

# 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.

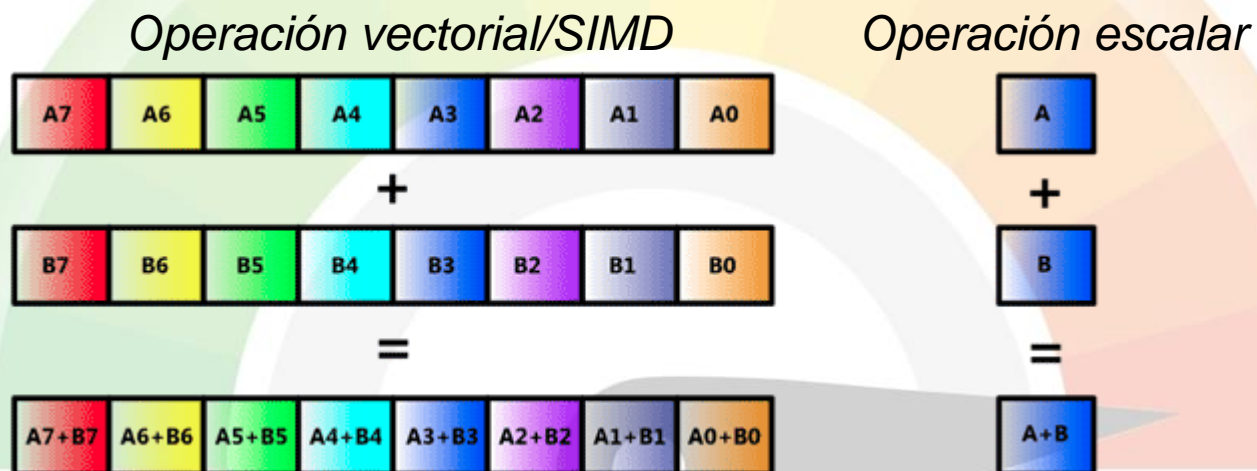
- **Evaluación**

- Cuestionario teórico-practico

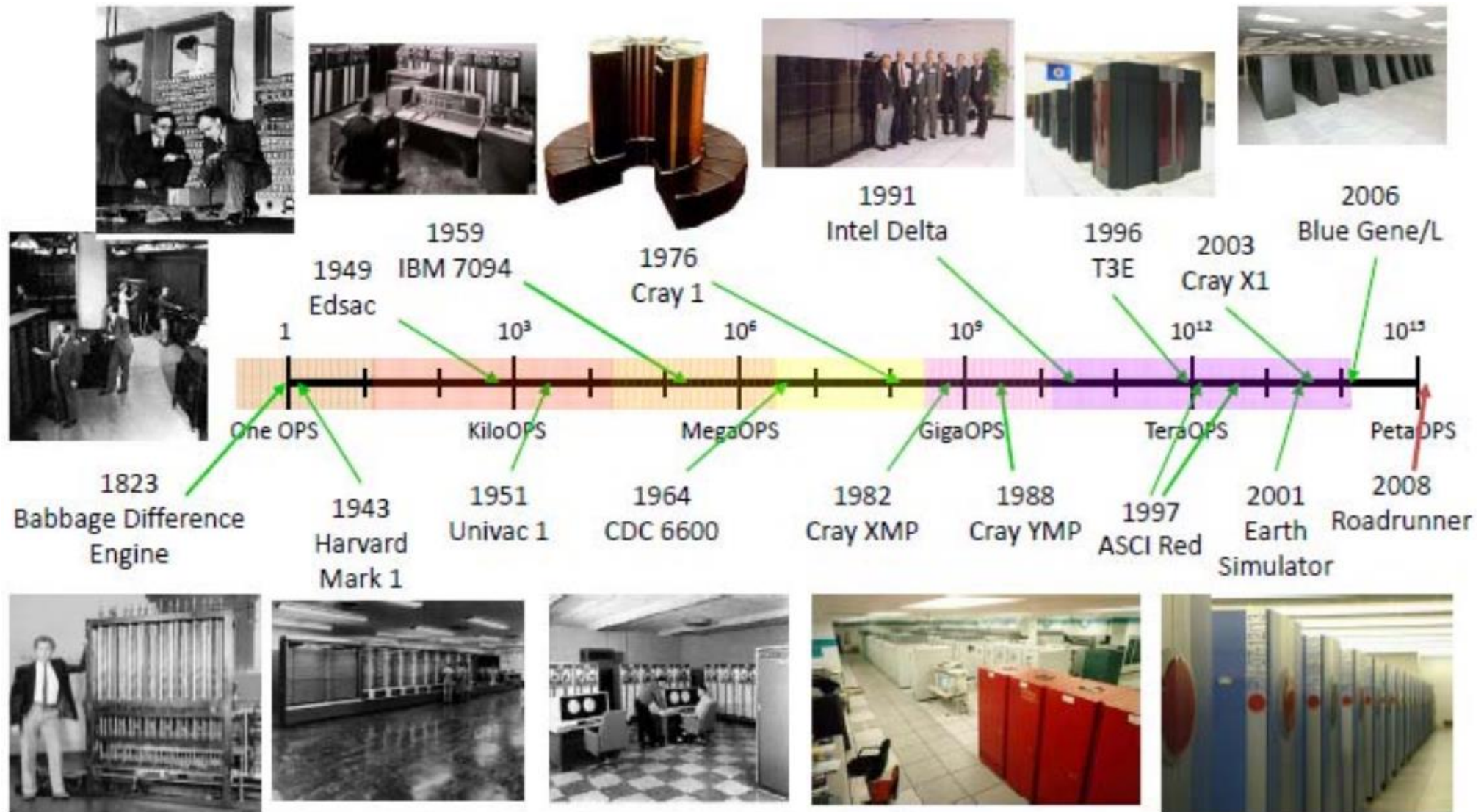
# **Eficiencia computacional**

# ¿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....



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

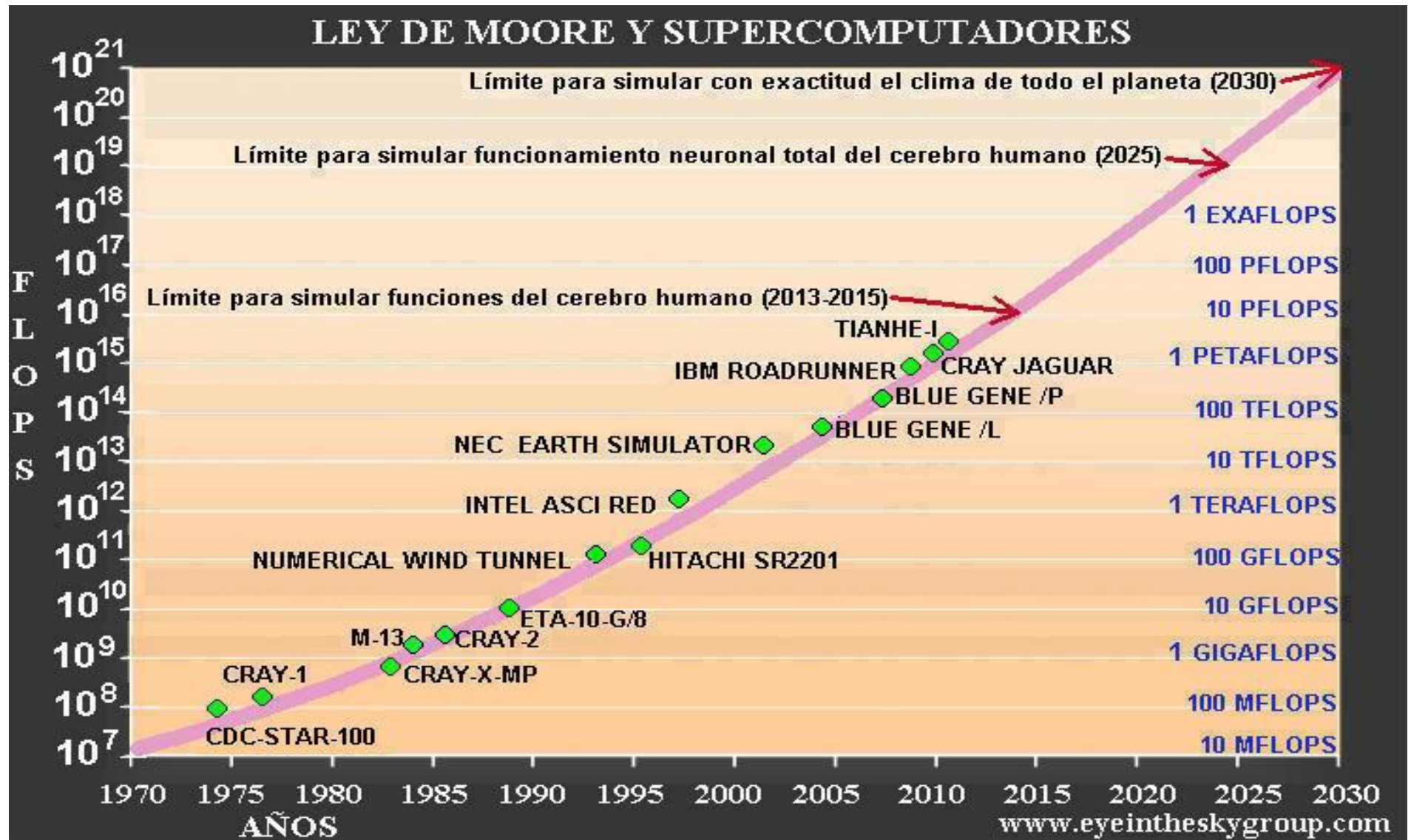
1985 Cray-2







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





# TOP 500



Primera lista: Junio de 1993

Última lista: Noviembre de 2021

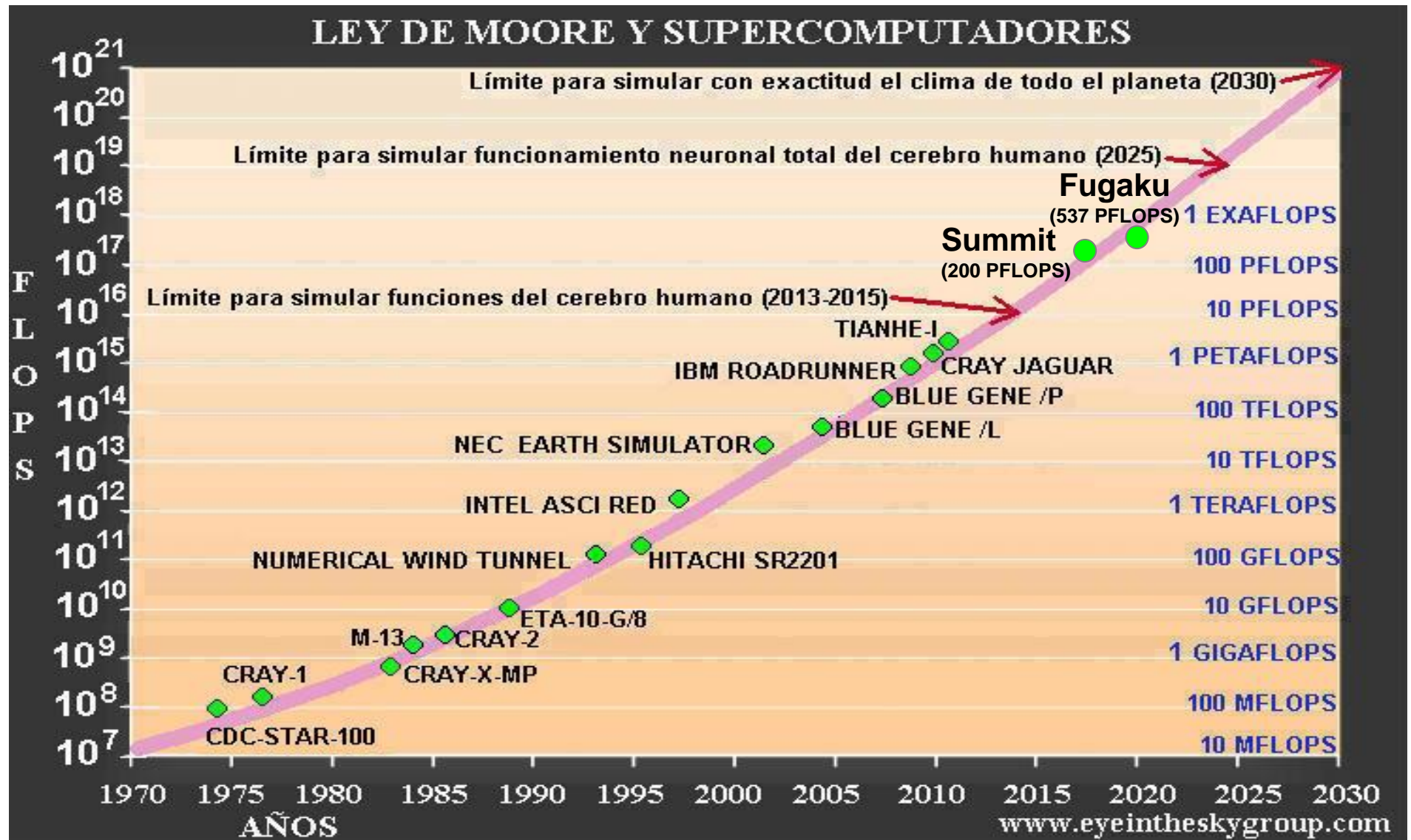
Rank	System	Cores	Rmax (TFlop/s)	Rpeak (TFlop/s)	Power (kW)
1	<b>Supercomputer Fugaku</b> - Supercomputer Fugaku, A64FX 48C 2.2GHz, Tofu interconnect D, Fujitsu RIKEN Center for Computational Science Japan	7,630,848	442,010.0	537,212.0	29,899
2	<b>Summit</b> - IBM Power System AC922, IBM POWER9 22C 3.07GHz, 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	<b>Sierra</b> - 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

1<sup>er</sup> lugar desde  
06/2020

1<sup>er</sup> lugar desde  
06/2018

*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>

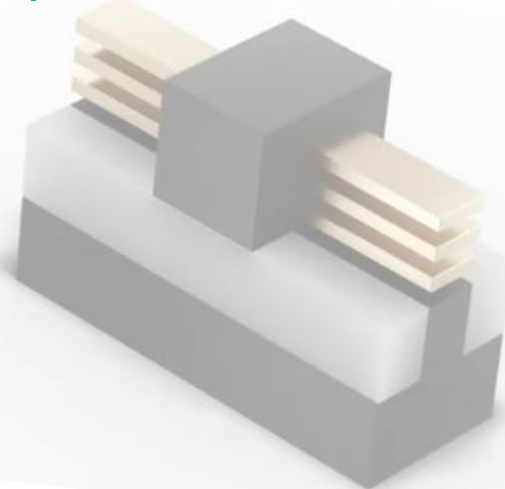
¿En qué consisten las innovaciones que según Intel permitiría mantener la ley de Moore?

TECNOLOGÍA

### 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



Jonathan Koomey

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

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

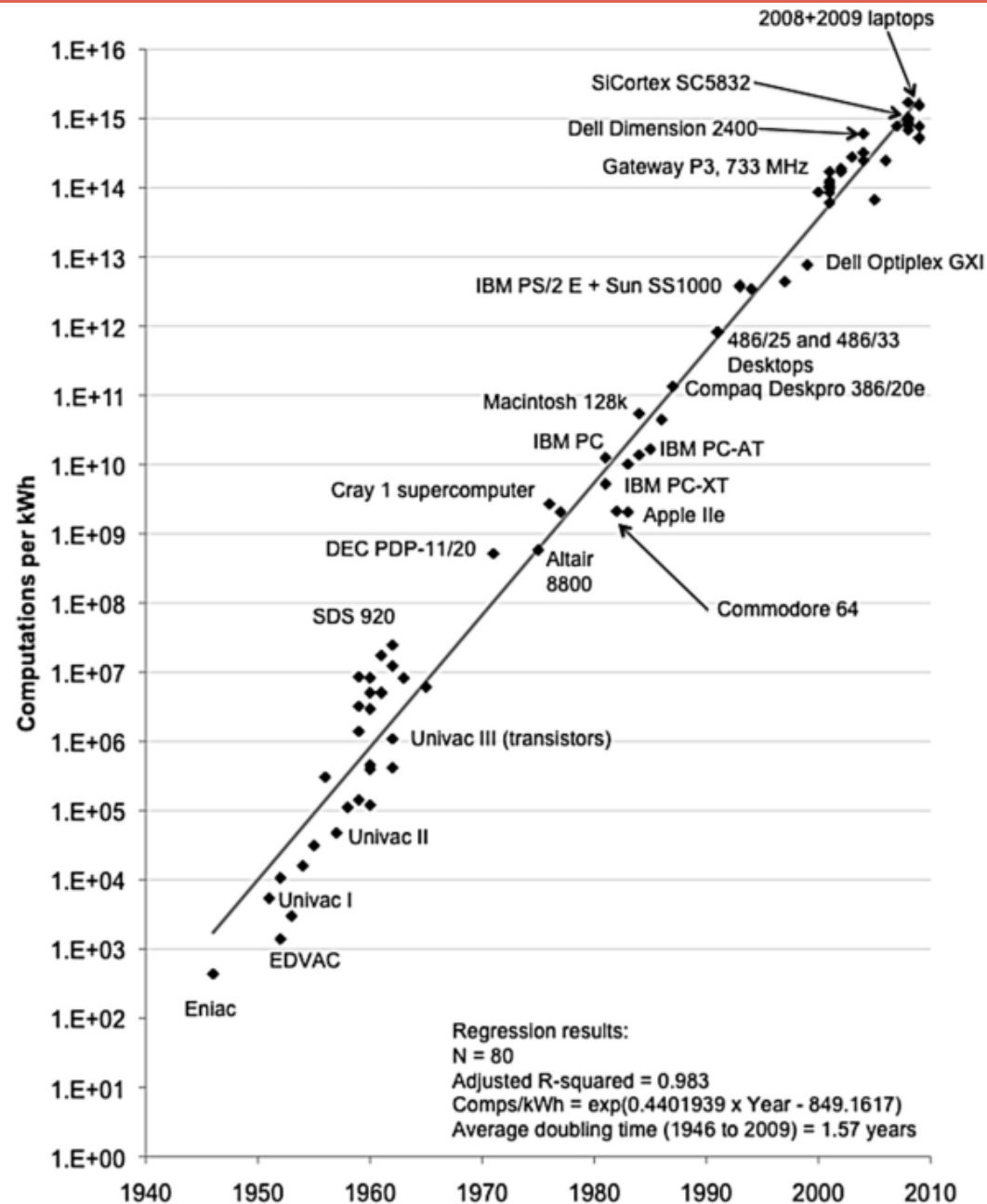
Jonathan G. Koomey  
*Stanford University*

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

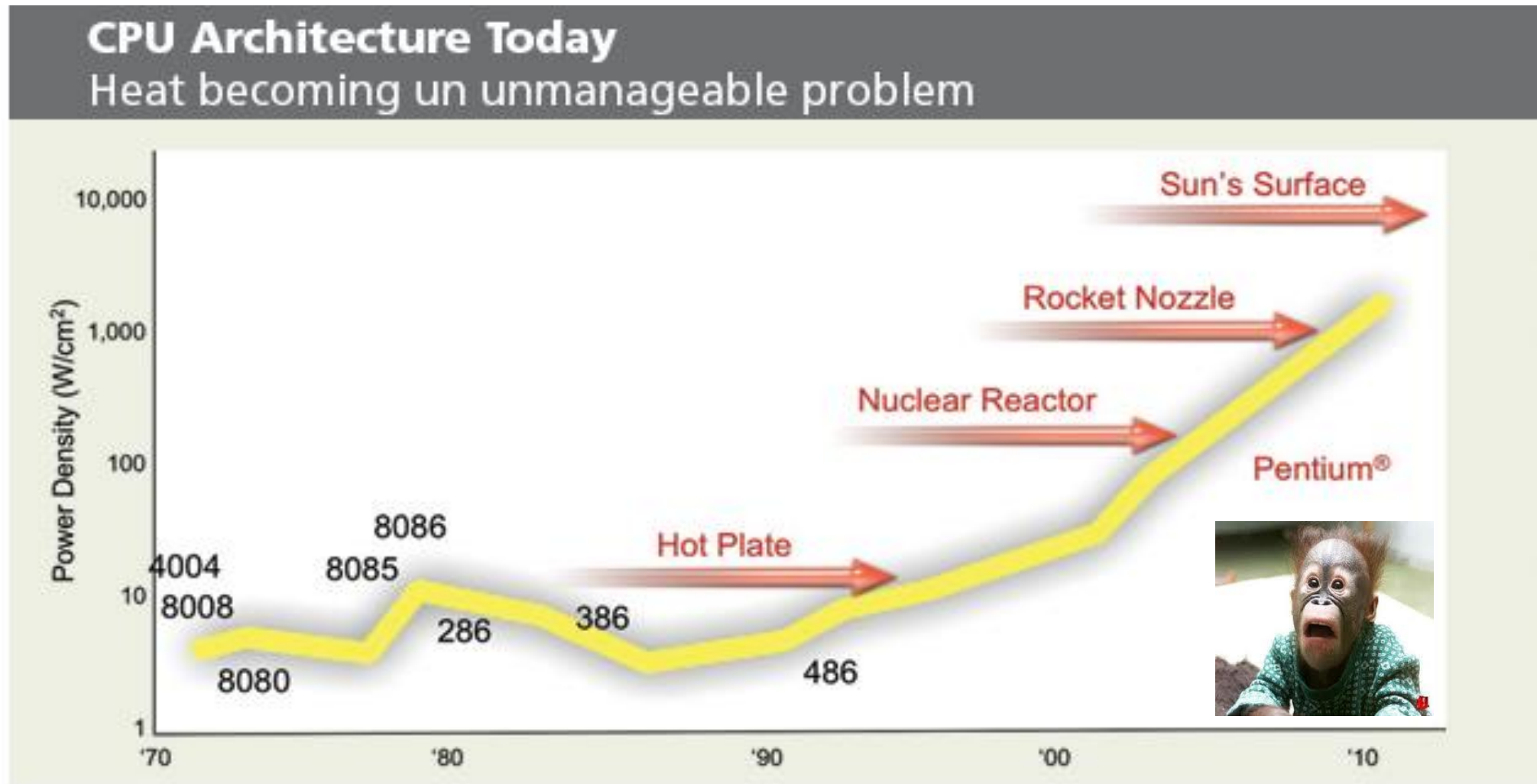


## Power Wall

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>

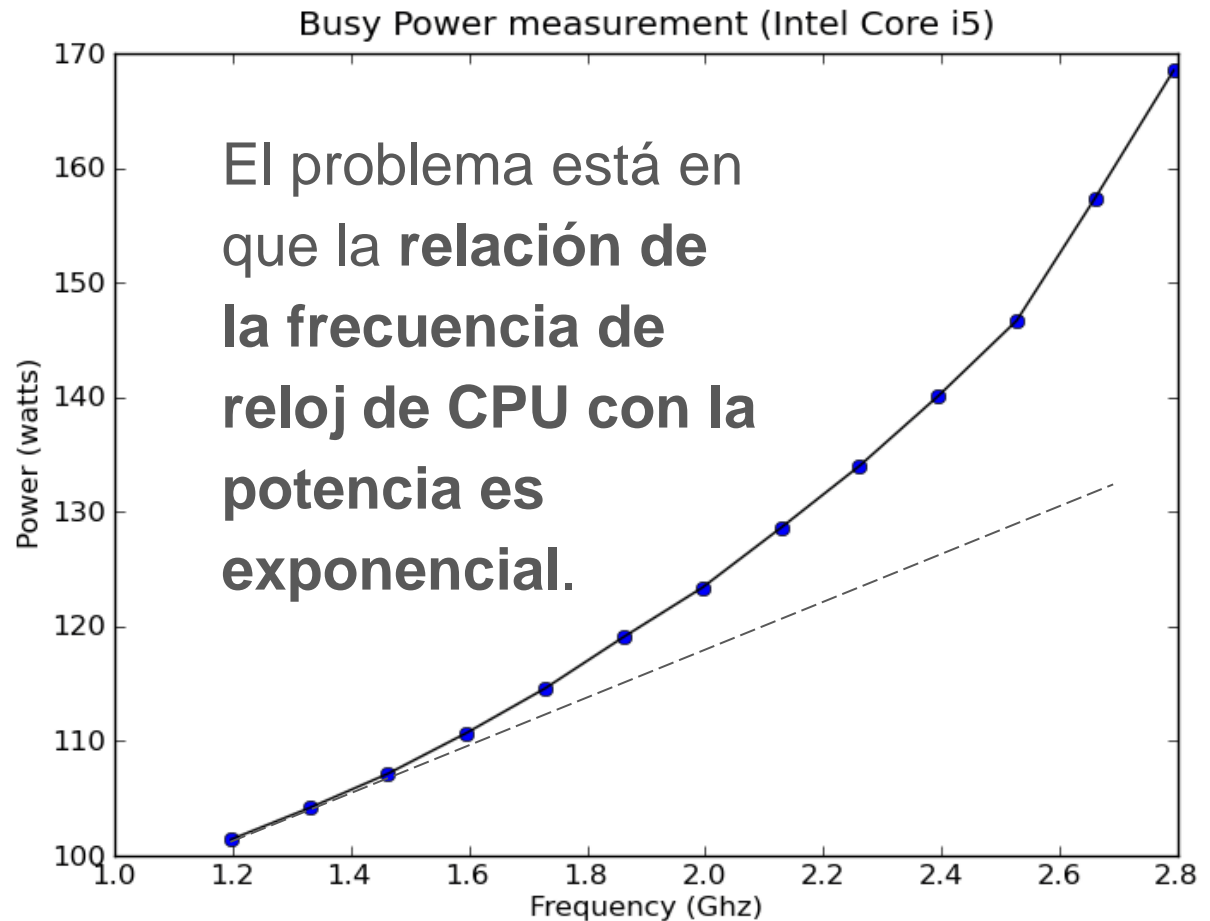


**Figure 1.** In CPU architecture today, heat is becoming an unmanageable problem.  
(Courtesy of Pat Gelsinger, Intel Developer Forum, Spring 2004)



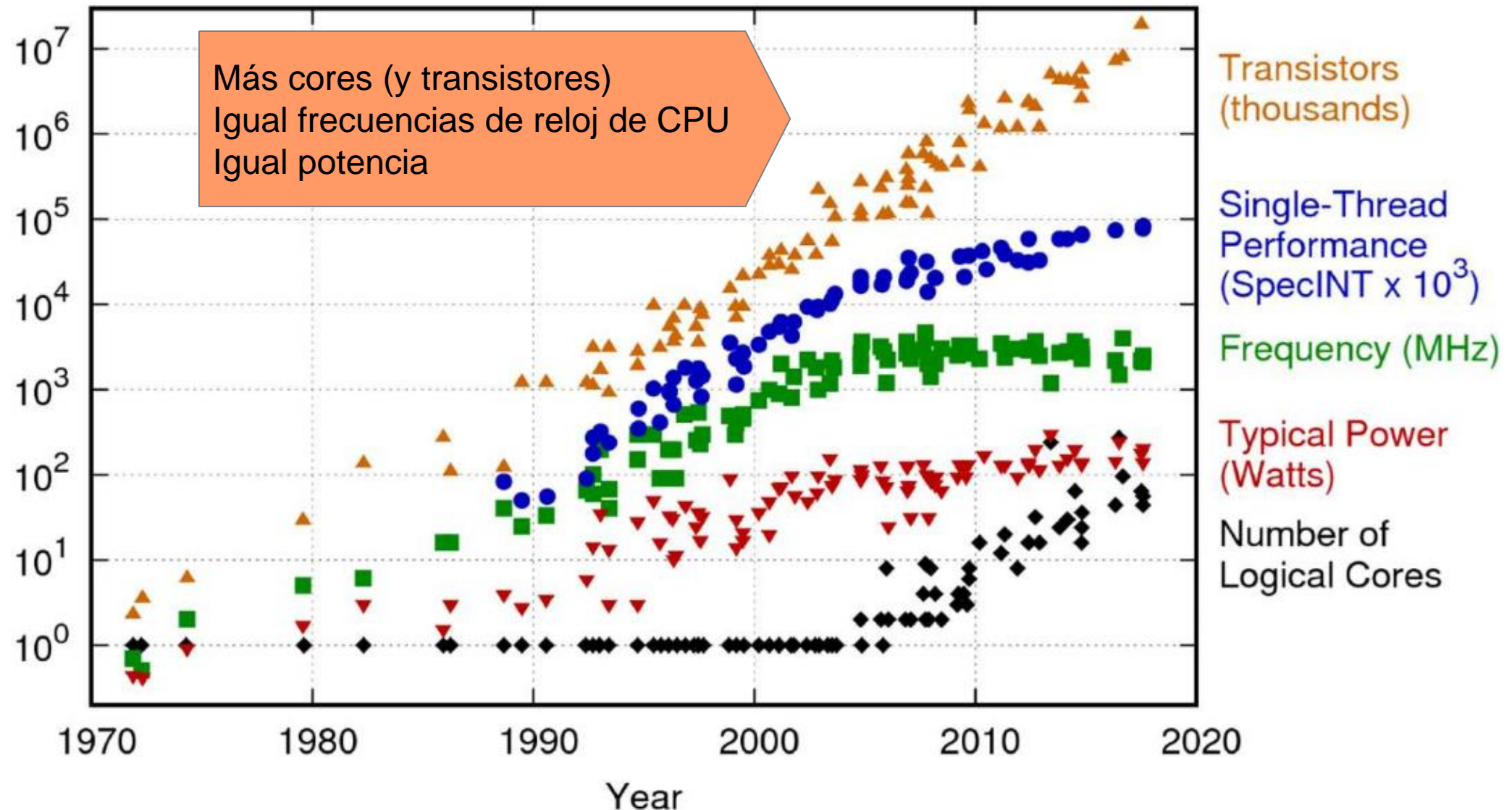
# Power Wall Relación: Frecuencia del reloj - Potencia

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.



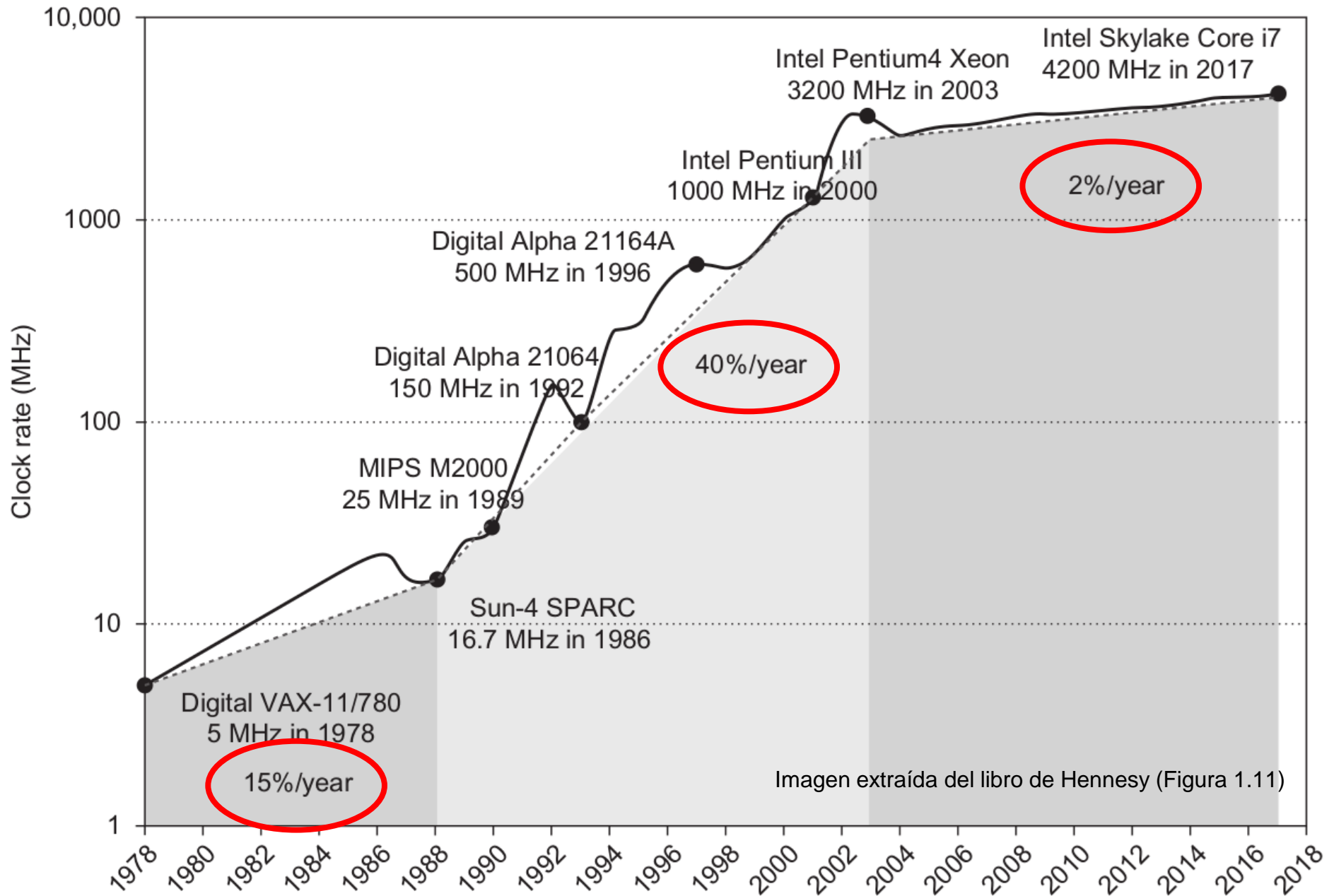
¿Qué demanda más potencia, un core de 2.4GHz o dos de 1.2GHz?  
¿y entre un core de 4.8GHz o cuatro de 1.2GHz?

# 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



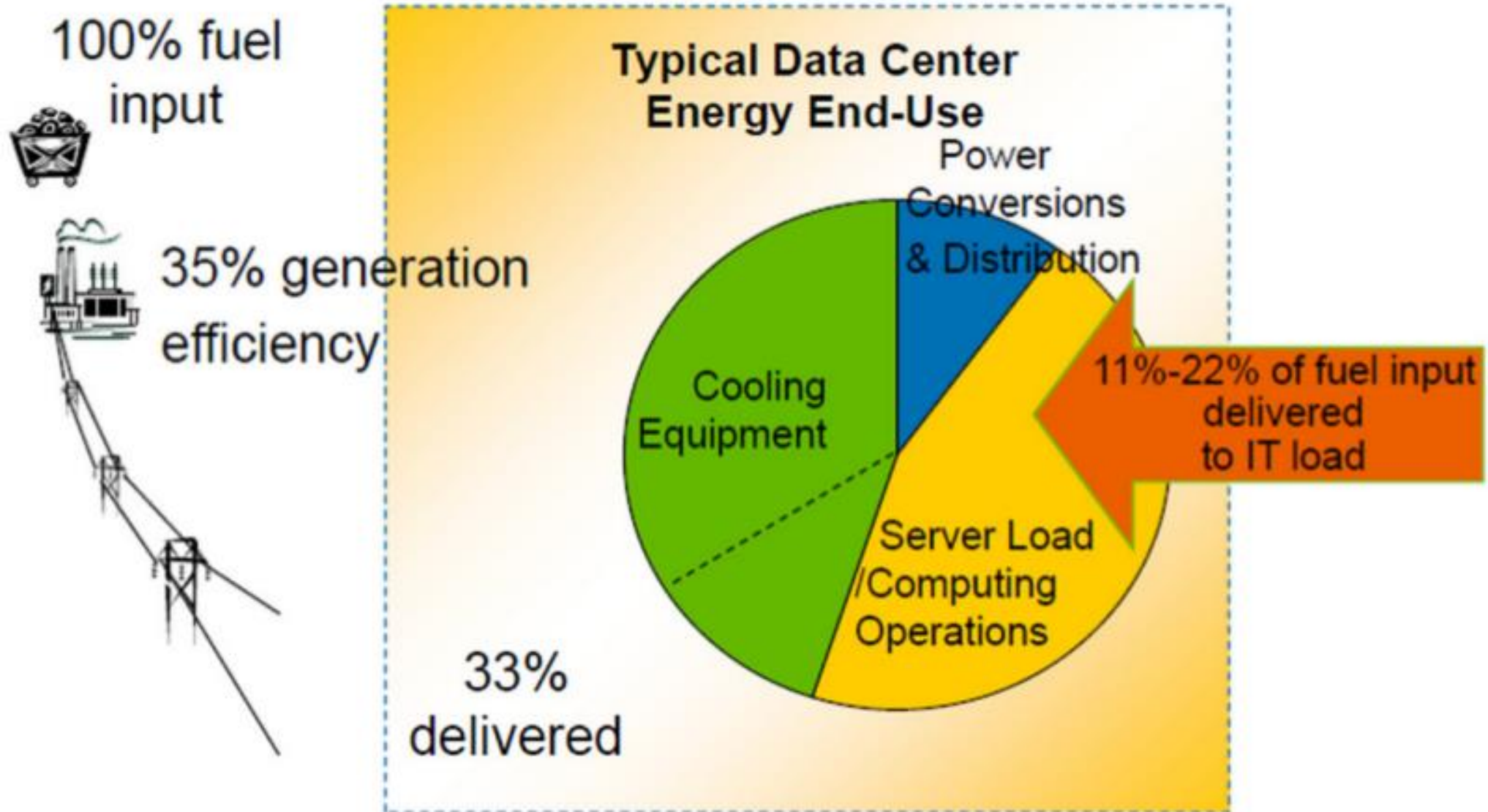
Primera lista: Junio de 1993  
Última lista: Noviembre de 2021

Rank	System	Cores	Rmax (TFlop/s)	Rpeak (TFlop/s)	Power (kW)
1	<b>Supercomputer Fugaku</b> - 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	<b>Summit</b> - 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	<b>Sierra</b> - 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

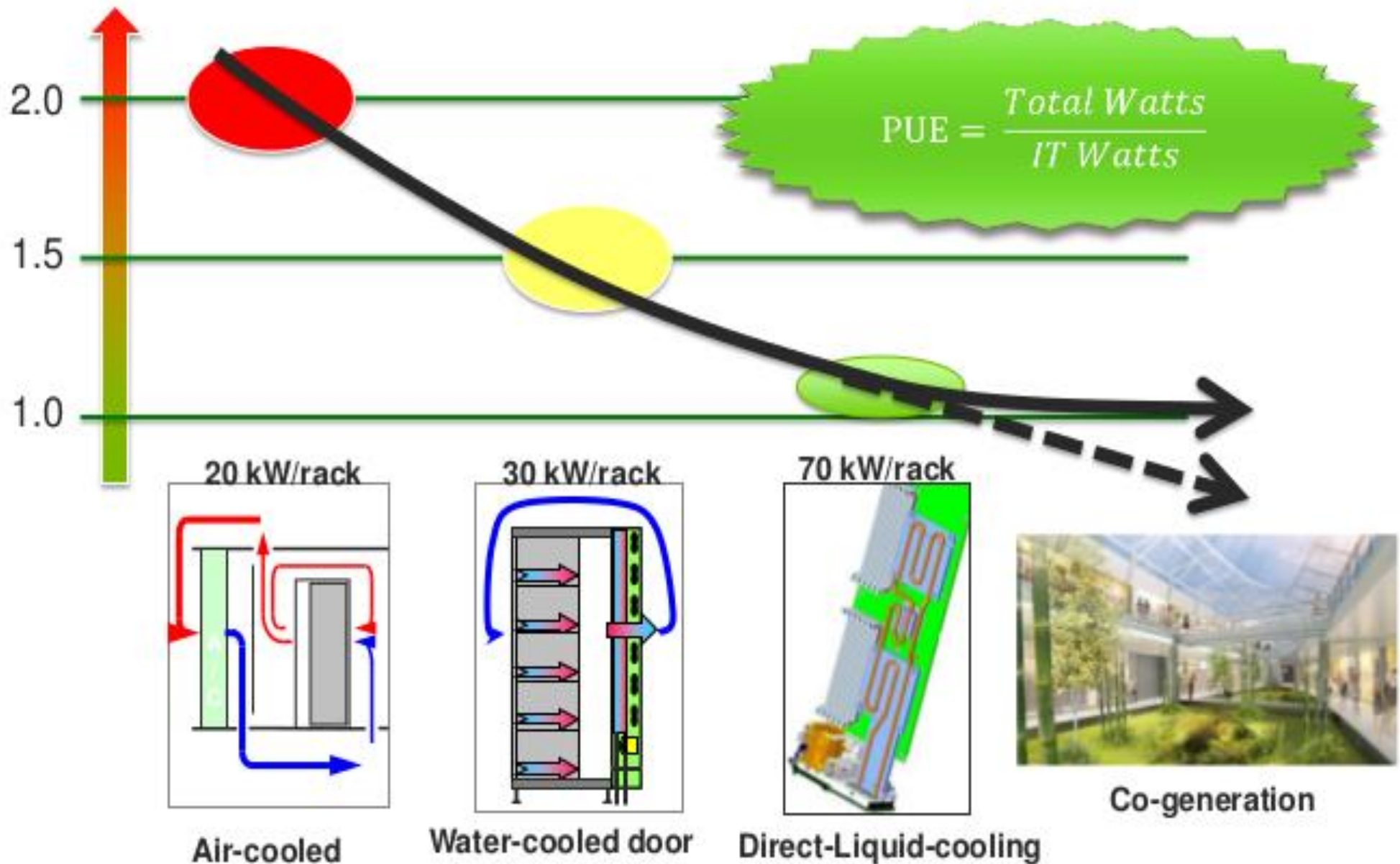
- La potencia eléctrica demandada por una residencia es en promedio de **0,3 kW**
- La potencia demandada por Fugaku equivale a **99.663 residencias** ( $29.899 / 0,3$ )
- Asumiendo 3,25 habitantes por residencia, equivale a **323.904 habitantes** ( $99.663 \times 3,25$ )



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

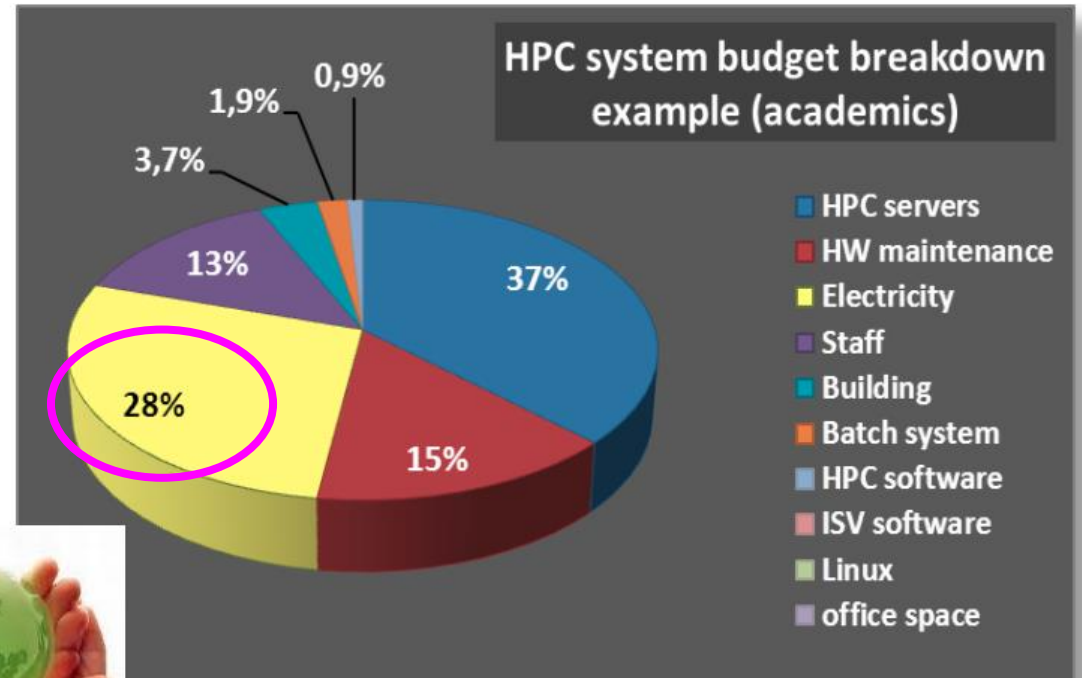


# Impacto económico de la supercomputación: PUE (Power Usage Effectiveness)



# 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:

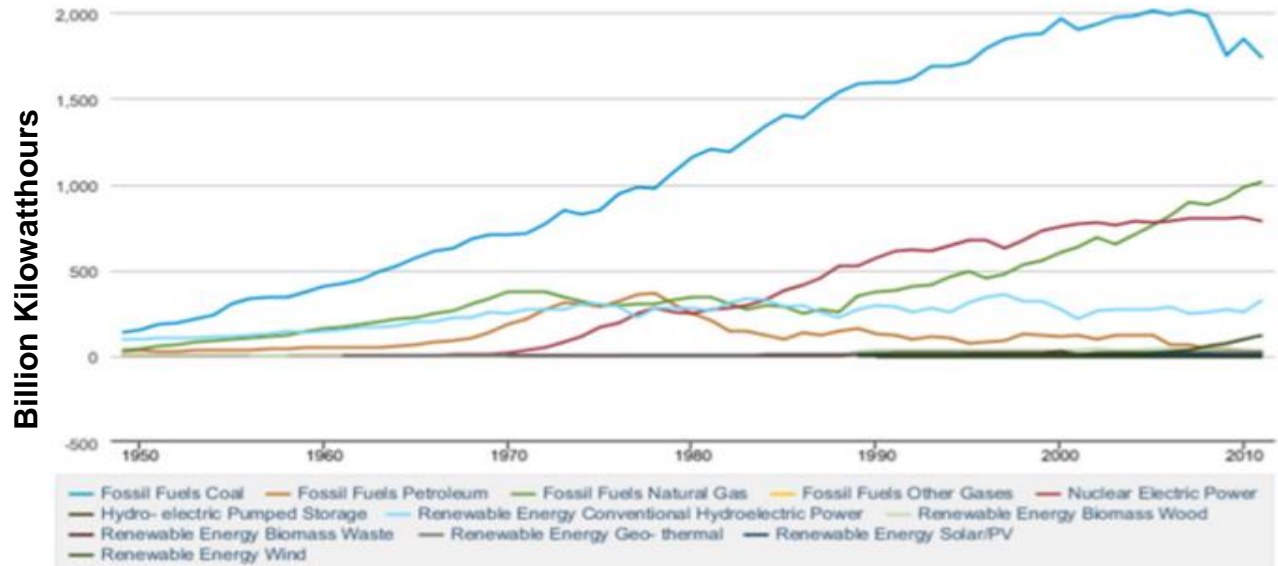
**29.899 kW \* (24 \* 30) hs = 21.527.280 kWh → € 2.368.000 por mes**



# 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.

Ha terminado. [Deshacer](#)

¿Qué ha ocurrido con este anuncio?

- ☒ Inapropiado
- ☐ Repetitivo
- ☐ Irrelevante

Un



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

noticirostelevisa.esmas.com/especiales/478764/las-minas-carbon-mas-peligrosas/

**LOS EMBAJADORES DEL FUTBOL Y EL ESTILO**  
CONÓCELOS AQUÍ

Televisa Deportes Noticieros Especiales Esmas TV Video Espectáculos Mujer Salud Niños Cocina Otros

México City  
Máx. 15° Min. 15°

Buscar

### Las minas de carbón: las más peligrosas

Por Carla Aguirre/Plá 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 **GREEN**  
500™

Statistics Search

CHOOSE LIST ▼

GROUPING ▼

VIEW AS ▼

DISPLAY

Ranking the World's Most  
**ENERGY-EFFICIENT SUPERCOMPUTERS**



# 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)
<b>1</b>	<b>7,031.58</b>	RIKEN	Shoubu - ExaScaler-1.4 80Brick, Xeon E5-2618Lv3 8C 2.3GHz, Infiniband FDR, PEZY-SC	50.32
<b>2</b>	<b>6,842.31</b>	High Energy Accelerator Research Organization /KEK	Suiren Blue - ExaScaler-1.4 16Brick, Xeon E5-2618Lv3 8C 2.3GHz, Infiniband, PEZY-SC	28.25
<b>3</b>	<b>6,217.04</b>	High Energy Accelerator Research Organization /KEK	Suiren - ExaScaler 32U256SC Cluster, Intel Xeon E5-2660v2 10C 2.2GHz, Infiniband FDR, PEZY-SC	32.59
<b>4</b>	<b>5,271.81</b>	GSI Helmholtz Center	ASUS ESC4000 FDR/G2S, Intel Xeon E5-2690v2 10C 3GHz, Infiniband FDR, AMD FirePro S9150	57.15
<b>5</b>	<b>4,257.88</b>	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
<b>6</b>	<b>4,112.11</b>	Stanford Research Computing Center	XStream - Cray CS-Storm, Intel Xeon E5-2680v2 10C 2.8GHz, Infiniband FDR, Nvidia K80	190.00
<b>7</b>	<b>3,962.73</b>	Cray Inc.	Storm1 - Cray CS-Storm, Intel Xeon E5-2660v2 10C 2.2GHz, Infiniband FDR, Nvidia K40m	44.54
<b>8</b>	<b>3,631.70</b>	Cambridge University	Wilkes - Dell T620 Cluster, Intel Xeon E5-2630v2 6C 2.600GHz, Infiniband FDR, NVIDIA K20	52.62
<b>9</b>	<b>3,614.71</b>	TU Dresden, ZIH	Taurus GPUs - Bull bullx R400, Xeon E5-2680v3 12C 2.5GHz, Infiniband FDR, Nvidia K80	58.01
<b>10</b>	<b>3,543.32</b>	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 (TFlop/s)	Power (kW)	Power Efficiency (GFlops/watts)
1	301	<b>MN-3</b> - MN-Core Server, Xeon Platinum 8260M 24C 2.4GHz, Preferred Networks MN-Core, MN-Core DirectConnect, 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

A word cloud featuring the word 'thank you' in various languages. The words are arranged in a circular pattern around a central, large, bold red word. The languages include Spanish, Japanese, Italian, Chinese, English, French, German, Vietnamese, and Thai. The words are in various colors and sizes, creating a vibrant and multicultural visual.

**GRACIAS**