

# Aspectos Éticos, Sociales y Profesionales Avanzados en Informática

**Modulo 2: Eficiencia Energética sobre  
diferentes plataformas**

Mg. Diego Encinas

Ing. Santiago Medina

# Organización

## Módulo 2: Eficiencia Energética sobre diferentes plataformas

### ● ***Motivaciones***

- Eficiencia computacional. Ley de Moore.
- Eficiencia energética (métrica performance/watt). Ley de Koomey. Single core a multicore: Power Wall. Impacto de la supercomputación (métrica PUE). Generalidades de las técnicas de reducción del consumo energético.

### ● ***Conceptos***

- Energía y potencia. Tensión e intensidad. Qué medir.
- Análisis de potencia en corriente alterna: generación, potencia instantánea, media y real (activa). Instrumentos de medición de potencia: características y tipos. Metodología de medición con instrumentos. Medición en dispositivos a batería. Modelos de potencia.

### ● ***Práctica 1***

- Medidas de consumo sobre microcontroladores y SBC. Casos de estudio.

### ● ***Práctica 2***

- Medidas de consumo sobre un PC multicore y GPUs. Casos de estudio.

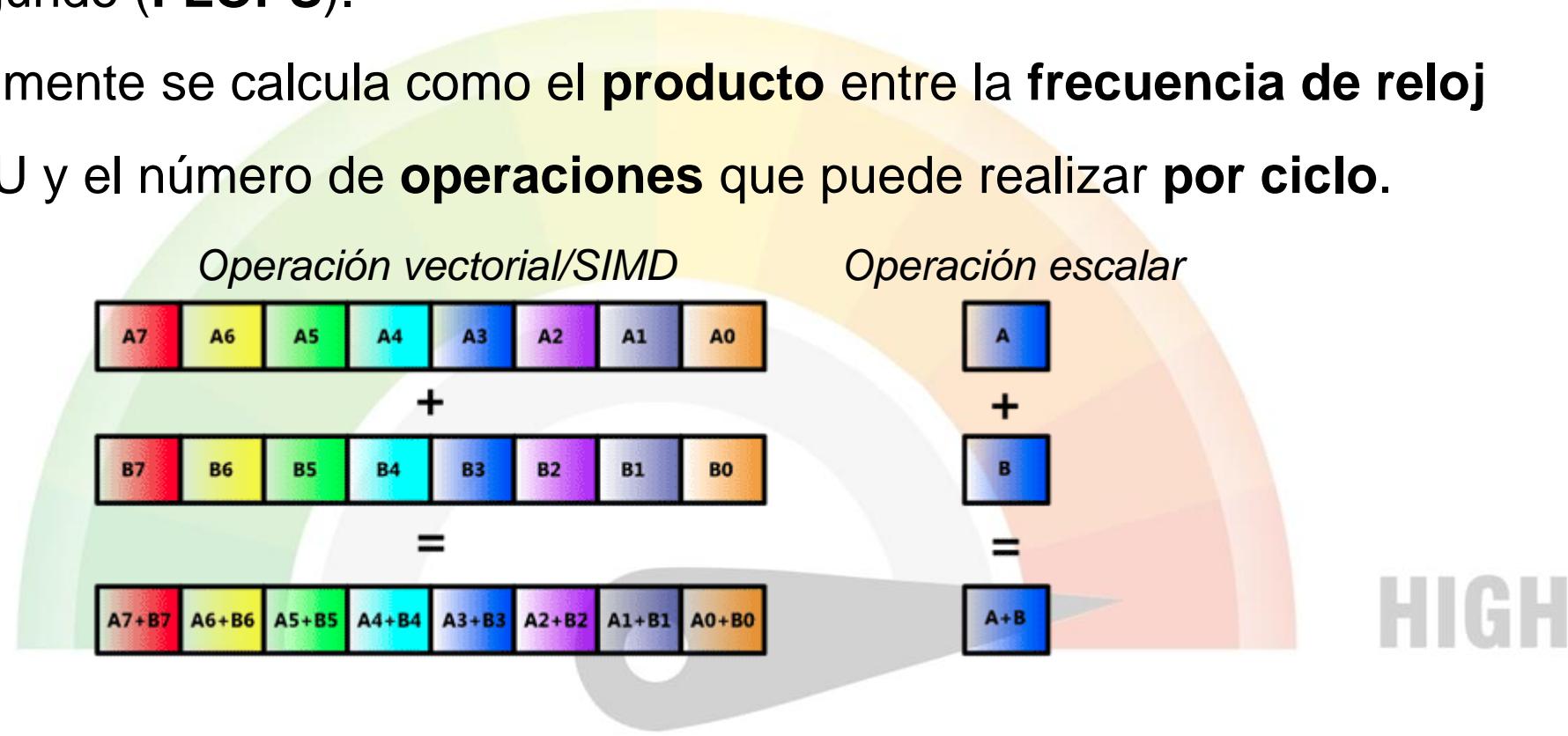
### ● ***Evaluación***

- Cuestionario teórico-práctico

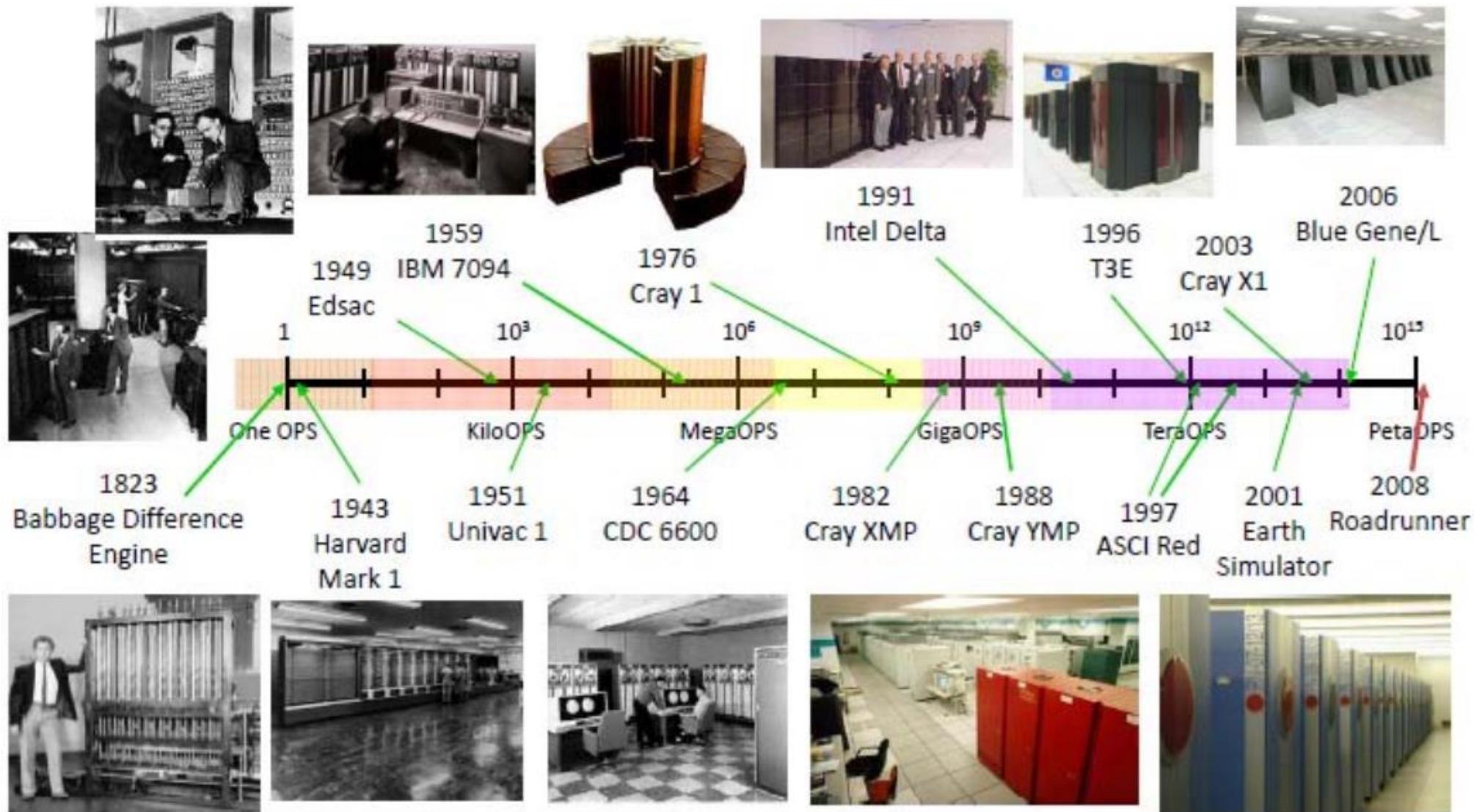
# **Eficiencia computacional**

# ¿Qué es y cómo se mide la eficiencia computacional?

- Por **eficiencia o rendimiento computacional** nos referimos a la cantidad de trabajo útil por unidad de tiempo que realiza una máquina.
  - Esta métrica suele expresarse en operaciones de punto flotante por segundo (**FLOPS**).
- Normalmente se calcula como el **producto** entre la **frecuencia de reloj** del CPU y el número de **operaciones** que puede realizar **por ciclo**.



# Evolución del rendimiento



# Evolución del rendimiento y el tamaño

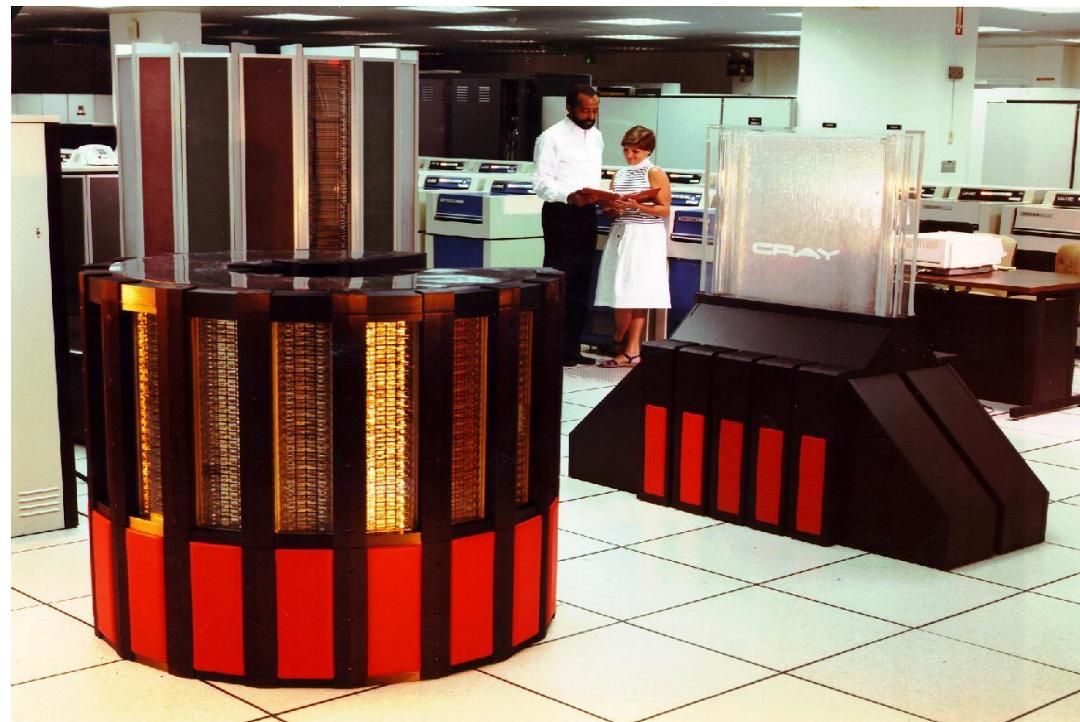
Jack Dongarra ejecutó el Linpack en un iPad2 (2011) y obtuvo entre 1.5 y 1.65 GFLOPS

2011 iPad2



más rápido que....

1985 Cray-2



El iPad2 hubiese estado en la lista de las supercomputadoras más rápidas del mundo en 1994.

# Ley de Moore

## (1965 y rectificada en 1975)

### más transistores...

Our World  
in Data

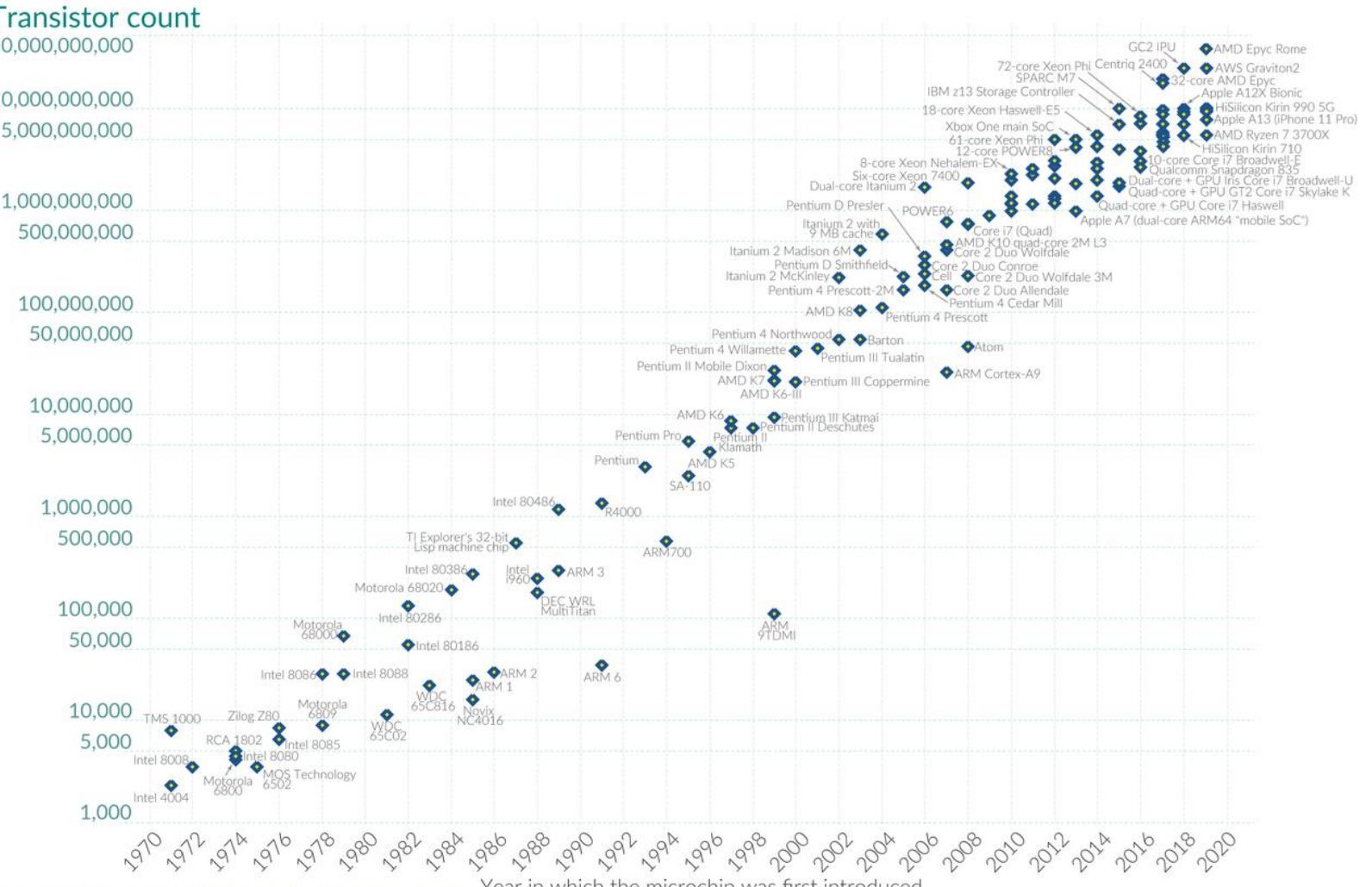
Moore's Law: The number of transistors on microchips doubles every two years

Moore's law describes the empirical regularity that the number of transistors on integrated circuits doubles approximately every two years. This advancement is important for other aspects of technological progress in computing – such as processing speed or the price of computers.

El número de transistores de los circuitos integrados se duplica cada 24 meses



Gordon Moore  
en 2004

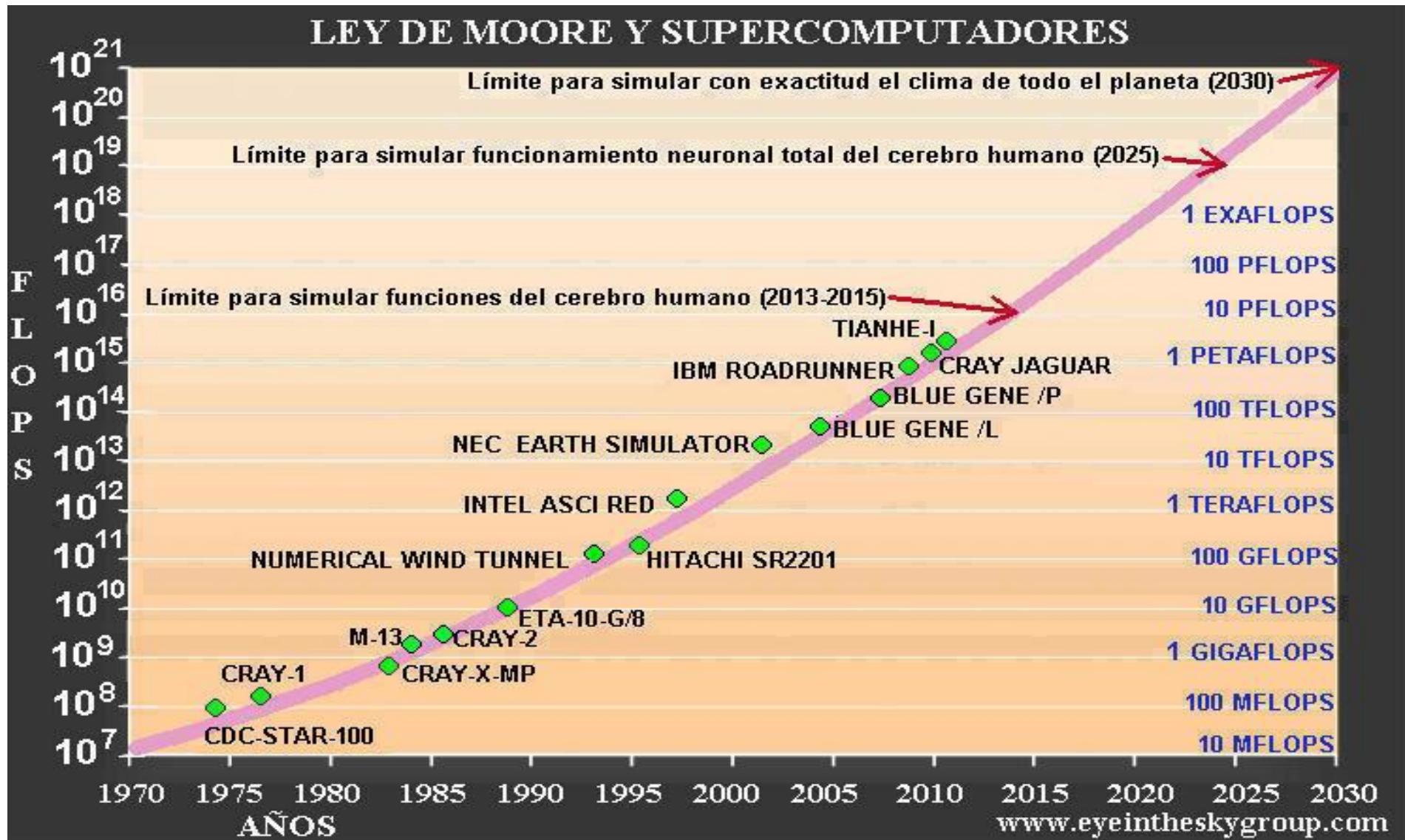


Data source: Wikipedia ([wikipedia.org/w/index.php?title=Transistor\\_Count&oldid=913000000](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Transistor_Count&oldid=913000000))

OurWorldInData.org – Research and data to make progress against the world's largest problems.

Licensed under CC-BY by the authors Hannah Ritchie and Max Roser.

# Impacto de la ley de Moore en el rendimiento de supercomputadores



# TOP 500



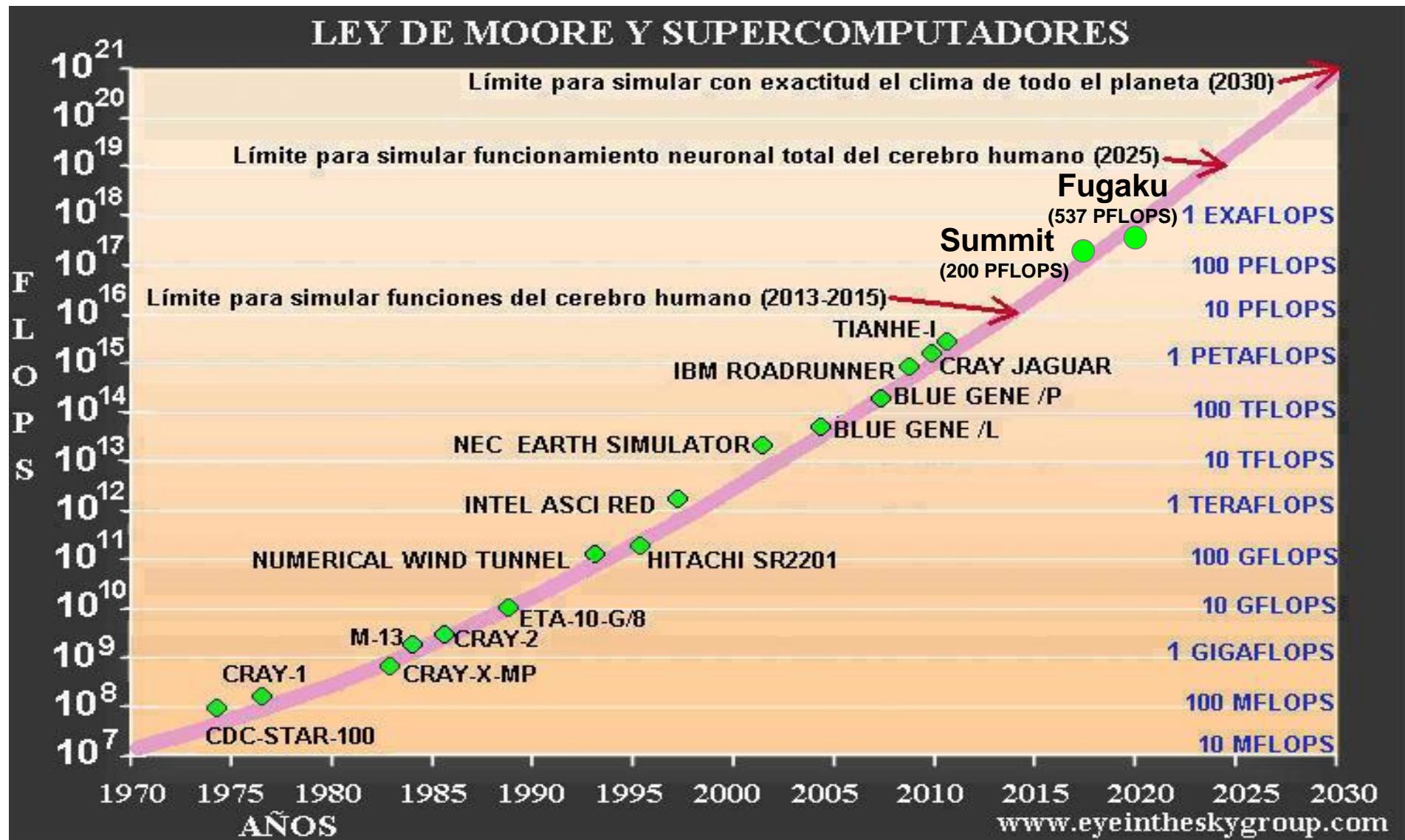
Primera lista: Junio de 1993

Última lista: Noviembre de 2021

Rank	System	Cores	Rmax (TFlop/s)	Rpeak (TFlop/s)	Power (kW)	
1	Supercomputer Fugaku - Supercomputer Fugaku, A64FX 48C 2.2GHz, Tofu interconnect D, Fujitsu RIKEN Center for Computational Science Japan	7,630,848	442,010.0	537,212.0	29,899	1 <sup>er</sup> lugar desde 06/2020
2	Summit - IBM Power System AC922, IBM POWER9 22C 3.07GHz, NVIDIA Volta GV100, Dual-rail Mellanox EDR Infiniband, IBM DOE/SC/Oak Ridge National Laboratory United States	2,414,592	148,600.0	200,794.9	10,096	1 <sup>er</sup> lugar desde 06/2018
3	Sierra - IBM Power System AC922, IBM POWER9 22C 3.1GHz, NVIDIA Volta GV100, Dual-rail Mellanox EDR Infiniband, IBM / NVIDIA / Mellanox DOE/NNSA/LLNL United States	1,572,480	94,640.0	125,712.0	7,438	

*Rmax - Maximal LINPACK performance achieved  
Rpeak - Theoretical peak performance*

# La ley de Moore continúa...



# Actividad

## Así es como Intel pretende mantener la Ley de Moore en funcionamiento

By Matías S. Zavia

13/12/2021

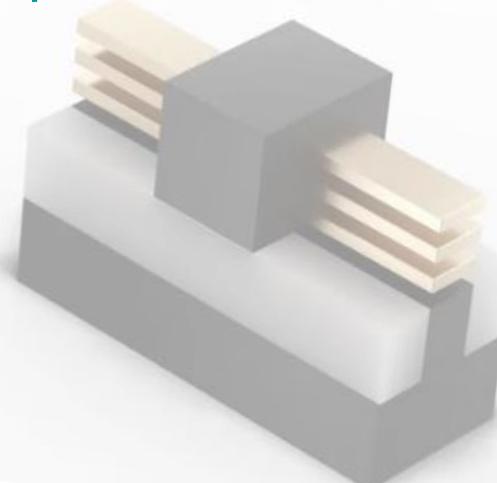
### Artículo:

<https://es.gizmodo.com/asi-es-como-intel-pretende-mantener-la-ley-de-moore-en-1848204379>

¿En qué consisten las innovaciones que según Intel permitiría mantener la ley de Moore?

*Así es como Intel pretende mantener la Ley de Moore en funcionamiento*  
La compañía quiere multiplicar por 10 la densidad de empaquetado de sus chips de aquí a 2025

By Matías S. Zavia | Monday 8:50AM | Comments (1) | Alerts



# Eficiencia energética

# ¿Qué es la energía?

- Los físicos definen la energía (**E**) como la **capacidad para realizar un trabajo**. La energía, no puede ser creada, ni consumida, ni destruida... aunque sí **puede ser convertida**.
- Si nos fijamos en aparatos que usamos en nuestra vida diaria como, por ejemplo, una lamparita, un equipo de aire acondicionado o un secador de pelos, todos ellos **convierten energía eléctrica en un trabajo útil**: iluminar, enfriar o secar.
- En cada conversión, parte de la energía proveniente de la fuente es **convertida en calor**.

# Eficiencia energética

- La **eficiencia energética** es una práctica que tiene como objetivo **reducir el consumo de energía** para realizar un cierto trabajo.
- Si queremos saber cuál sistema es más eficiente para una cierta tarea, debemos comparar el consumo energético para ejecutar la tarea.
- Una métrica muy utilizada de eficiencia energética es:

$$\frac{\text{MFLOPS}}{\text{WATT}}$$

# Ley de Koomey (2011)

La eficiencia energética  
se duplica cada 18  
meses



Photo credit: Gregoire Photography

Jonathan Koomey  
<http://www.koomey.com/>

## **Implications of Historical Trends in the Electrical Efficiency of Computing**

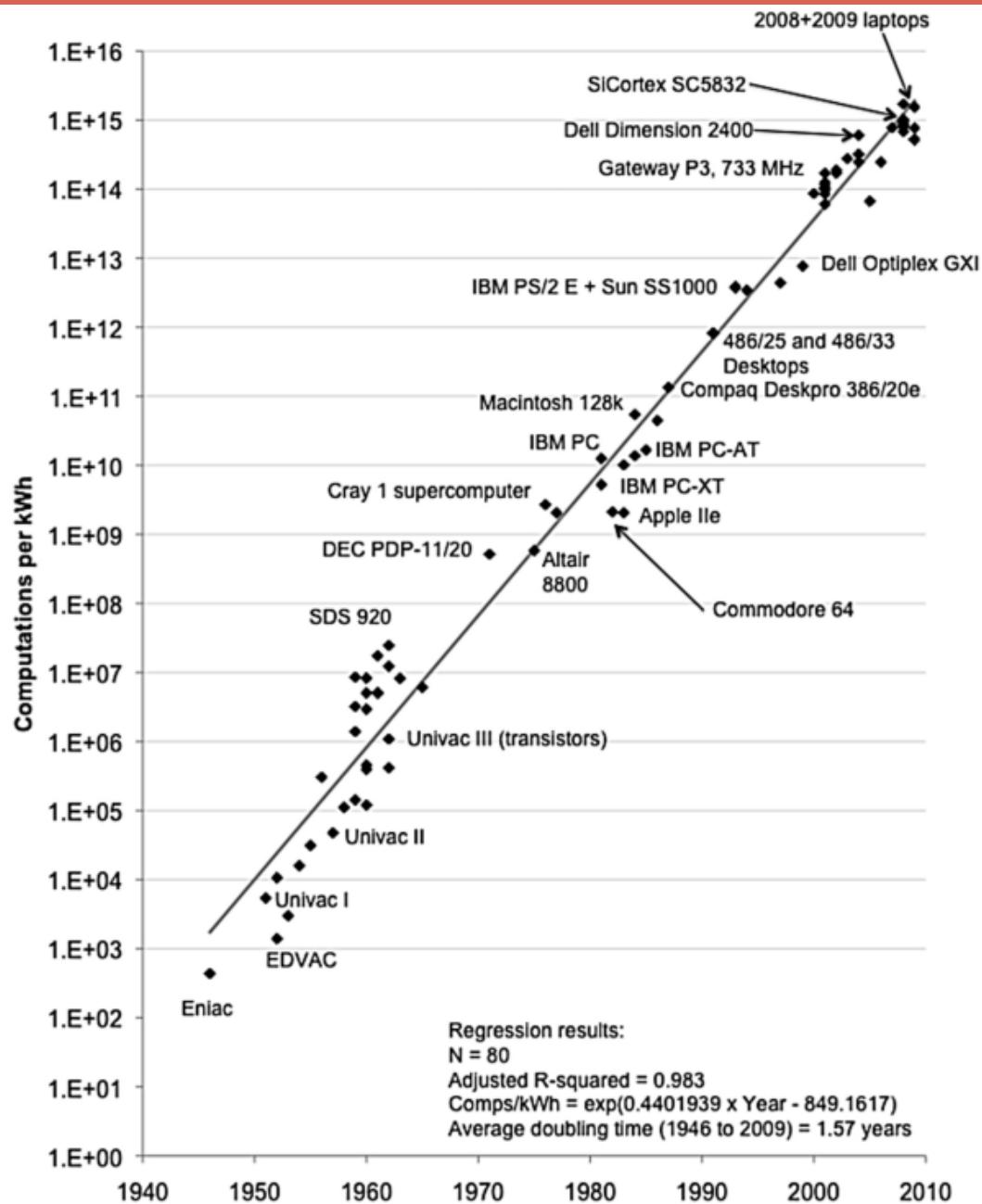
**Jonathan G. Koomey**  
*Stanford University*

**Stephen Berard**  
*Microsoft*

**Marla Sanchez**  
*Carnegie Mellon University*

**Henry Wong**  
*Intel*

# Evolución de la eficiencia energética



Una MacBook Air completamente cargada, pero operando con la eficiencia energética de las computadoras de 1991, agotaría sus baterías en 2 segundos y medio

# ¿Por qué queremos reducir el consumo energético?



- Energía limitada de los dispositivos móviles.



- Barrera energética en procesadores: **Power Wall**



- Las **supercomputadoras** consumen tanta **energía** que producen **diversos impactos**:

- Económico
- Social
- Medio ambiente



# El fin del singlecore

- ¿Por qué no se fabrican computadoras series más rápidas? es decir, aumentando la frecuencia de reloj de CPU.
- Tres razones importantes:
  - Memory Wall
  - ILP Wall
  - **Power Wall**

# Power Wall

La potencia utilizada por el procesador se convierte en calor que debe disiparse.

Si la temperatura aumenta:

- Disminuye la velocidad de los transistores, que puede aumentar los fallos
- Puede llegar a su destrucción



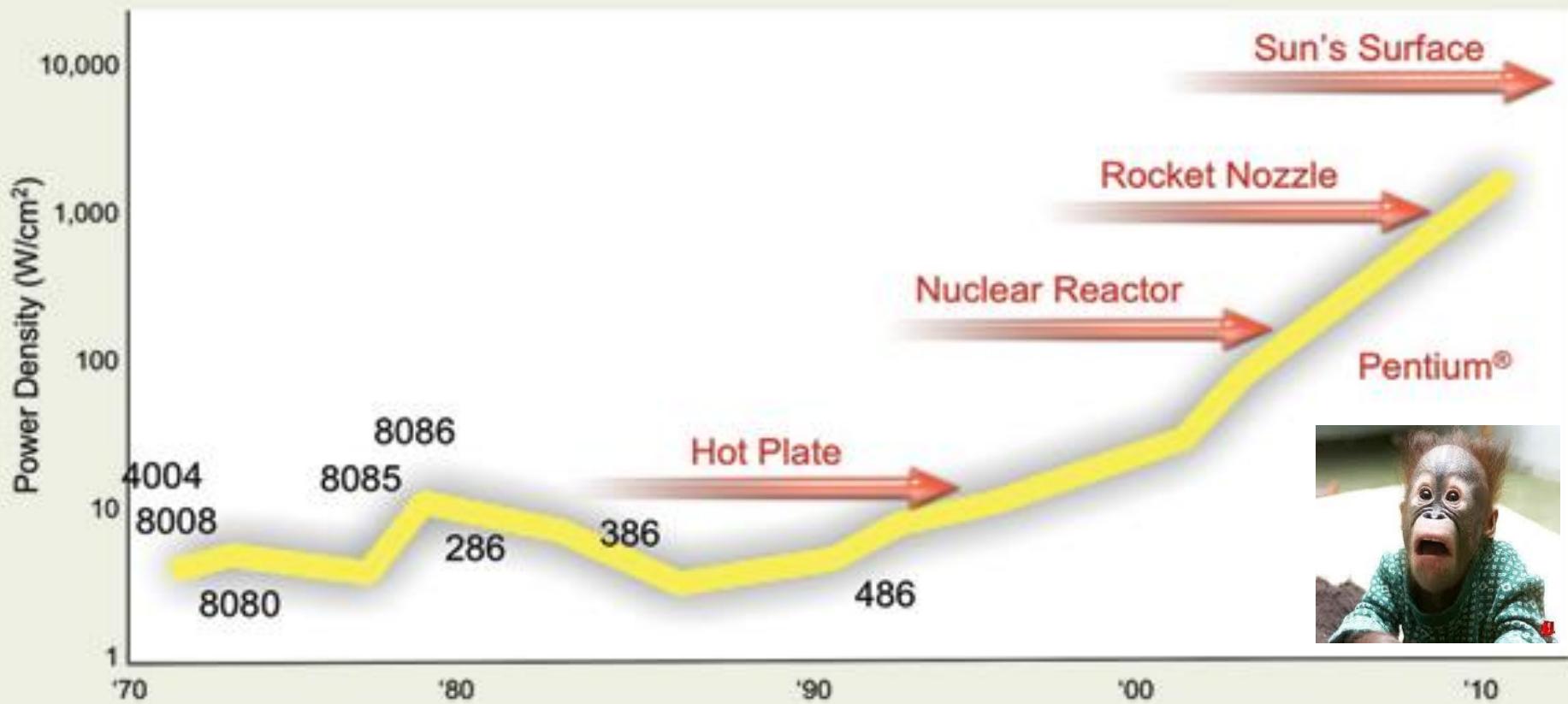
## Power Wall

Representa el problema de **disipar el calor** producido por el **chip procesador**, utilizando técnicas convencionales de refrigeración

# Power Wall: Problema de la densidad de potencia: W/cm<sup>2</sup>

## CPU Architecture Today

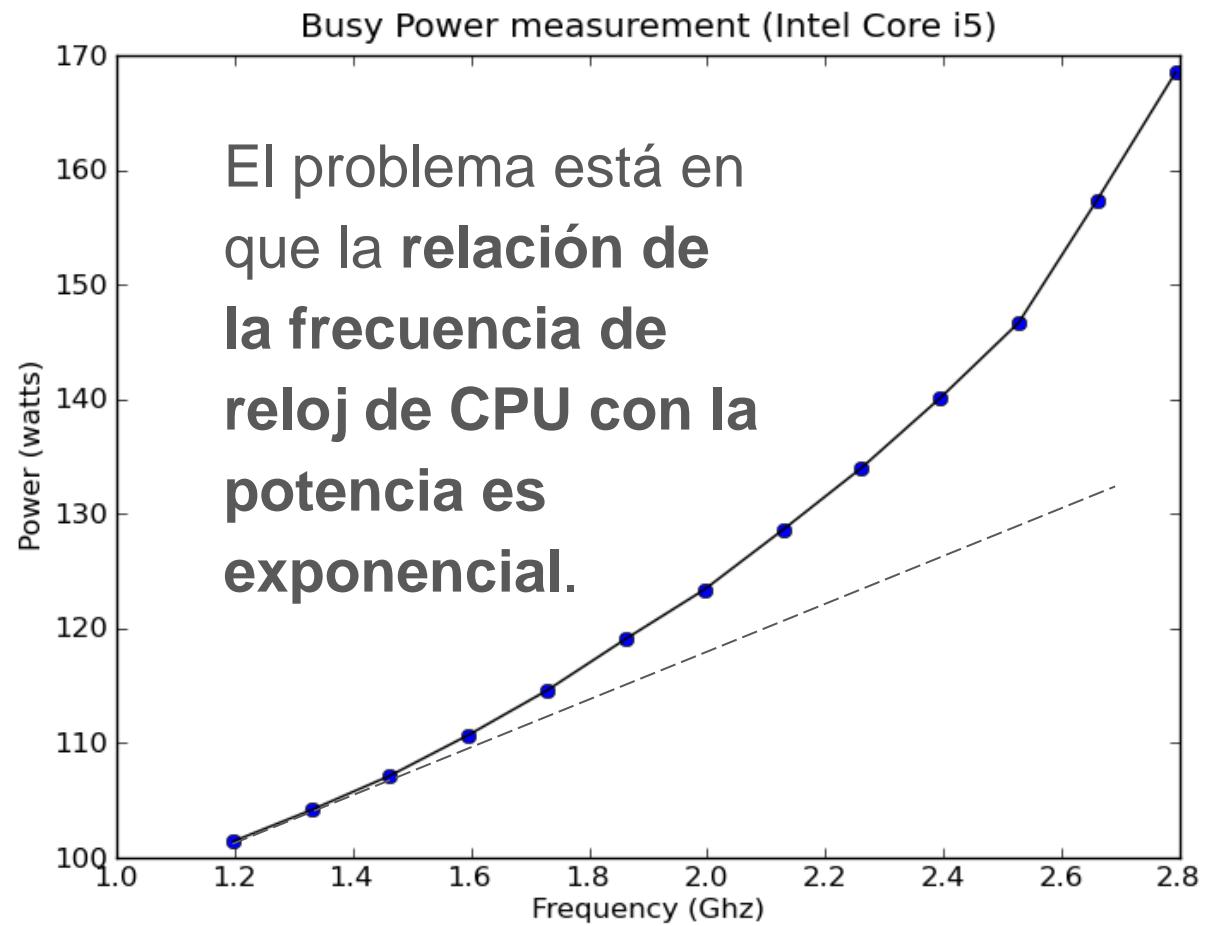
Heat becoming un manageable problem



**Figure 1.** In CPU architecture today, heat is becoming an unmanageable problem.  
(Courtesy of Pat Gelsinger, Intel Developer Forum, Spring 2004)

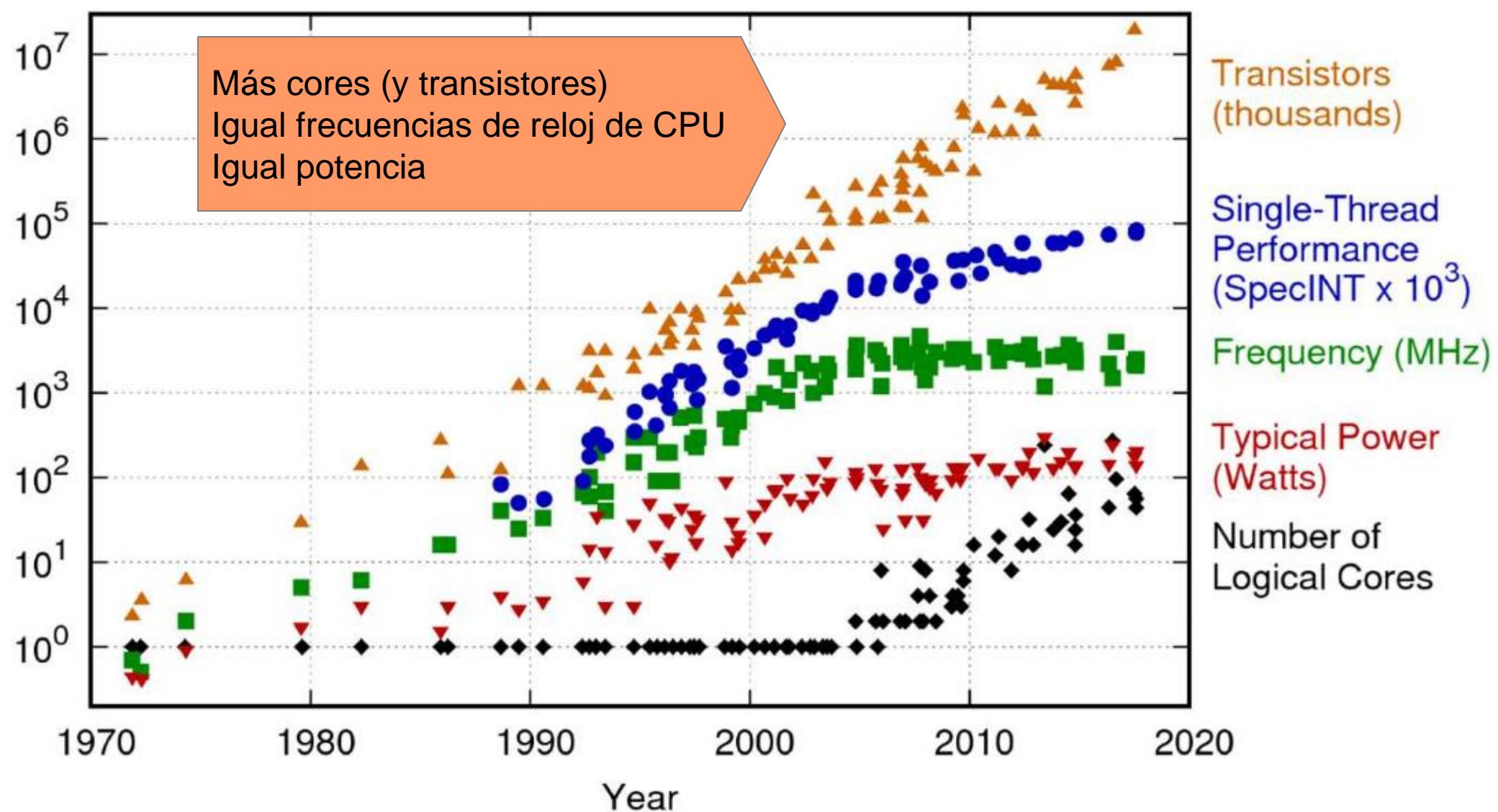
# Power Wall Relación: Frecuencia del reloj - Potencia

**Para aumentar la frecuencia** y mantener el correcto funcionamiento del circuito digital, **es necesario aumentar la tensión**. El aumento de tensión **produce un aumento de la potencia**.



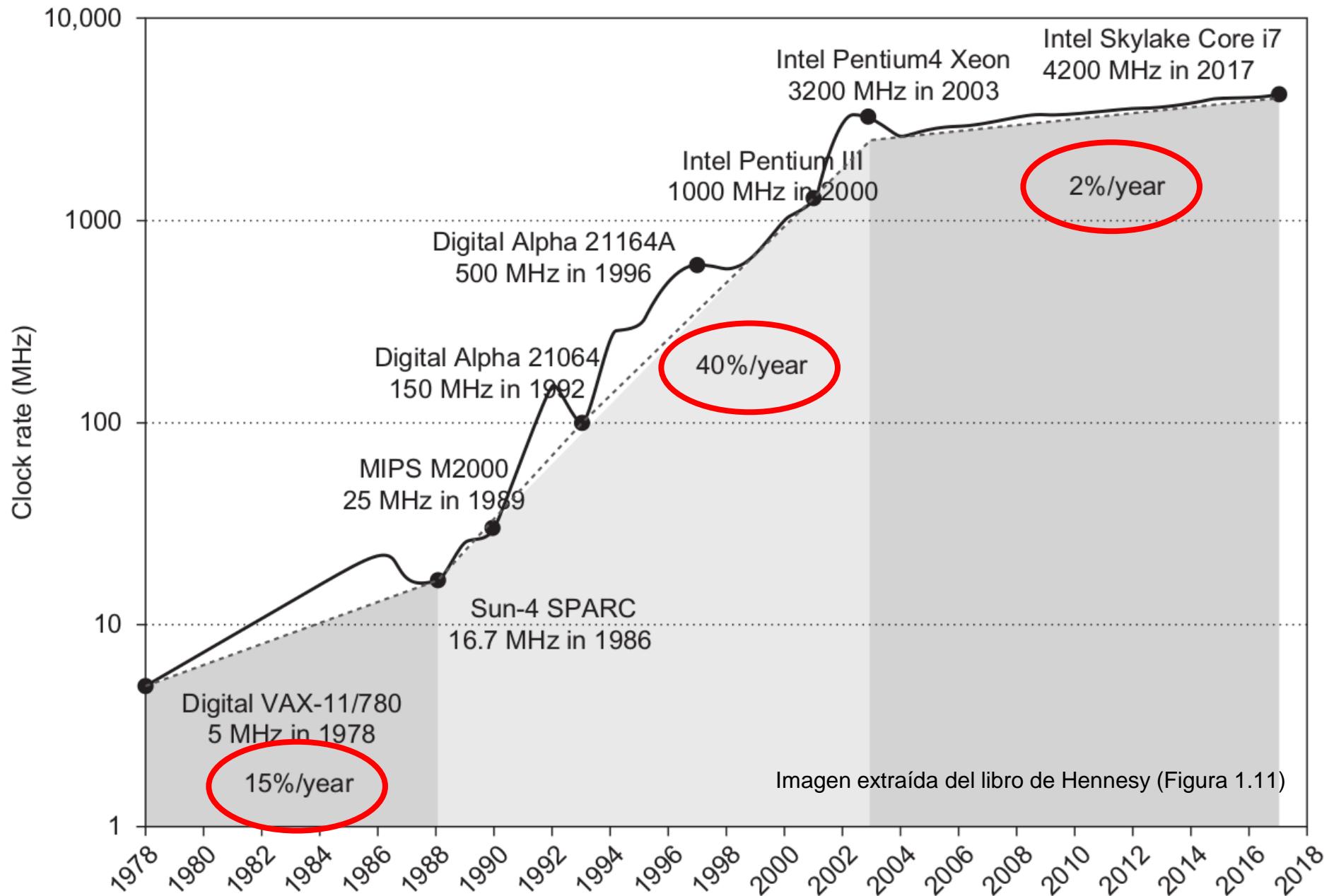
¿Qué demanda más potencia, un core de 2.4GHz o dos de 1.2GHz?  
¿y entre un core de 4.8GHz o cuatro de 1.2GHz?

# Power Wall: evolución



Original data up to the year 2010 collected and plotted by M. Horowitz, F. Labonte, O. Shacham, K. Olukotun, L. Hammond, and C. Batten  
New plot and data collected for 2010-2017 by K. Rupp

# Power Wall: evolución



# Impacto económico de la supercomputación: demanda de potencia eléctrica



Primera lista: Junio de 1993  
Última lista: Noviembre de 2021

Rank	System	Cores	Rmax (TFlop/s)	Rpeak (TFlop/s)	Power (kW)
1	Supercomputer Fugaku - Supercomputer Fugaku, A64FX 48C 2.2GHz, Tofu interconnect D, Fujitsu RIKEN Center for Computational Science Japan	7,630,848	442,010.0	537,212.0	29,899
2	Summit - IBM Power System AC922, IBM POWER9 22C 3.07GHz, NVIDIA Volta GV100, Dual-rail Mellanox EDR Infiniband, IBM DOE/SC/Oak Ridge National Laboratory United States	2,414,592	148,600.0	200,794.9	10,096
3	Sierra - IBM Power System AC922, IBM POWER9 22C 3.1GHz, NVIDIA Volta GV100, Dual-rail Mellanox EDR Infiniband, IBM / NVIDIA / Mellanox DOE/NNSA/LLNL United States	1,572,480	94,640.0	125,712.0	7,438

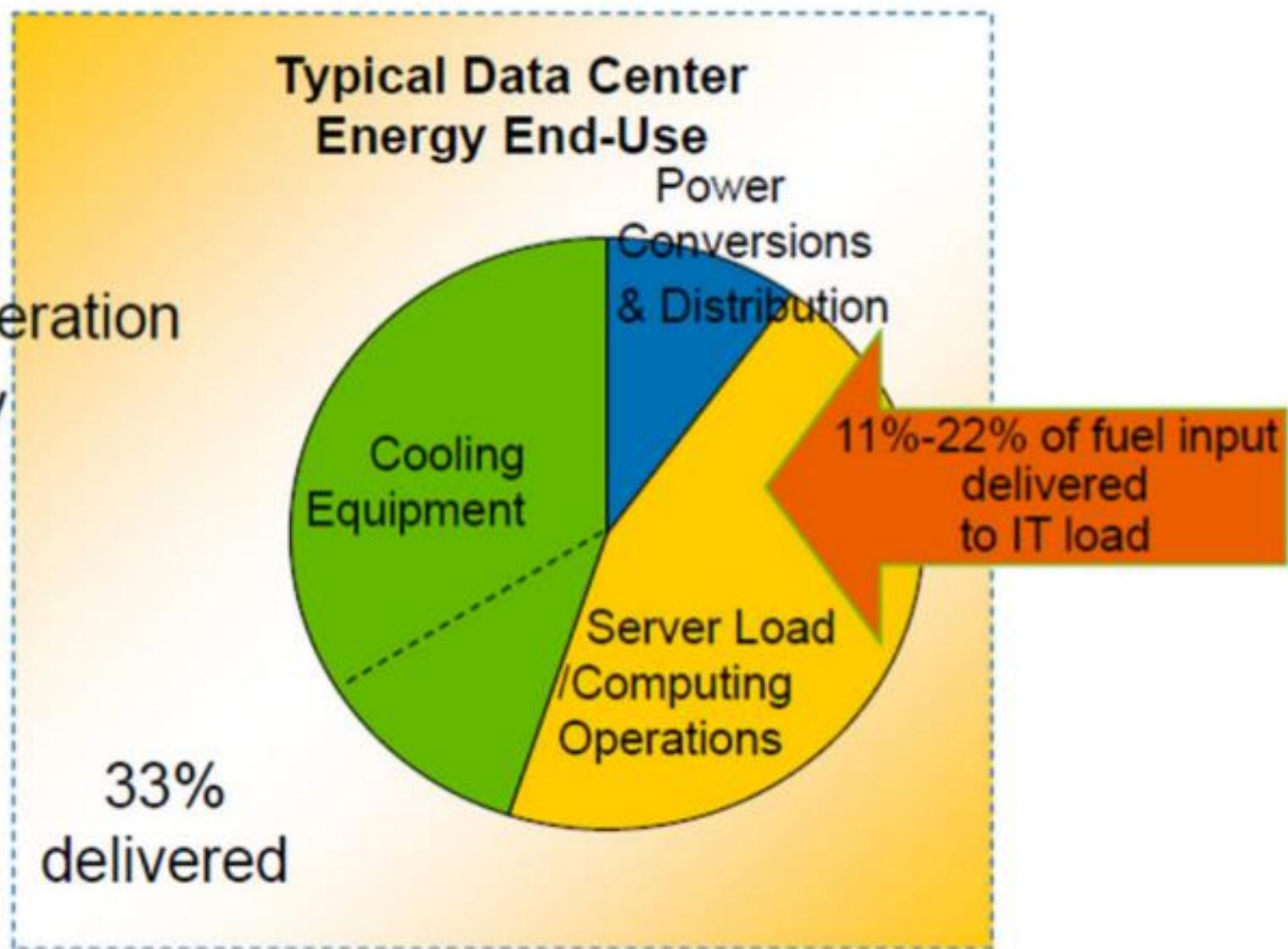
- La potencia eléctrica demandada por una residencia es en promedio de **0,3 kW**
- La potencia demandada por Fugaku equivale a **99.663 residencias** ( $29.899 / 0,3$ )
- Asumiendo 3,25 habitantes por residencia, equivale a **323.904 habitantes** ( $99.663 \times 3,25$ )

# Impacto económico de la supercomputación: aprovechamiento de la energía desde su fuente

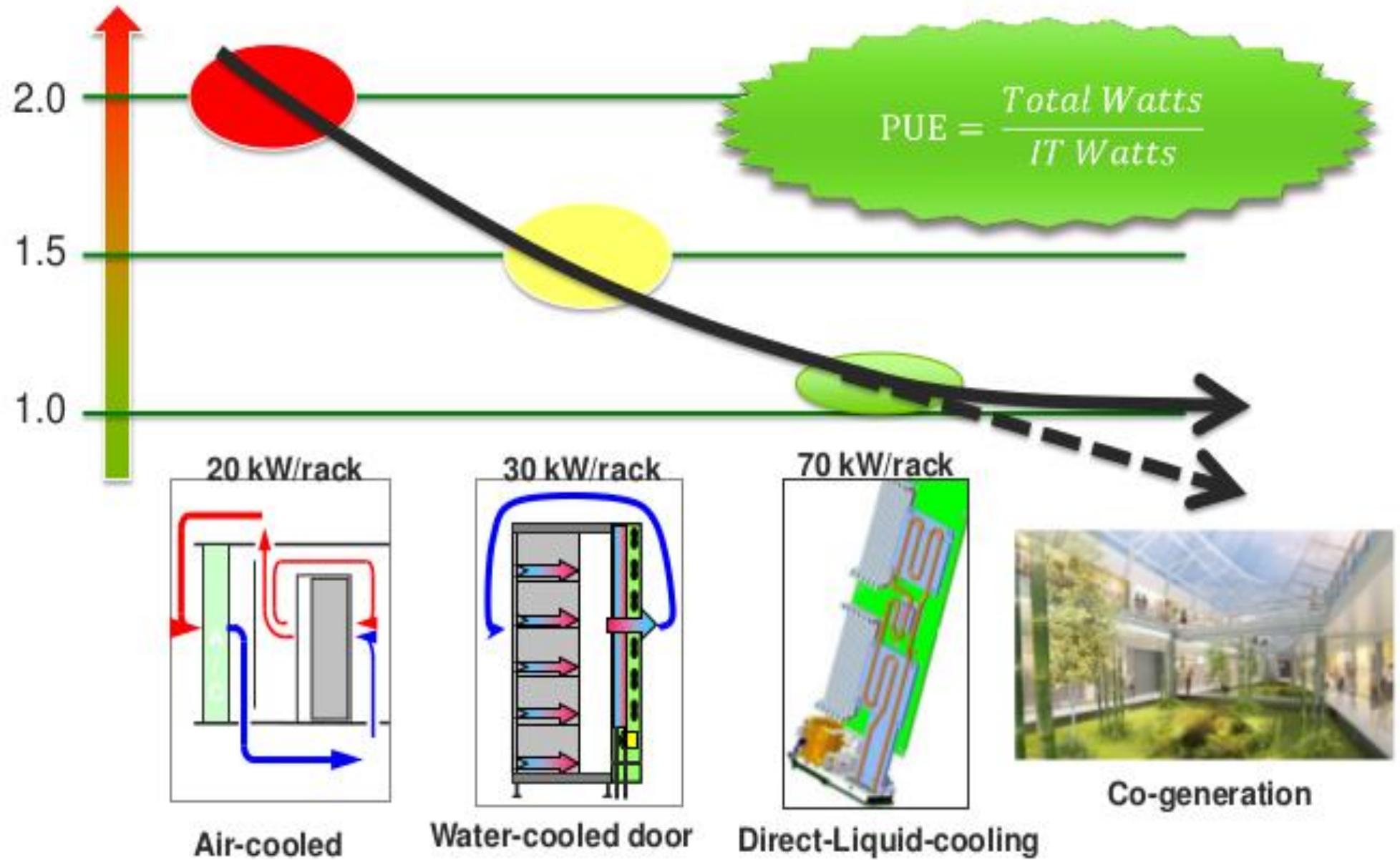
100% fuel input

35% generation efficiency

33% delivered

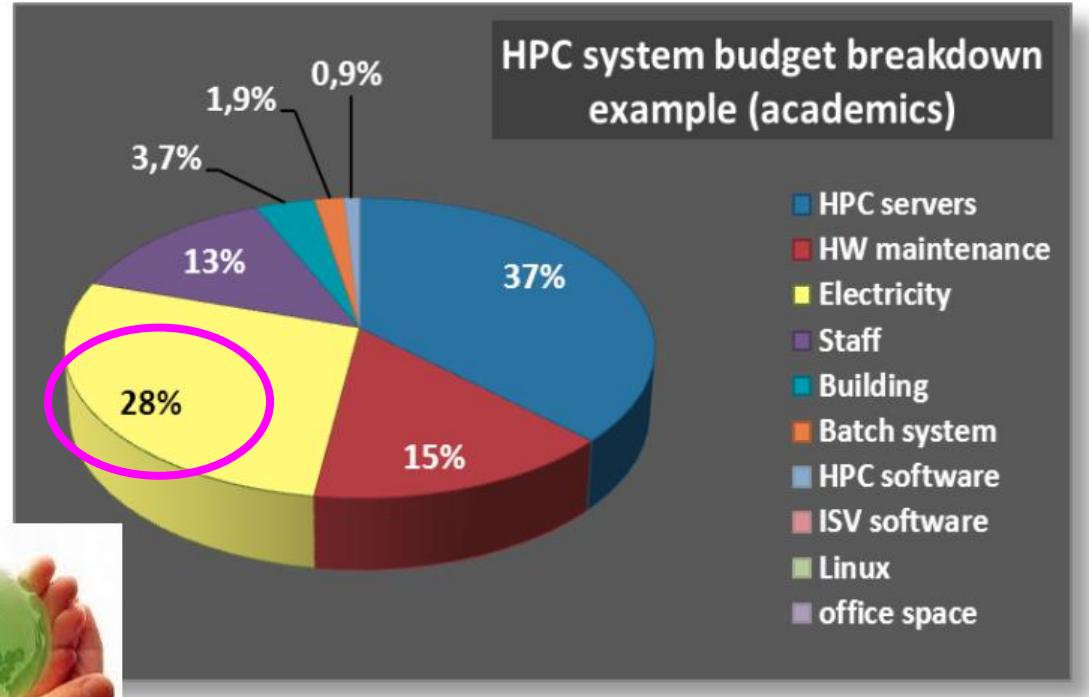


# Impacto económico de la supercomputación: PUE (Power Usage Effectiveness)



# Impacto económico de la supercomputación

¿Cuánto representa el gasto energético para un centro de HPC?



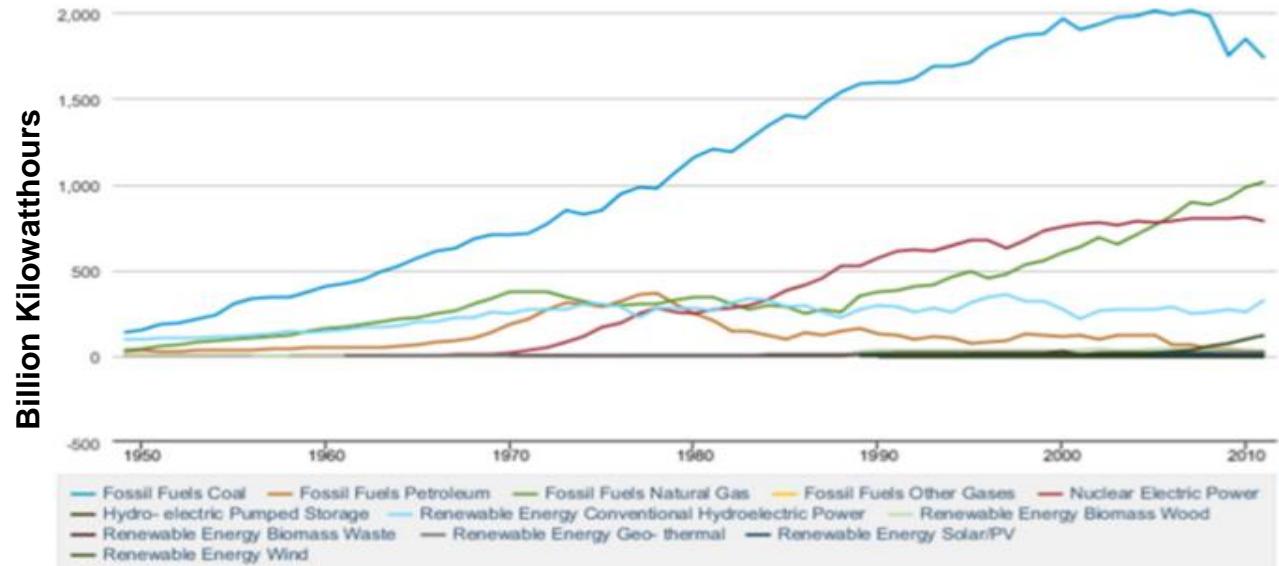
¿Cuál es el costo mensual de electricidad de Fugaku?

- El valor medio de la electricidad industrial en Europa es de 0,11€/kWh
- En un mes, Fugaku consume:

$$29.899 \text{ kW} * (24 * 30) \text{ hs} = 21.527.280 \text{ kWh} \rightarrow € 2.368.000 \text{ por mes}$$

# Impacto social y medioambiental

**Electricity Net Generation:  
Total (All Sectors), 1949-2011**  
Source: U.S. Energy Information  
Administration



## Impacto medioambiental

### > Accidente nuclear de Fukushima

El día 11 de marzo de 2011 se produjo en Fukushima uno de los accidentes nucleares más graves de la historia después del accidente nuclear de Chernobyl.



terremoto de 8,9 grados cerca de la costa noroeste de Japón y un posterior tsunami afectó gravemente la central nuclear de Fukushima Daiichi, en la costa noreste de Japón.

En el momento del accidente nuclear la central de Fukushima disponía de 6 reactores. Los reactores 1, 2 y 3 estaban operando mientras que los reactores nucleares 4, 5 y 6 estaban parados por motivos de mantenimiento.

Google

## Impacto social

The screenshot shows the homepage of Noticieros Televisa. At the top, there's a banner for "LOS EMBAJADORES DEL FUTBOL Y EL ESTILO CONÓCELOS AQUÍ". Below it, the main navigation menu includes links like Televisa, Deportes, Noticieros, Especiales, Esmas, TV, Video, Espectáculos, Mujer, Salud, Niños, Cocina, and Otros. The weather forecast for Mexico City shows a maximum of 15°C. The main content area features a large image of workers at a coal mine and the headline "Las minas de carbón: las más peligrosas".

### Las minas de carbón: las más peligrosas

Por Carla Aguirre/ Pia Salcedo | Fuente: FOROtv | 2012-07-25



- Última hora | Lo más leído
- 12:18 México requiere un mejor destino y trabajar en conjunto: Narro Robles
- México requiere un mejor destino y trabajar en conjunto para vencer los grandes problemas que lo aquejan como la inseguridad, la pobreza, la exclusión, la desigualdad y la ignorancia, afirmó el rector de la UNAM, José Narro Robles
- 12:17 Bachelet retrasa viaje a Estados Unidos para recibir a La Roja
- La presidenta de Chile, Michelle Bachelet, decidió retrasar unas horas su viaje a Estados Unidos para recibir en el Palacio de La Moneda a la Selección Nacional de fútbol, la cual fue eliminada esta víspera de la Copa del Mundo Brasil 2014
- 12:05

# Impacto medioambiental: Green 500 (desde 2007)

**Green Computing** es el estudio y la práctica de la computación ambientalmente sostenible.

San Murugesan (<http://www.pitt.edu/~dtipper/2011/GreenPaper.pdf>) señala que esto puede incluir:

- **Diseño ecológico** - Diseño de componentes, computadoras, servidores, equipos de refrigeración y centros de datos que sean energéticamente eficientes y con racionalidad ambiental.
- **Eliminación ecológica** - reacondicionamiento y reuso de las viejas computadoras, y correcto reciclaje de computadoras y otros equipos electrónicos desechados.
- **Manufactura ecológica** - Fabricación de componentes electrónicos, ordenadores y otros subsistemas asociados con un impacto mínimo sobre el medio ambiente.
- **Uso ecológico** - reducción del consumo de energía de las computadoras y otros sistemas de información, así como su uso de manera ambientalmente racional.

The screenshot shows the homepage of THE GREEN 500. At the top left is the logo 'THE GREEN 500™' with a green plug icon integrated into the letter 'O'. To the right are three dropdown menus labeled 'CHOOSE LIST', 'GROUPING', and 'VIEW AS', each with a downward arrow. Below these is a large button labeled 'DISPLAY'. The background features a blue gradient with a circuit board pattern. A prominent banner at the bottom reads 'Ranking the World's Most ENERGY-EFFICIENT SUPERCOMPUTERS' in white text. On the right side of the banner, there is a small illustration of a server rack with a green leaf sprouting from its base.

# Green 500. Junio de 2014

Green500 Rank	MFLOPS/W	Site*	Computer*	Total Power (kW)
1	4,389.82	GSIC Center, Tokyo Institute of Technology	TSUBAME-KFC - LX 1U-4GPU/104Re-1G Cluster, Intel Xeon E5-2620v2 6C 2.100GHz, Infiniband FDR, NVIDIA K20x	34.58
2	3,631.70	Cambridge University	Wilkes - Dell T620 Cluster, Intel Xeon E5-2630v2 6C 2.600GHz, Infiniband FDR, NVIDIA K20	52.62
3	3,517.84	Center for Computational Sciences, University of Tsukuba	HA-PACS TCA - Cray 3623G4-SM Cluster, Intel Xeon E5-2680v2 10C 2.800GHz, Infiniband QDR, NVIDIA K20x	78.77
•				
498	48.38	Web Content Provider	HP DL160 Cluster G6, Xeon E5645 6C 2.40GHz, Gigabit Ethernet	4,458.00
499	42.33	Financial Services Company (G)	Cluster Platform SL165z G7, Opteron 6172 12C 2.100GHz, Gigabit Ethernet	3,340.80
500	34.41	Government	Cray XT5 QC 2.4 GHz	4,812.42

# Green 500. Junio de 2015

Green500 Rank	MFLOPS/W	Site*	Computer*	Total Power (kW)
1	7,031.58	RIKEN	Shoubu - ExaScaler-1.4 80Brick, Xeon E5-2618Lv3 8C 2.3GHz, Infiniband FDR, PEZY-SC	50.32
2	6,842.31	High Energy Accelerator Research Organization /KEK	Suiren Blue - ExaScaler-1.4 16Brick, Xeon E5-2618Lv3 8C 2.3GHz, Infiniband, PEZY-SC	28.25
3	6,217.04	High Energy Accelerator Research Organization /KEK	Suiren - ExaScaler 32U256SC Cluster, Intel Xeon E5-2660v2 10C 2.2GHz, Infiniband FDR, PEZY-SC	32.59
4	5,271.81	GSI Helmholtz Center	ASUS ESC4000 FDR/G2S, Intel Xeon E5-2690v2 10C 3GHz, Infiniband FDR, AMD FirePro S9150	57.15
5	4,257.88	GSIC Center, Tokyo Institute of Technology	TSUBAME-KFC - LX 1U-4GPU/104Re-1G Cluster, Intel Xeon E5-2620v2 6C 2.100GHz, Infiniband FDR, NVIDIA K20x	39.83
6	4,112.11	Stanford Research Computing Center	XStream - Cray CS-Storm, Intel Xeon E5-2680v2 10C 2.8GHz, Infiniband FDR, Nvidia K80	190.00
7	3,962.73	Cray Inc.	Storm1 - Cray CS-Storm, Intel Xeon E5-2660v2 10C 2.2GHz, Infiniband FDR, Nvidia K40m	44.54
8	3,631.70	Cambridge University	Wilkes - Dell T620 Cluster, Intel Xeon E5-2630v2 6C 2.600GHz, Infiniband FDR, NVIDIA K20	52.62
9	3,614.71	TU Dresden, ZIH	Taurus GPUs - Bull bulix R400, Xeon E5-2680v3 12C 2.5GHz, Infiniband FDR, Nvidia K80	58.01
10	3,543.32	Financial Institution	iDataPlex DX360M4, Intel Xeon E5-2680v2 10C 2.800GHz, Infiniband, NVIDIA K20x	54.60

# Green 500. Noviembre de 2021

## Green500 Data

Rank	TOP500 Rank	System	Cores	Rmax	Power (kW)	Power Efficiency (GFlops/watts)
				(TFlop/s)		
1	301	MN-3 - MN-Core Server, Xeon Platinum 8260M 24C 2.4GHz, Preferred Networks MN-Core, MN-Core DirectConnect, Preferred Networks Preferred Networks Japan	1,664	2,181.2	55	39.379
2	291	<b>SSC-21 Scalable Module</b> - Apollo 6500 Gen10 plus, AMD EPYC 7543 32C 2.8GHz, NVIDIA A100 80GB, Infiniband HDR200, HPE Samsung Electronics South Korea	16,704	2,274.1	103	33.983

# ¿Cómo se reduce el consumo energético?

- La **energía** es la **principal restricción de diseño de los procesadores actuales**.
- Las **técnicas para reducir el consumo energético** involucran tanto al hardware como al software. Algunas de las más importantes son:
  - Técnicas de nivel de circuito y lógico:
    - tecnología de dispositivos (transistores)
    - reordenamiento de puertas lógicas
  - Explotación del paralelismo: más cores a menor frecuencia
  - Interconexión de unidades funcionales y nodos: rediseño de buses y redes de interconexión
  - Optimizaciones de memoria: acceso a la cache vs. a memoria
  - ...

# ¿Cómo se reduce el consumo energético?

- Arquitecturas adaptables e hibernación de recursos
  - Caches de activación parcial
  - Discos, cores, unidades funcionales, NICs, memorias
- Integración on-chip
- Procesadores de propósito especial
- Escalado dinámico de frecuencia y tensión (DVFS)
- Arquitecturas asimétricas: cores rápidos y cores lentos en un mismo chip. Ejemplo: ARM big.LITTLE

# GRACIAS