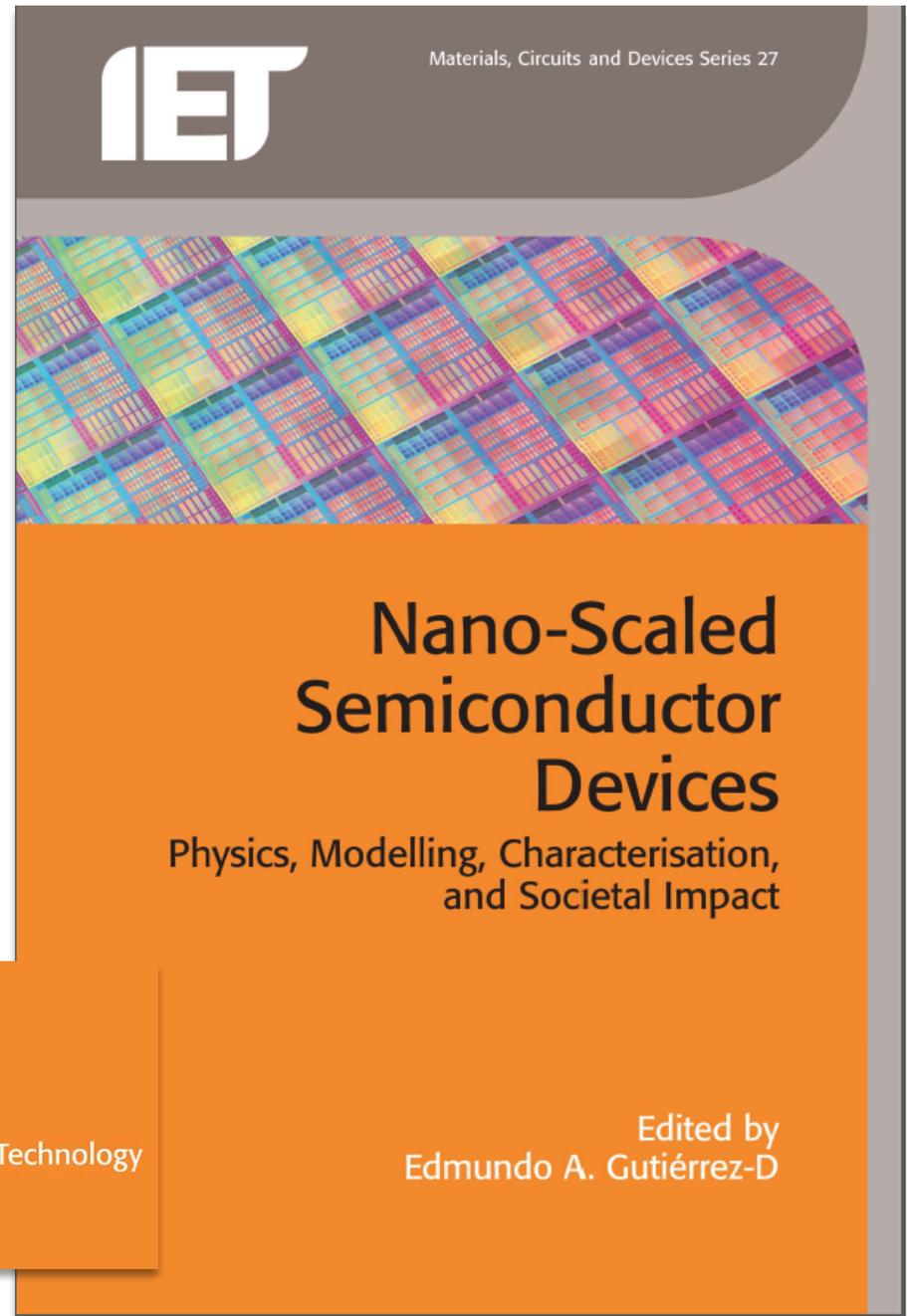




# La electrónica de escala atómica y su ubicuidad social

**Edmundo A. Gutiérrez D.**  
**INAOE**

Departamento de Electrónica  
edmundo@inaoep.mx  
Septiembre 9, 2016



ISBN 978-1-84919-930-8



9 781849 199308 >

The Institution of Engineering and Technology  
[www.theiet.org](http://www.theiet.org)  
978-1-84919-930-8

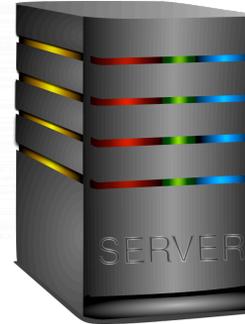
Edited by  
Edmundo A. Gutiérrez-D

# La ubicuidad de la electrónica...+SW + comunicaciones

Comunicaciones

Computación

Comunicación móvil



1969 Apolo 11\_Luna  
**384,400 kilómetros**



Investigación



Medicina



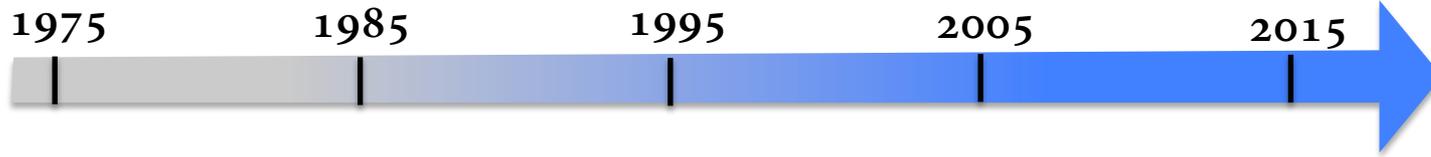
2015 Rover\_Marte  
**54.6 M kilómetros**



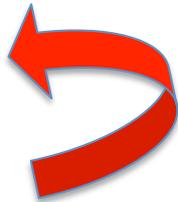
2012: Colisionador de hadrones



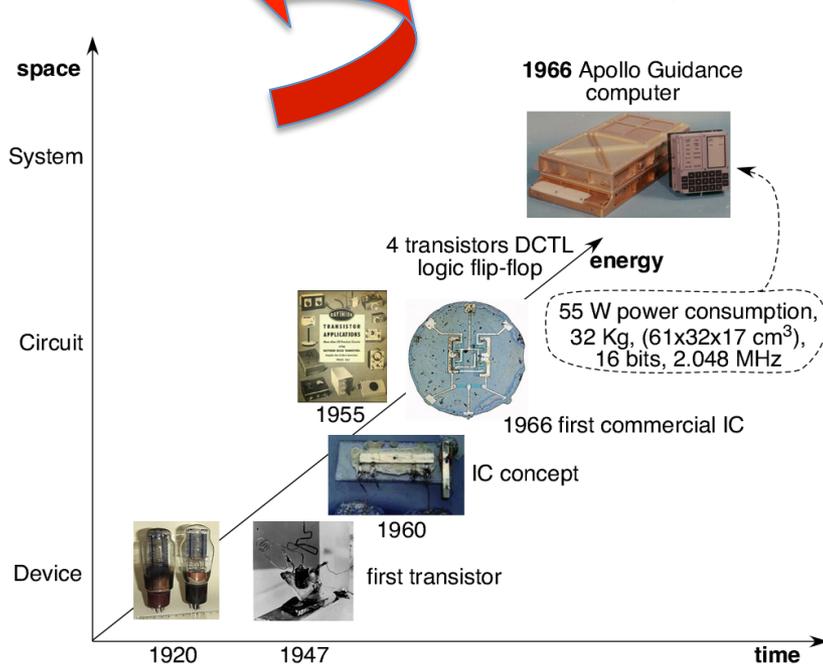
# ¿qué ha sucedido en las últimas 4 décadas?



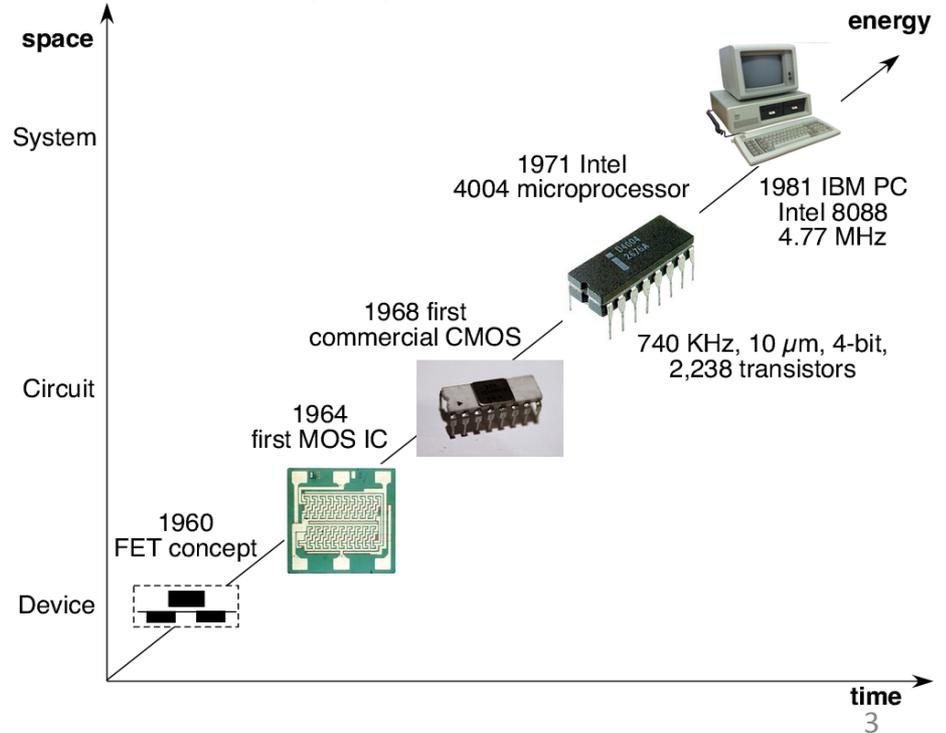
¿cómo llegamos aquí?

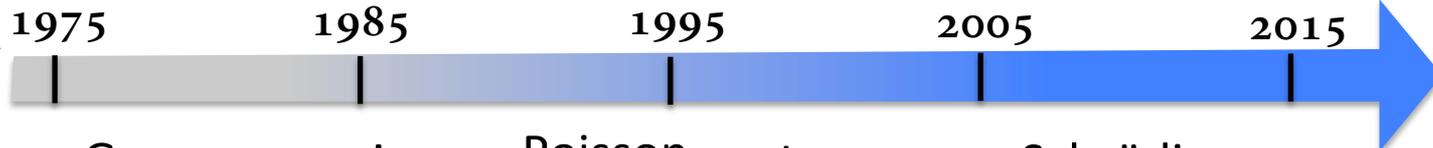


**Volviendo un poco hacia atrás**



**...y un poco mas hacia adelante**





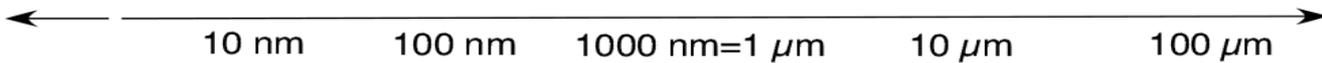
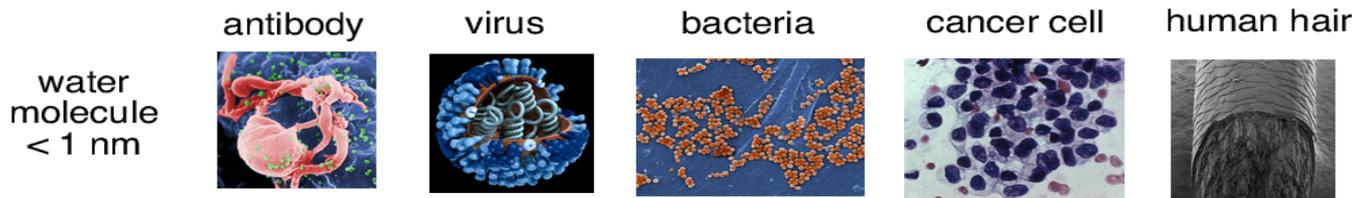
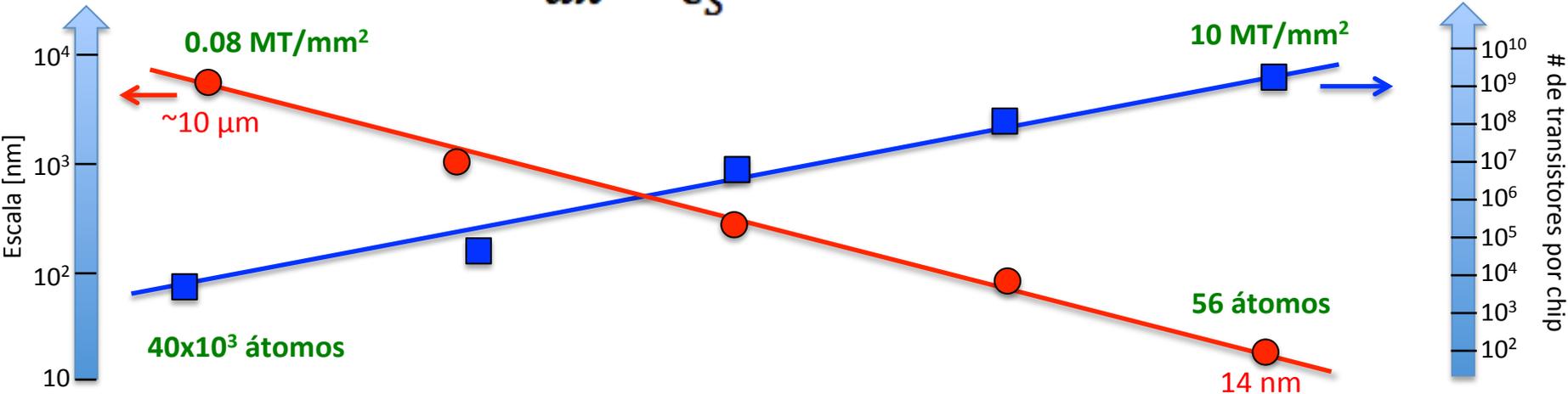
203 años

1813 Gauss + 1813 Poisson + 1926 Schrödinger 90 años

$$Q_S = -\epsilon_S |\vec{E}|$$

$$\frac{dE}{dx} = \frac{\rho}{\epsilon_S}$$

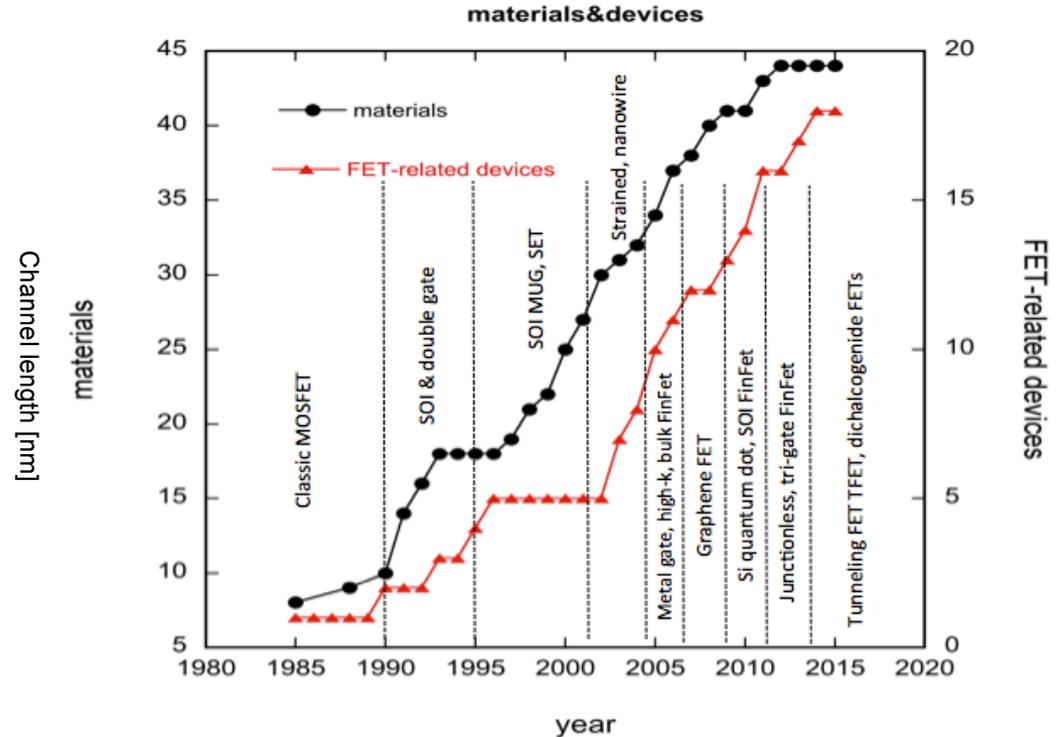
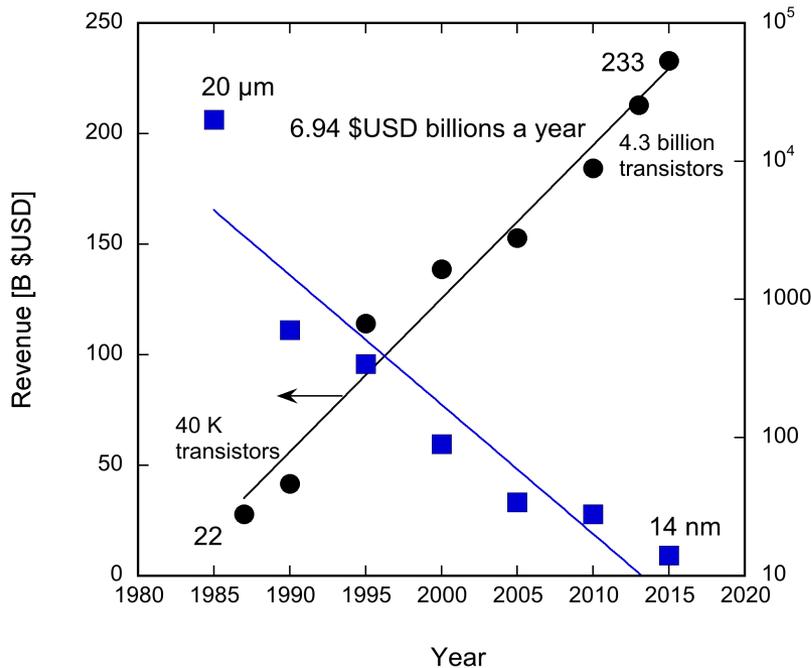
$$\left[ \frac{-\hbar^2}{2m} \nabla^2 + V \right] \Psi = i \hbar \frac{\partial}{\partial t} \Psi$$



14 nm FinFet

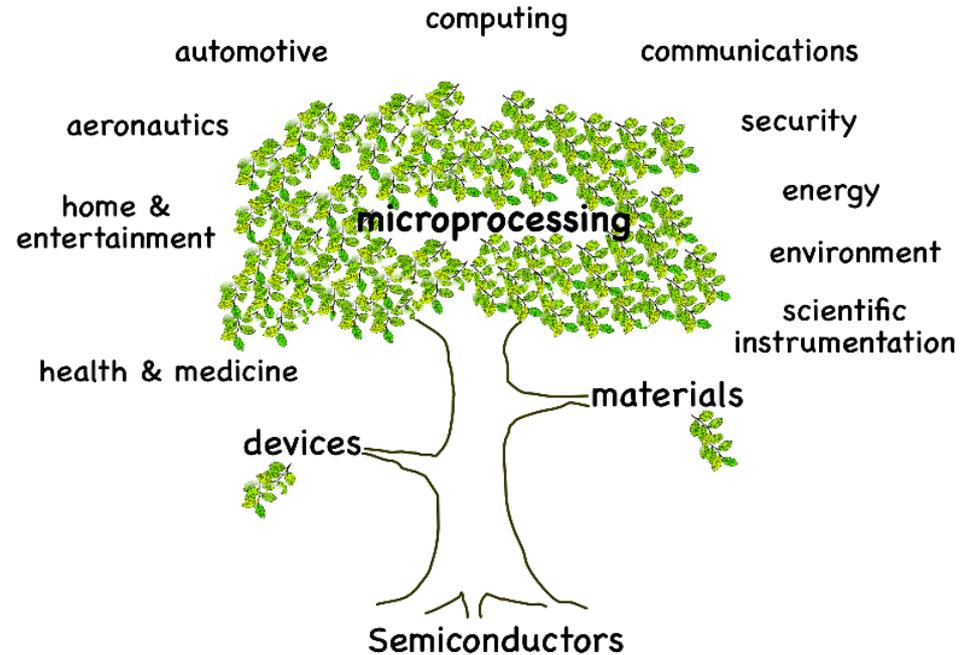
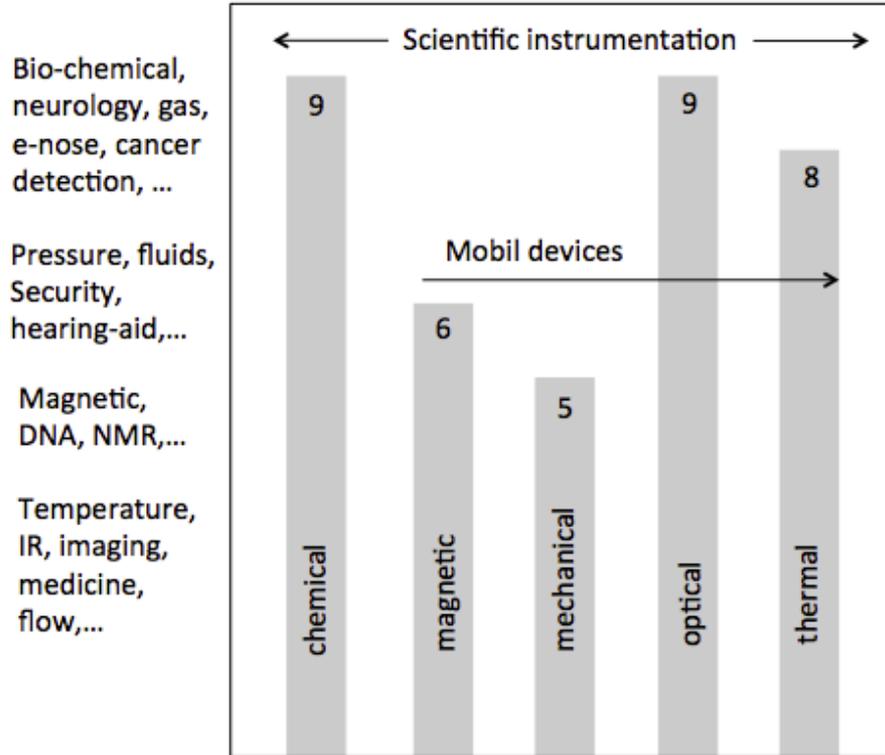
**Gracias a la incorporación de unos 10 materiales en 1975 hasta mas de 40 en 2015**

En las tres últimas décadas el transistor de efecto de campo (MosFet) ha producido ganancias ascendentes de 6.94 miles de millones de dólares por año, y ha pasado de 40 mil transistores en el primer chip a 4,300 millones de transistores por chip.



Se ha incrementado el número de materiales desde unos 8 hasta mas de 40, y el número de dispositivos relacionados con el MosFet es de mas de 15

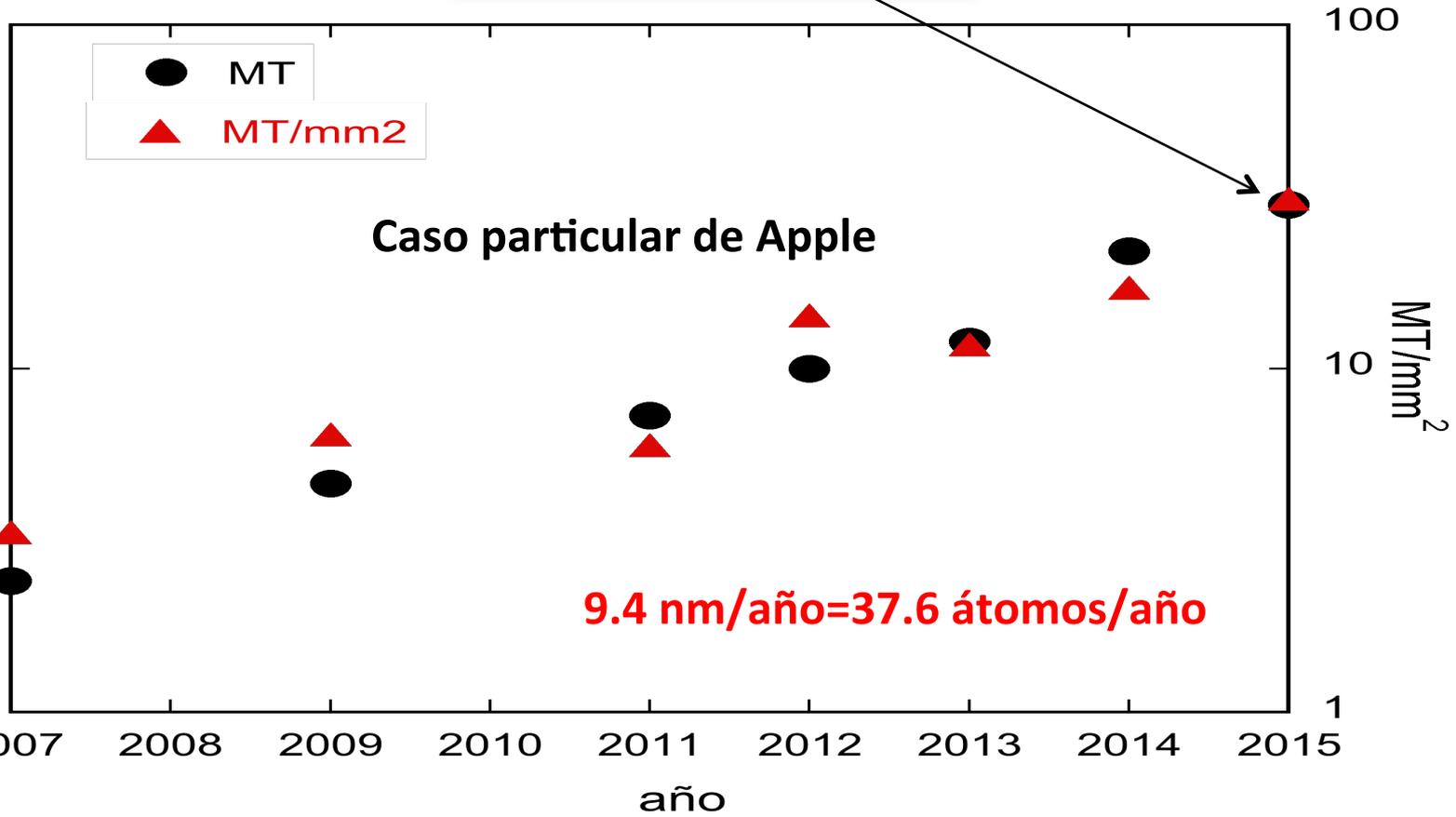
Los semiconductores han sido muy fructíferos propagándose mas allá de la aplicación tradicional en microprocesadores.



Mas de 35 diferentes tipos de dispositivos mas allá del MosFet, y con aplicaciones que van mas allá del micro-procesamiento de información

3 mil MT, 31.2 MT/mm<sup>2</sup>

millones de transistores (MT)



360

260

180

128

112

80

64

# de átomos



90 nm  
2007

65 nm  
2009

45 nm  
2011

32 nm  
2012

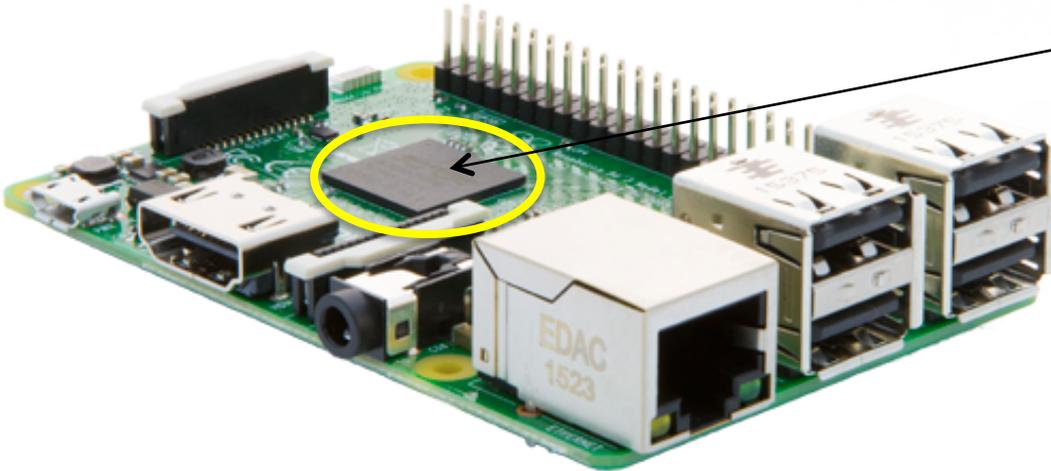
28 nm  
2013

20 nm  
2014

16 nm  
2015

# Un ejemplo muy popular

## Raspberry Pi 3

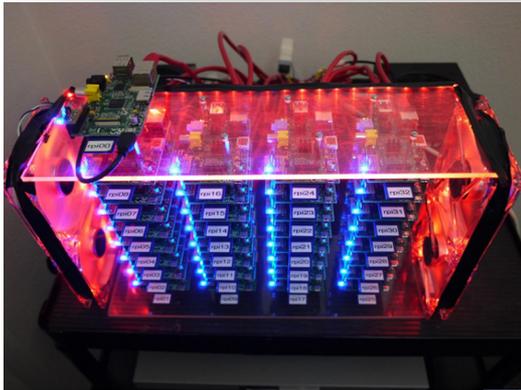
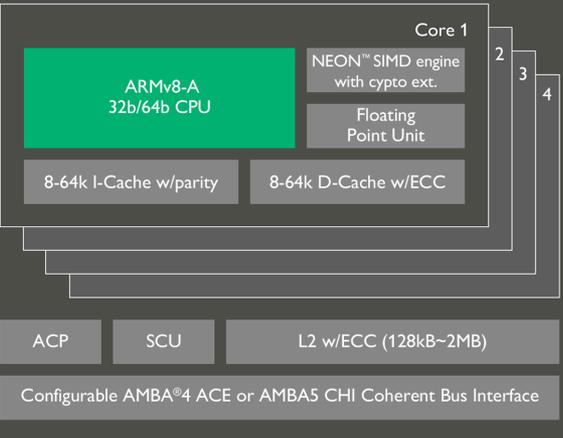


ARM Cortex-A53 BCM2837 SoC  
4 núcleos-28 nm

Aplicaciones en la industria automotriz,  
dispositivos móviles, redes,  
comunicaciones, TV digital

### ARM Cortex<sup>®</sup>-A53

ARM CoreSight™ Multicore Debug and Trace



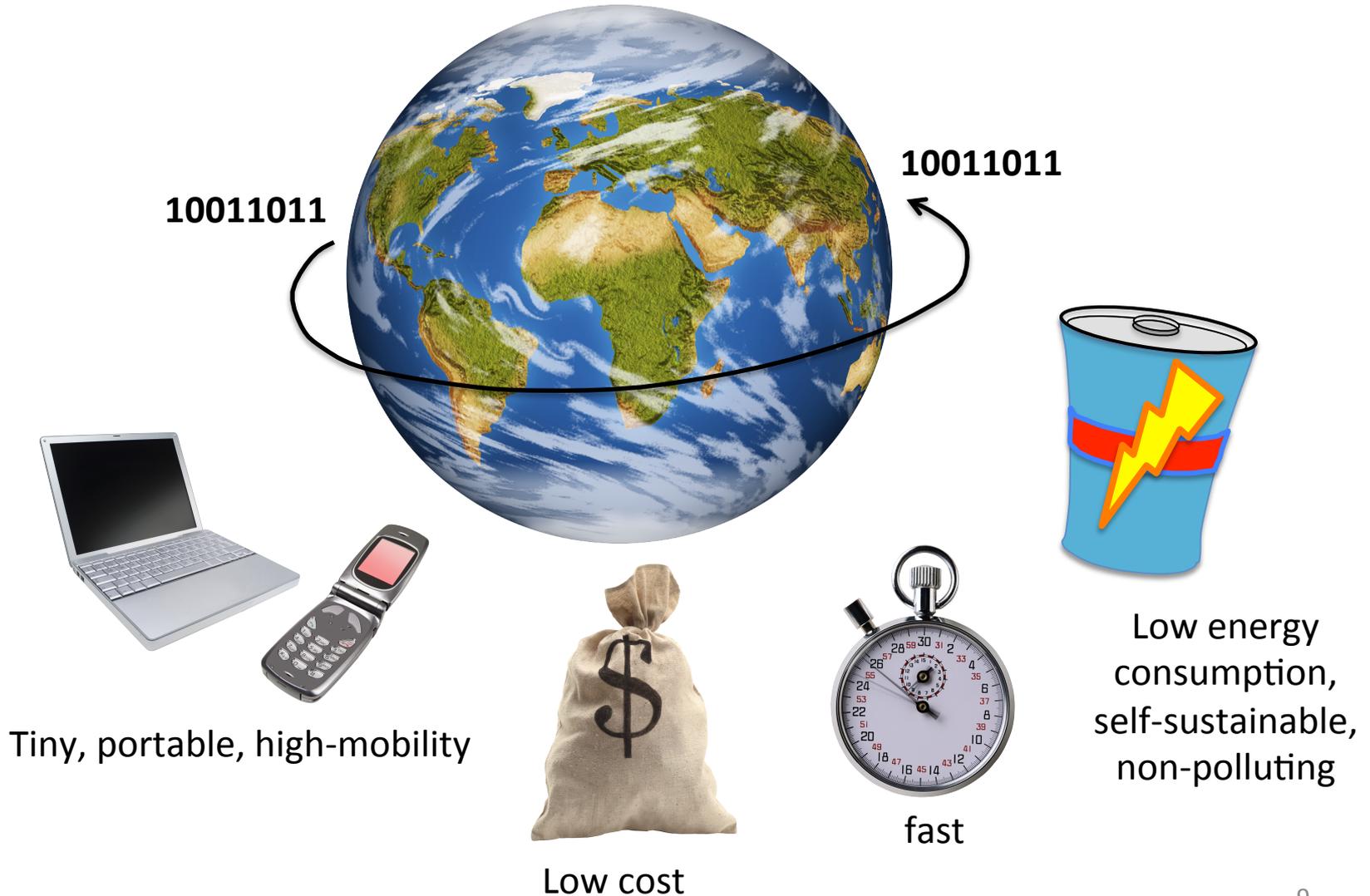
Granja de Pi's

## Teléfono celular



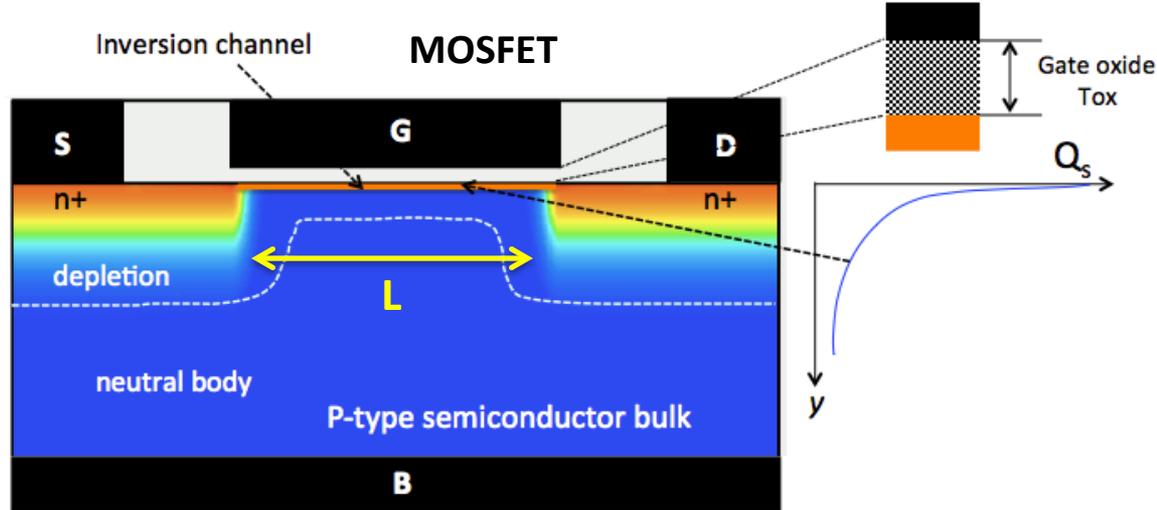
# La meta que todo mundo busca

## Information worldwide, anywhere, anytime

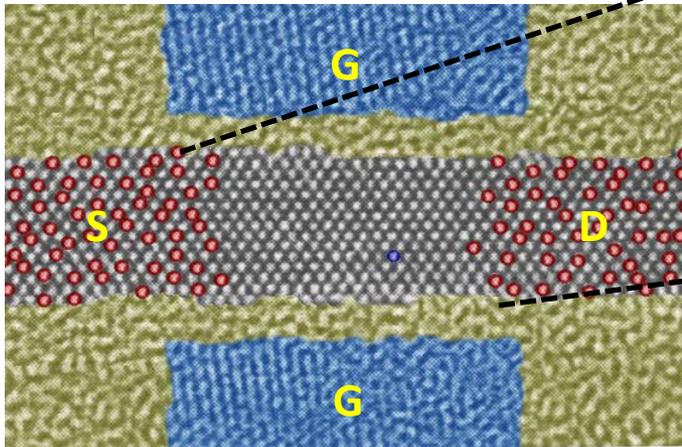


# La celda básica: el transistor de efecto de campo MOSFET

...y ahora...,  
¿qué hago con tanta tecnología?



10 nm dual-gate MOSFET

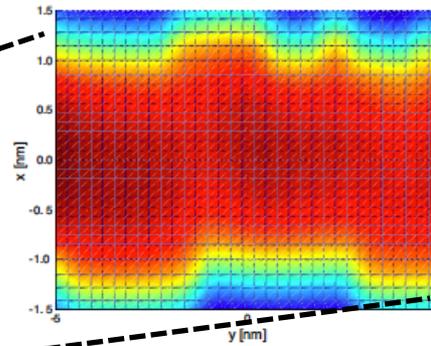


A. Martínez

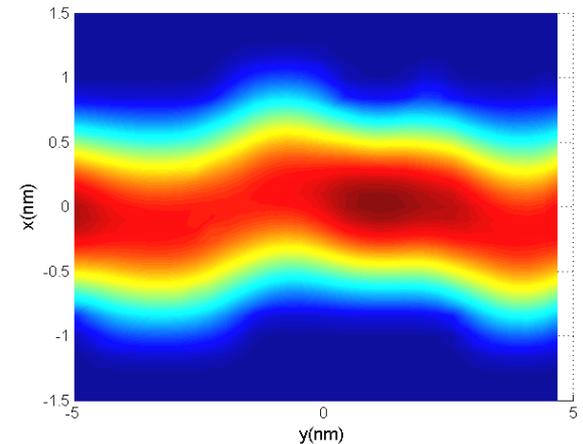
TEM image

Rugosidad atómica

Distribución de electrones



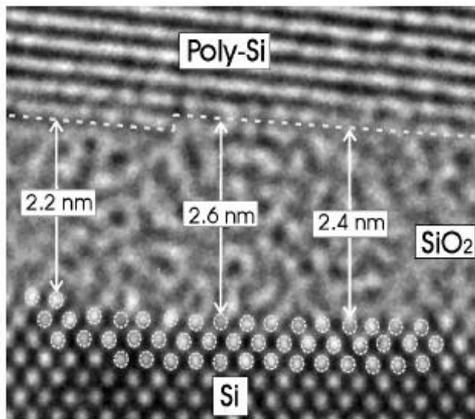
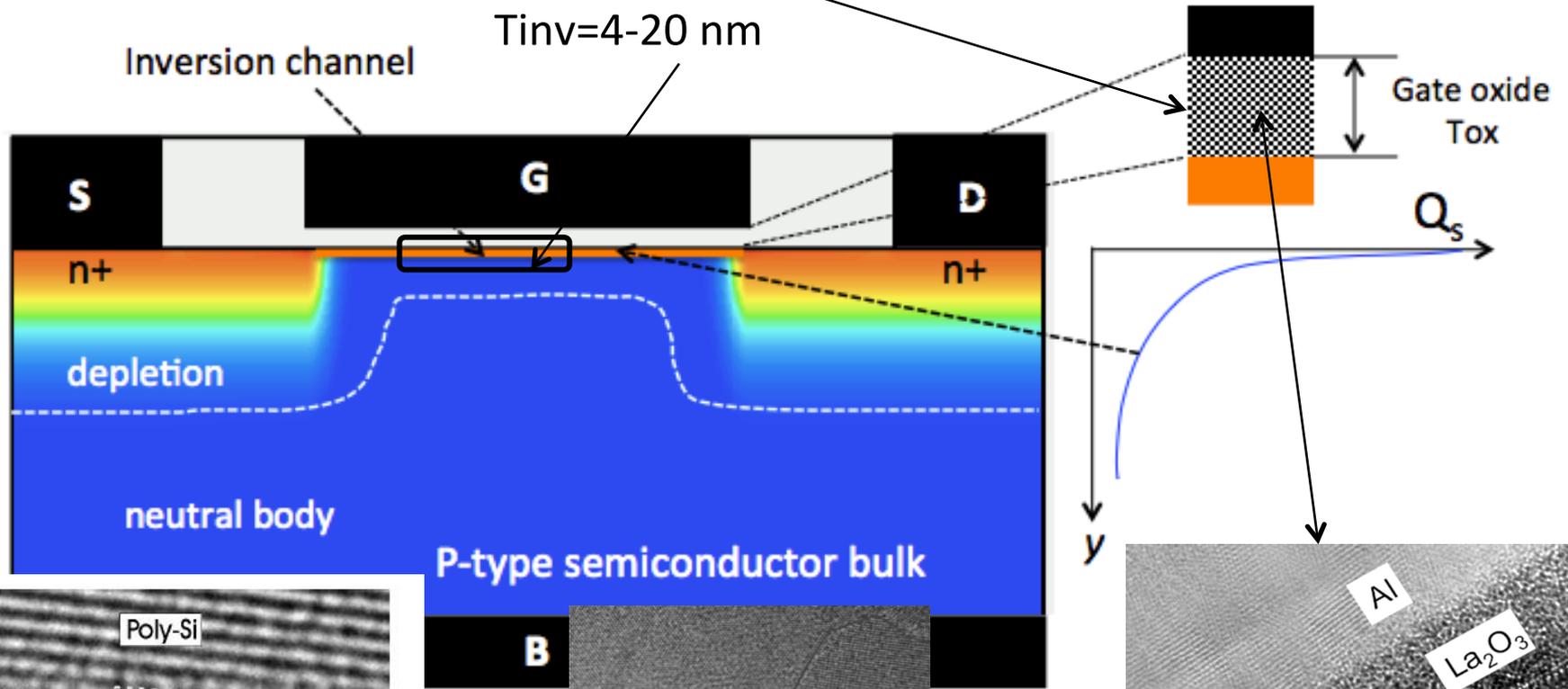
Perfil de corriente



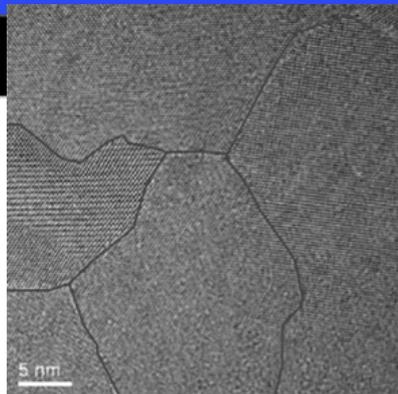
# El MosFet: la celda unitaria

$T_{ox}=2\text{ nm}$

$T_{inv}=4-20\text{ nm}$



Oxide thickness



Granularidad atómica de la interfaz y el metal

