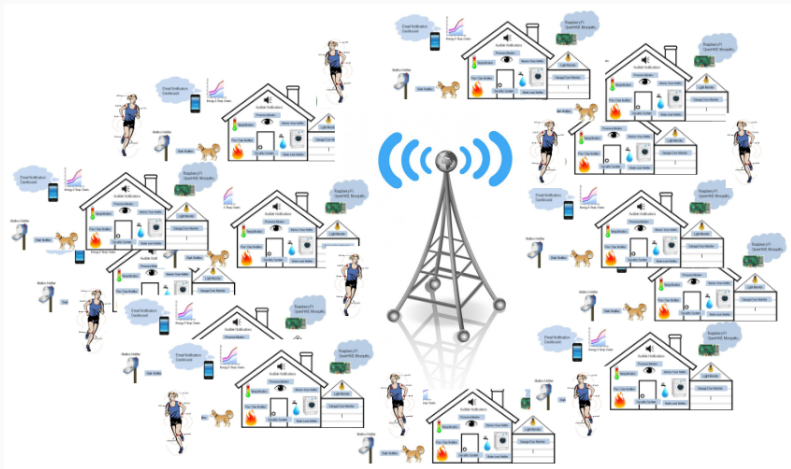
Red de sensores



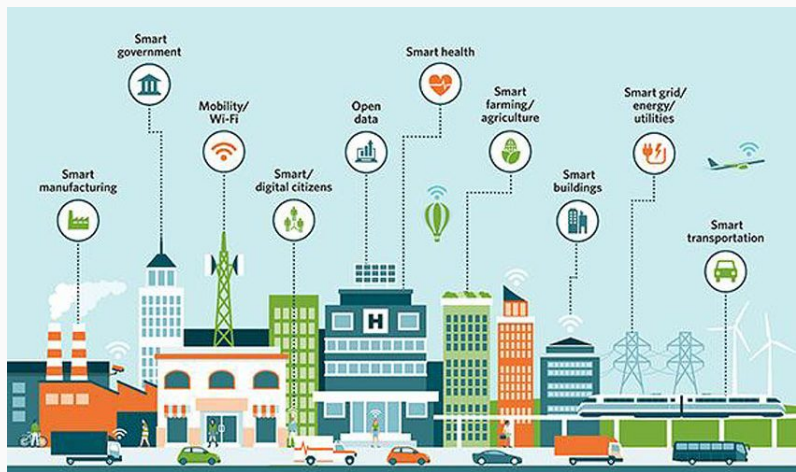
Red de sensores



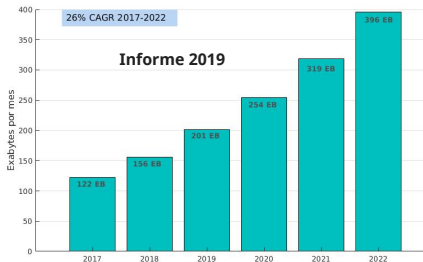
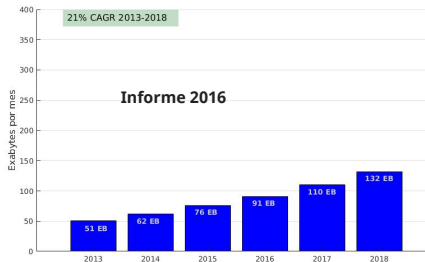
Red de sensores



... SMART!!



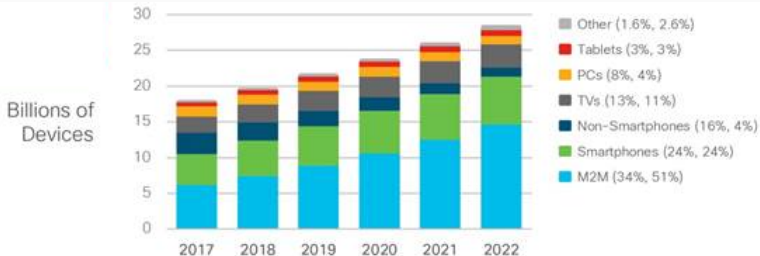
Cisco Visual Networking Index: Forecast and Trends



CAGR: Compound Annual Growth Rate

(EB = 10^{18} bytes!!!)

Cisco Visual Networking Index: Forecast and Trends



* Figures (n) refer to 2017, 2022 device share

Source: Cisco VNI Global IP Traffic Forecast, 2017-2022

Licensed U.S. spectrum allocations

Service system	Frequency span
AM radio	535 - 1605 kHz
FM radio	88 - 108 MHz
Broadcast TV (channels 2 - 6)	54 - 88 MHz
Broadcast TV (channels 7 - 13)	174 - 216 MHz
Broadcast TV (UHF)	470 - 806 MHz
LTE Band 71 (NB-IoT)	600MHz
LTE Band 12 (NB-IoT)	700MHz
Broadband wireless	746 - 764 MHz, 776 - 794 MHz
LTE Band 26 (NB-IoT)	850MHz
3G broadband wireless	1.7 - 1.85 MHz, 2.5 - 2.69 MHz
1G and 2G digital cellular phones	806 - 902 MHz
LTE Band 4 (NB-IoT)	1700MHz
Personal communication systems (2G cell phones)	1.85 - 1.99 GHz
Wireless communications service	2.305 - 2.32 GHz, 2.345 - 2.36 GHz
Satellite digital radio	2.32 - 2.325 GHz
Multichannel multipoint distribution service (MMDS)	2.15 - 2.68 GHz
Digital broadcast satellite (satellite TV)	12.2 - 12.7 GHz
Local multipoint distribution service (LMDS)	27.5 - 29.5 GHz, 31 - 31.3 GHz
Fixed wireless services	38.6 - 40 GHz

Unlicensed spectrum allocations

Band	Frequency
ISM band (Sigfox, Lora Europe)	868 MHz
ISM band I (cordless phones, 1G WLANs, Sigfox, Lora US)	902 - 928 MHz
ISM band II (Bluetooth, 802.11b and 802.11g WLANs)	2.4 - 2.4835 GHz
ISM band III (wireless PBX)	5.725 - 5.85 GHz
U-NII band I (indoor systems, 802.11a WLANs)	5.15 - 5.25 GHz
U-NII band II (short-range outdoor systems, 802.11a WLANs)	5.25 - 5.35 GHz
U-NII band III (long-range outdoor systems, 802.11a WLANs)	5.725 - 5.825 GHz

Ambas tablas del libro [Wireless Communication](#) por Andrea Goldsmith

Internet of Things



IoT más que sensores y análisis de datos

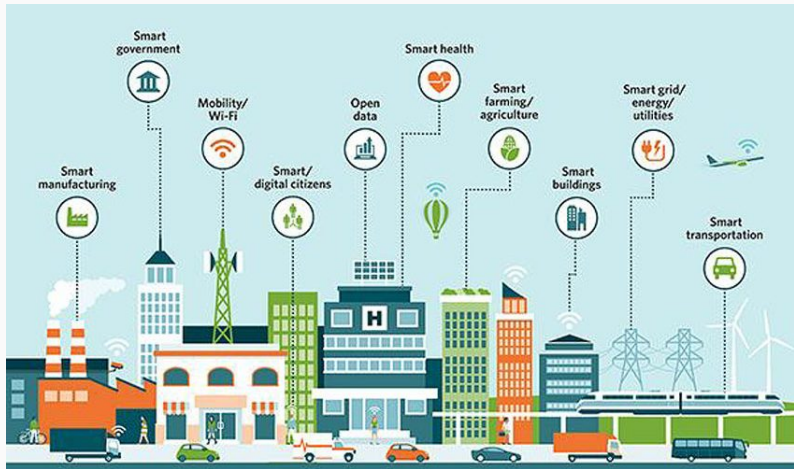
Internet of Things



IoT más que sensores y análisis de datos

IoT: Nuevo sistema de comunicación

Internet of Things



Internet of Things

Aplicaciones

- Tolerantes a retardos

- Poca información por mensaje

- Mensajes esporádicos

- Despliegue masivo de costo controlado

Internet of Things

Aplicaciones

Tolerantes a retardos

Poca información por mensaje

Mensajes esporádicos

Despliegue masivo de costo controlado

Massive - Machine Type Communication

Smart meters, Agricultura de precisión, Seguimiento de stock, etc

Internet of Things

Sistema de comunicación para:

Largo alcance espacial

Baja tasa de transmisión

Bajo consumo de energía

Baja complejidad de los nodos

Internet of Things

Sistema de comunicación para:

Largo alcance espacial

Baja tasa de transmisión

Bajo consumo de energía

Baja complejidad de los nodos

Low Power Wide Area Network

Desafíos:




Atender alta densidad de dispositivos

Medio de transmisión desventajoso

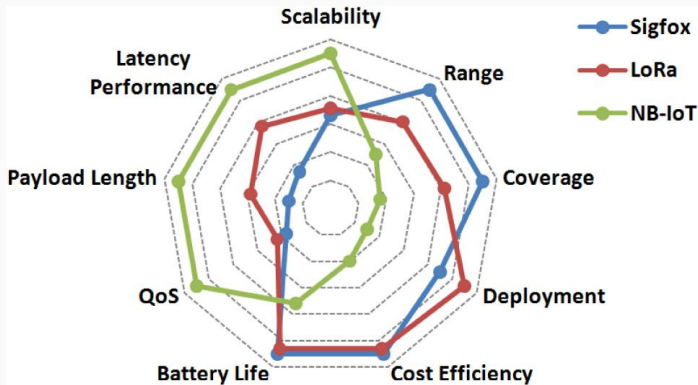
Área de cobertura extendida

Duración de batería por 10 años

Comparaciones odiosas

			
Modulación	BPSK	CSS	QPSK
Frecuencia	Bandas ISM (868 MHz Europa, 915 MHz USA)	Bandas ISM (868 MHz Europa, 915 MHz USA)	Bandas LTE
Ancho de banda	100 Hz	250 kHz y 125 kHz	200 kHz
Tasa máxima	100 bps	50 kbps	200 kbps
Máximo payload (bytes)	12 (UL), 8 (DL)	40 < .. < 243	1600
Alcance ciudad	10 km	5 km	1 km (o más)
Alcance rural	40 km	20 km	10 km (o más)
FEC	No	Si	Si
Cantidad de nodos	≤50K	≤50K	≤100K

Comparaciones odiosas



K. Mekki, E. Bajic, F. Chaxel, F. Meyer, ICT Express 5 (2019) 1-7

Problema para desarrollo: estandarización e interoperabilidad

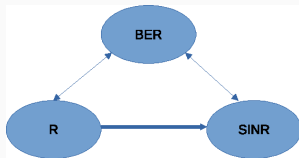
Nueva estrategia de comunicación

Paquetes pequeños, infrecuentes, tolerantes a retardos

A diferencia de altas tasas con baja latencia

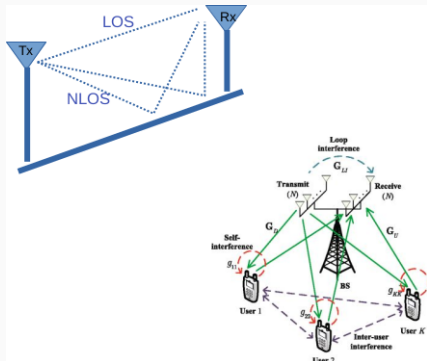
Fundamentos...

Com. Digitales



Codificación de canal

Com. Inalámbricas



Desvanecimiento y acceso múltiple

Qué suma IoT?

Consumo de energía en un nodo

$$E_{nodo} = E_{TX} + E_{RX} + E_{sleep},$$

$$E_{TX} = P_{TX}T_d,$$

$$T_d = \frac{M}{B}\tau,$$

$\tau \sim$ aleatorio(BLER, colisión paquetes)

NB-IoT: Adaptación de enlace

MCS: Modulation Coding Scheme

Señalización y FEC

NR: Number of Repetitions

SNR efectivo

RU: Resources Units

Objetivo: Elegir (MCS, NR)

Uplink: UE \rightarrow BS

Luego de asignación de recursos (RU en tiempo y frecuencia)

1. En UE:

Transmit

2. En BS:

BLER = *CalculoError*

SNR = *CalculoSNR*

3. En BS:

$(MCS, NR) = Link(SNR, BLER_{target}, RU)$

Algunas estrategias para NB-IoT

Si $BLER > BLER_{target}$

MCS-NR: MCS ↓, luego NR ↑.

NR-MCS: Primero NR ↑

MCS: NR tiene un valor fijo

NR: MCS tiene un valor fijo

MCS & NR: Ajuste alternado

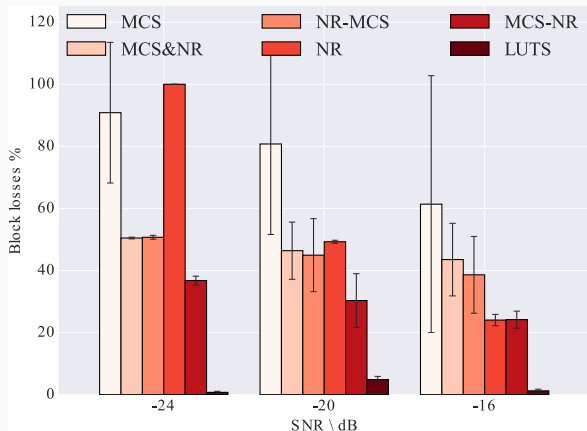
LUT: Valores pre-calculados

Montecarlo

500 transmisiones, Bloques de 256 bits cada uno,

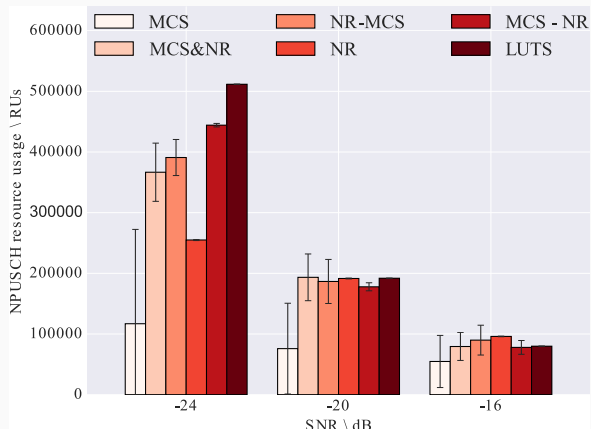
$SNR \in \{-24dB, -20dB, -16dB\}$

Algunas estrategias para NB-IoT



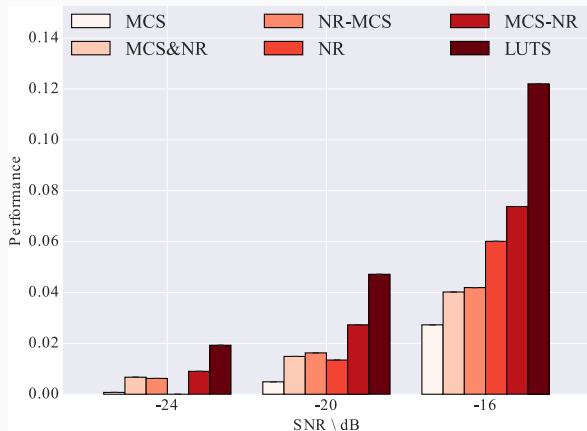
E. Luján, J. Zuloaga et al. "Extreme Coverage in 5G Narrowband IoT: A LUT-Based Strategy to Optimize Shared Channels," in IEEE Internet of Things Journal, March 2020

Algunas estrategias para NB-IoT



E. Luján, J. Zuloaga et al. "Extreme Coverage in 5G Narrowband IoT: A LUT-Based Strategy to Optimize Shared Channels," in IEEE Internet of Things Journal, March 2020

Algunas estrategias para NB-IoT



$$\text{Performance} = \frac{1 - \text{BLER}}{\text{RU}} (1 - \text{BLER})$$

Adaptación de enlace es una alternativa para transmitir en enlaces muy desventajosos
Pero mucho espacio para mejorar aún.....

IoT: MU Masivo

Modulación espacial

BS con múltiples antenas n_T

En cada Tx, sólo n_A activas

Transmite b bits/símbolo

$$\lfloor \log_2 \binom{n_T}{n_A} \rfloor + n_A b \quad \text{bits por uso de canal}$$

Index Modulation

No requiere nuevo frente de RF

Requiere CSI en Rx

- [1] C.-X. Wang et al., "Cellular Architecture and Key Technologies for 5G Wireless Communication Networks," IEEE Commun. Feb. 2014
- [2] R. Mesleh et al., "Spatial Modulation," IEEE Trans. Vehic. Tech. July 2008
- [3] E. Basar et al., "Orthogonal Frequency Division Multiplexing with Index Modulation," IEEE Trans. Signal Processing, Nov. 2013.
- [4] M. Di Renzo et al., "Spatial Modulation for Generalized MIMO: Challenges, Opportunities, and Implementation," Proc. IEEE, Jan, 2014
- [5] P. Yang et al., "Design Guidelines for Spatial Modulation," IEEE Commun.Surveys Tutorials,2015
- [6] R. Mesleh, S. Ikki, and H. Aggoune, "Quadrature Spatial Modulation," IEEE Trans. Vehic. Tech., June 2015.
- [7] D. Basnayaka, M. Di Renzo, and H. Haas, "Massive but Few Active MIMO," IEEE Trans. Vehic. Tech., Oct. 2015.

Diversidad en OFDM

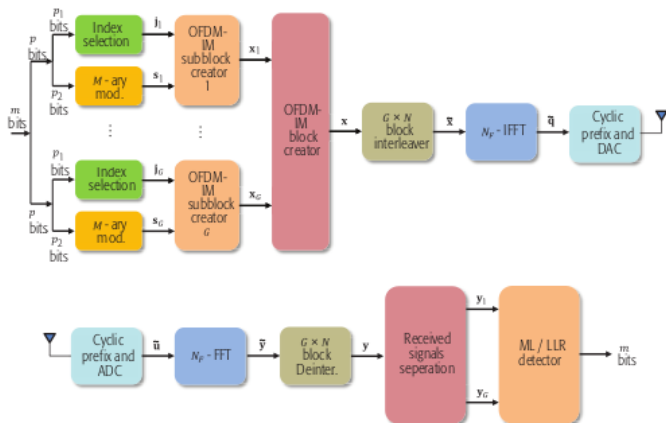
G bloques OFDM de N portadoras

K portadoras activas

Transmite b bits/símbolo/portadora

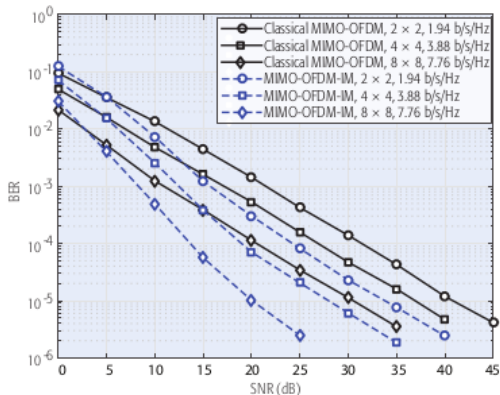
$$\left(\lfloor \log_2 \binom{N}{K} \rfloor + Kb \right) G \quad \text{bits por uso de canal}$$

IM - OFDM



E. Basar, "Index modulation techniques for 5G wireless networks," in IEEE Communications Magazine, July 2016

IM - OFDM



Uncoded MIMO-OFDM-IM vs. MIMO-OFDM para 3 config de $n_T \times n_R$, $M = 2$, $N = 4$, $K = 2$, $N_F = 512$, $CP = 16$, desvanecimiento Rayleigh

Para ir cerrando....

IoT (... 5G) abrió nuevas preguntas
Desafíos que rompen con el esquema
tradicional de BW vs R
Optimización de recursos para soportar
masividad

This is the end...