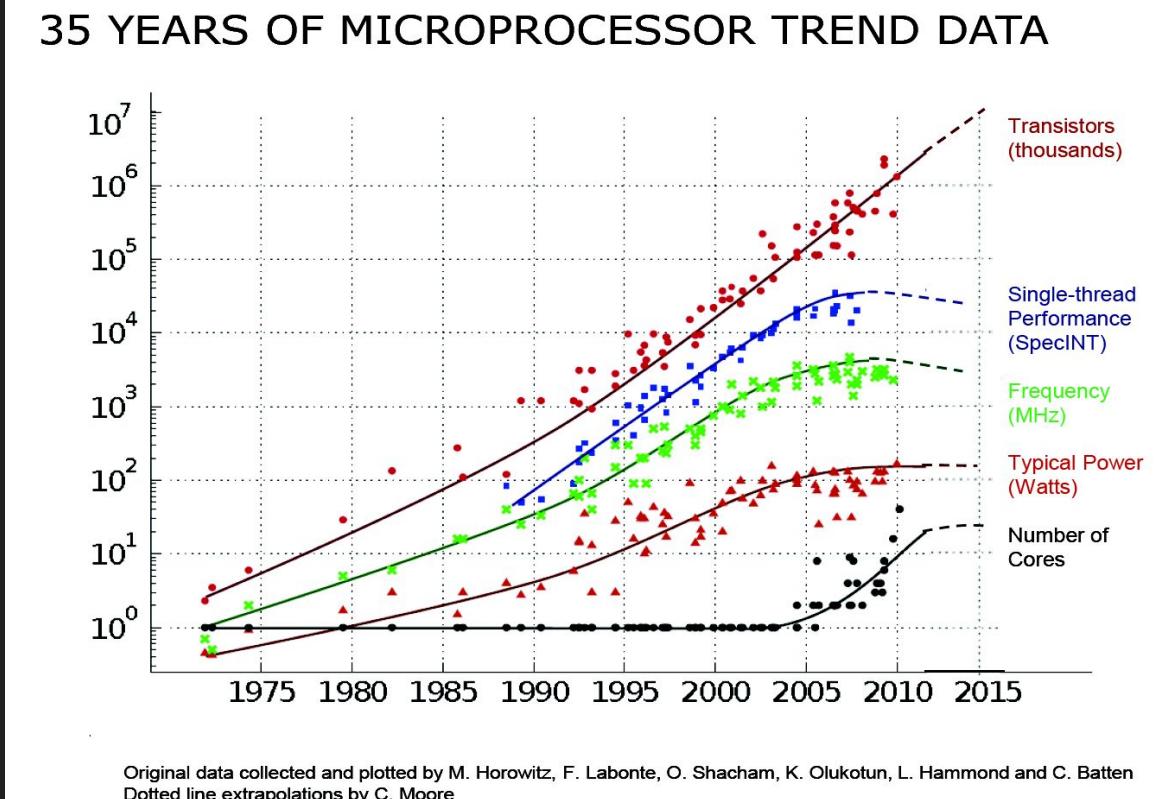


Hardware de HPC

INFO335 - Computación de Alto Rendimiento

Tendencia en procesadores



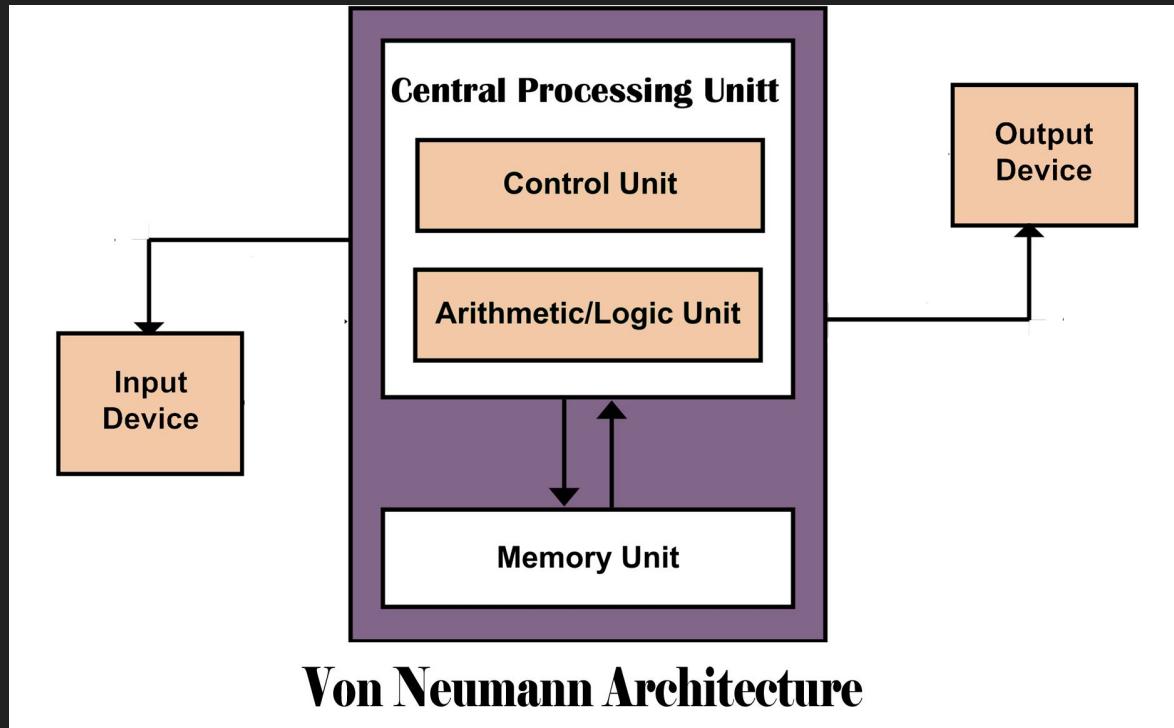
Contenidos

1. CPU
2. Cluster → Supercomputador
3. Grid y Cloud
4. GPU
5. FPGA
6. TPU

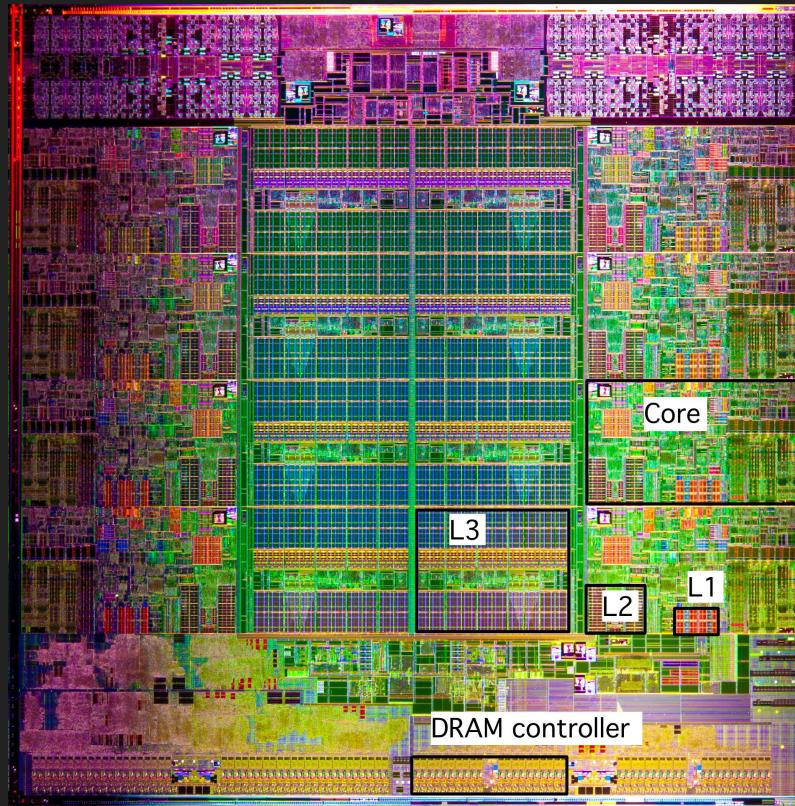
CPU (Central Processing Unit)



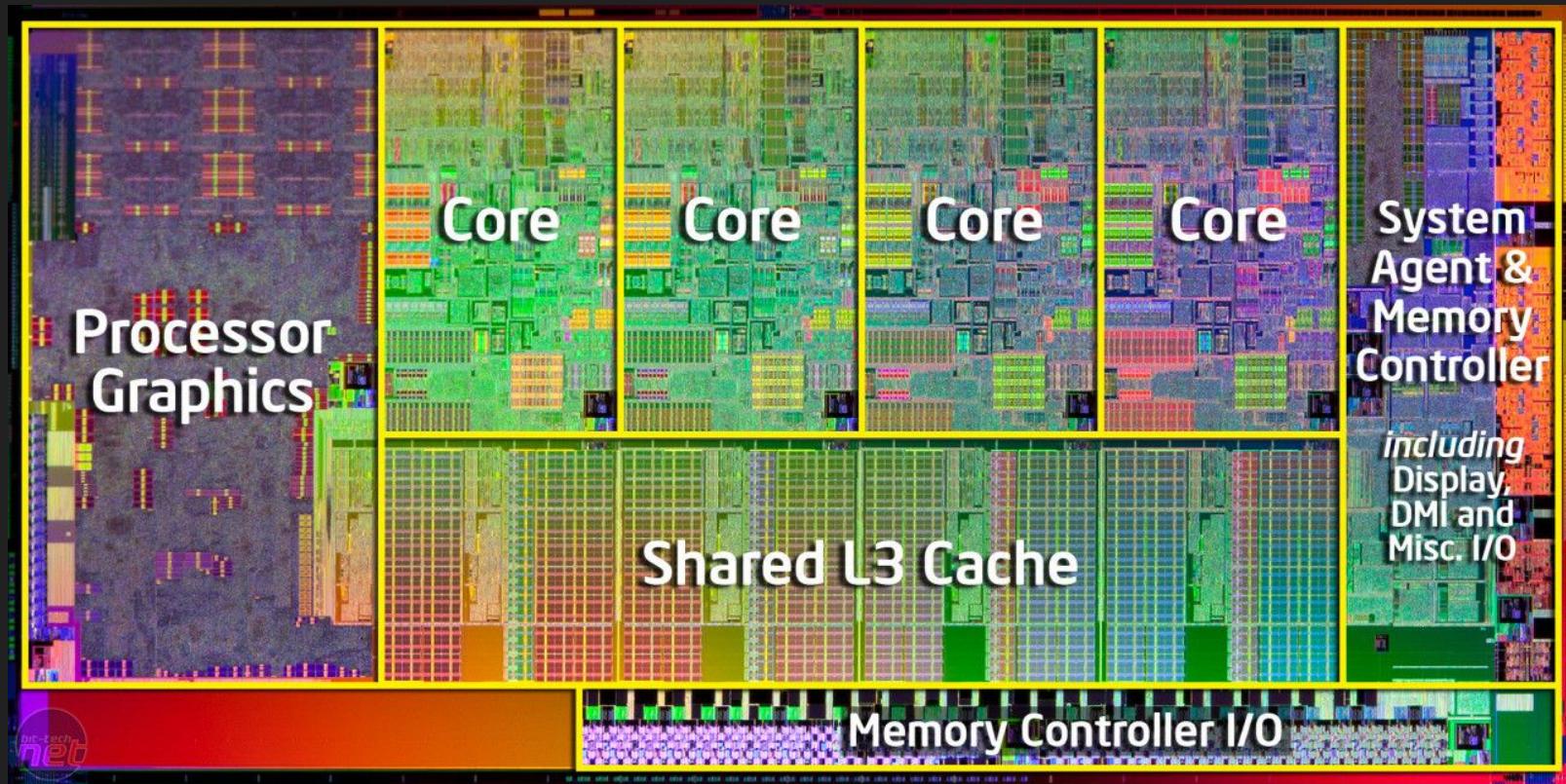
CPU



CPU



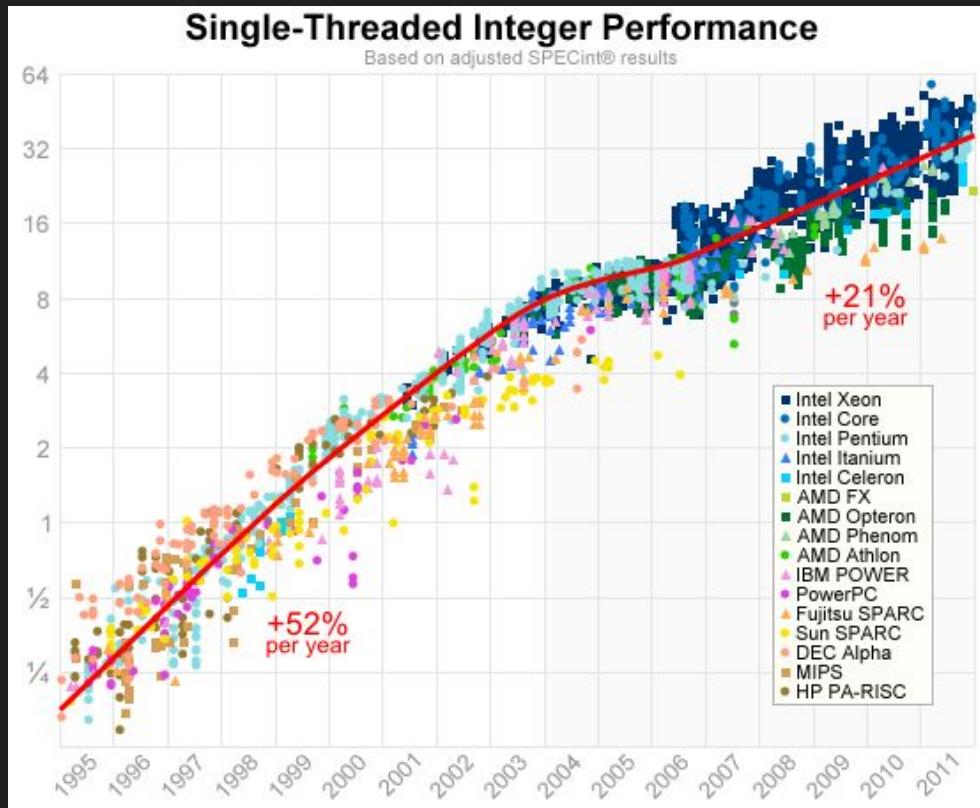
CPU



Características importantes de una CPU

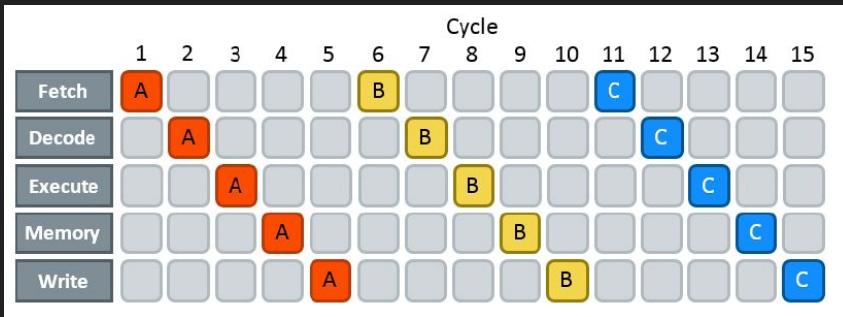
- Son de propósito general (SO, Apps)
- Multi-Instruction, Multiple-Data (MIMD).
- Versiones consumidor integran CPU + GPU en el chip.
- Usualmente más del 50% del área del chip es para Cache.
- Arquitectura x86 (32bit o 64bit) sigue siendo el estandar.
- (2019 High-end), Intel Platinum 9200, 3.2 TFLOPS, 56-cores.
- La CPU es fundamental para construir otros sistemas más grandes.

Evolución del rendimiento de la CPU

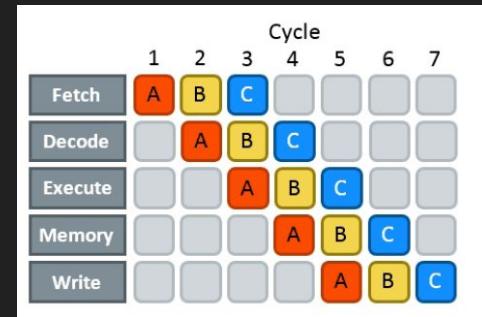


Optimizaciones CPU internas #1

- Instruction Pipelining



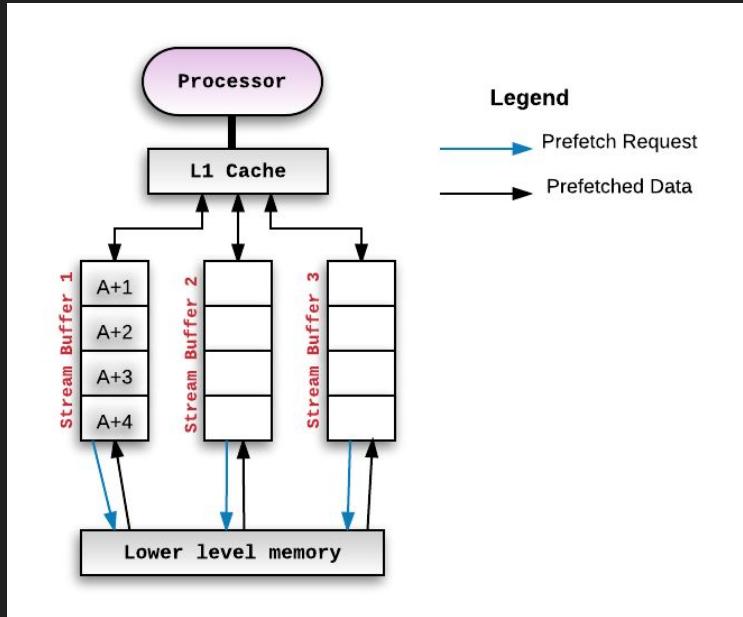
Sin Pipelining



Con Pipelining

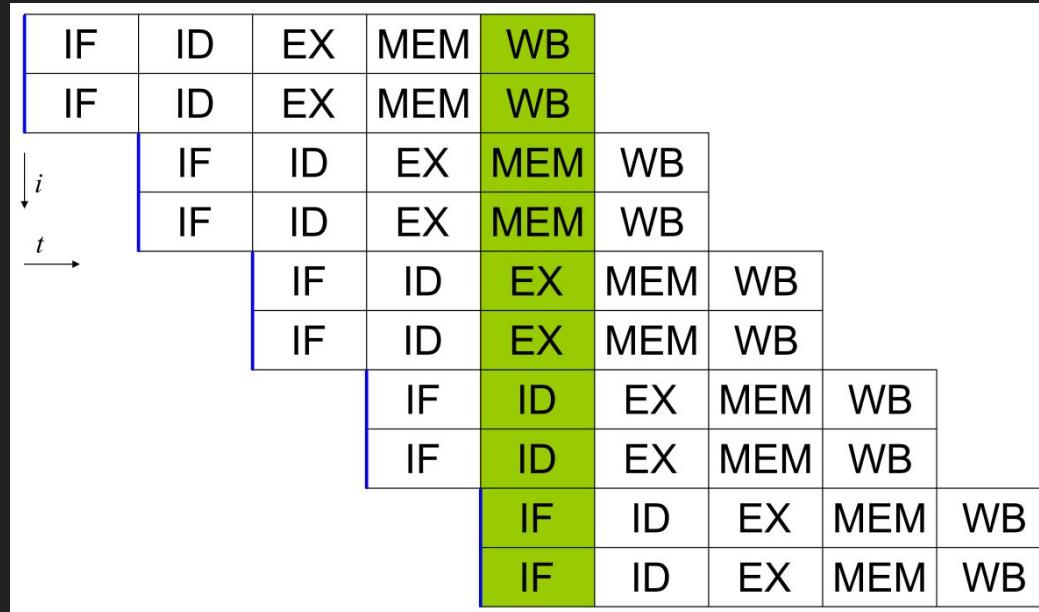
Optimizaciones CPU internas #2

- **Cache Prefetching**
- Idea: De forma anticipada, traer a cache datos o instrucciones.



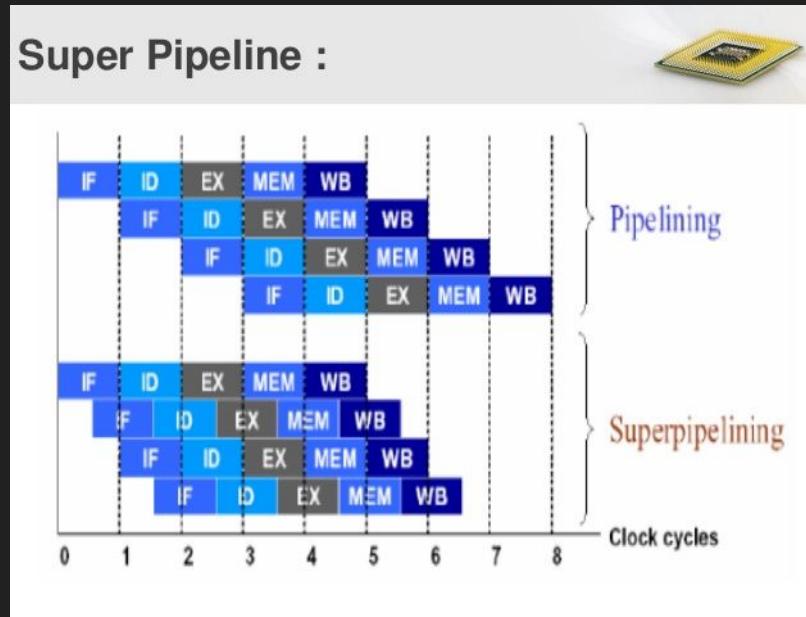
Optimizaciones CPU internas #3

- **Ejecución Superescalar**
- Idea: Contar con multiples pipelines



Optimizaciones CPU internas #4

- **Super-pipelining**
- Idea: Una partición más fina de las etapas de ejecución.



Optimizaciones CPU internas #5

- **Out-of-order Execution:**
 - **Branch Prediction:**
 - Adivinar el resultado de una instrucción condicional:
 - Lee las instrucciones de la zona predicha.
 - Si falla, se debe releer las instrucciones del otro camino.
 - **Ejecución especulativa:**
 - Va un paso más, y ejecuta instrucciones de forma adelantada.
 - **Dataflow analysis:**
 - Optimización que alinea las instrucciones para una ejecución óptima, en vez de ejecutarlas en el orden que vienen originalmente

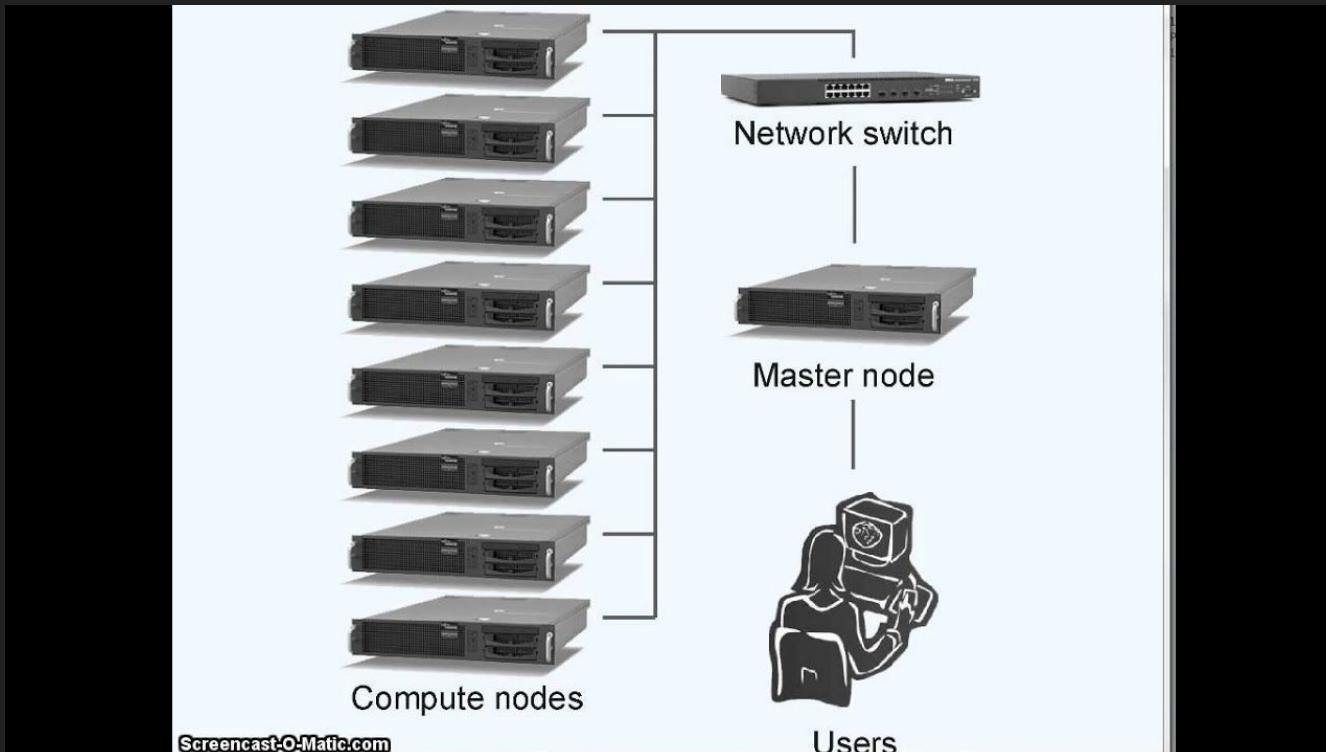
Contenidos

1. CPU
2. **Cluster → Supercomputador**
3. Grid y Cloud
4. GPU
5. FPGA
6. TPU

Cluster



Cluster



Cluster

- **Set de nodos (computadores) conectados por una red local (LAN)**
- **Usualmente hay un master node y compute nodes.**
- **Importante considerar la red:**
 - **Velocidad:**
 - **Ethernet (cobre)**
 - **Infiniband (fibra optica)**
 - **Topologia:**
 - **Grafo completo, Arbol, Anillo, Hipercubo, etc...**
- **Condiciones ambientales:**
 - **Energia**
 - **Temperatura**
 - **Acceso físico restringido**

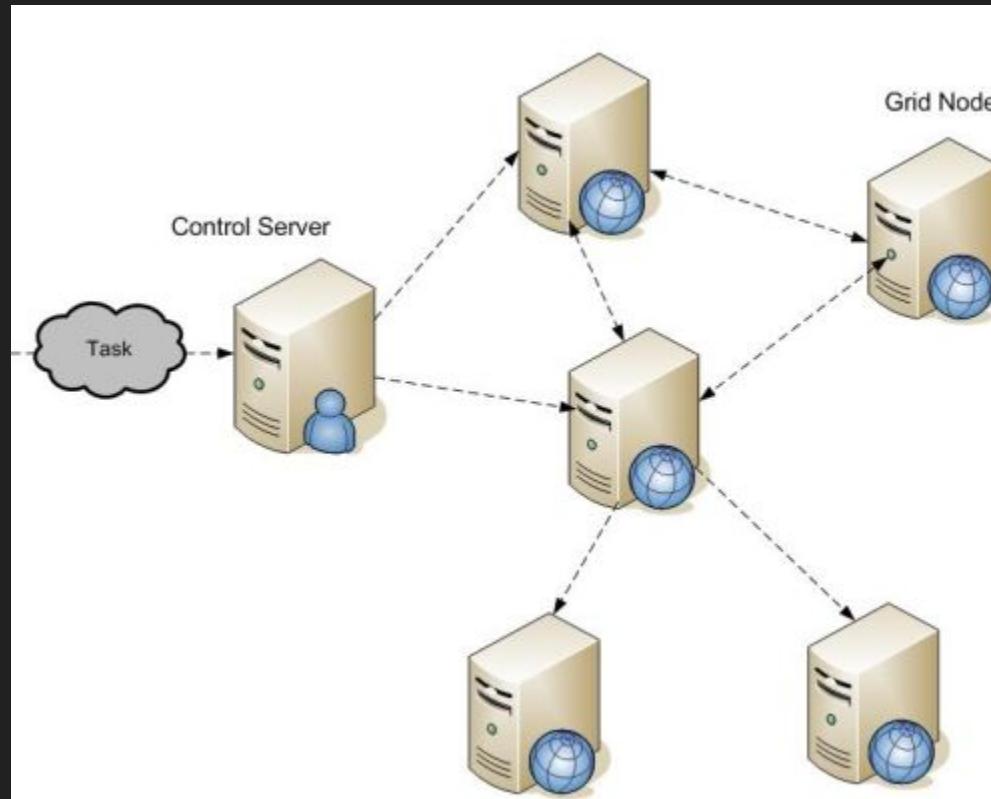
Cluster → Supercomputador

- **Un cluster pasa a ser supercomputador cuando:**
 - Se orienta más al cómputo que al almacenamiento.
 - Dispone de muchos (300+) procesadores.
 - (2019) Alcanza peta FLOPS (10^{15}) de rendimiento (<https://www.top500.org/>)
 - Tambien ver [green500](#)
- **Supercomputadores pueden ser basados en nodos de:**
 - CPUs, GPUs
 - ASICs, FPGAs
- **Herramientas típicas de programación:**
 - Bajo nivel: MPI, OpenMP.
 - Alto nivel: Hadoop, Spark.
- ***Hay supercomputadores que no estén basados en un Cluster?***

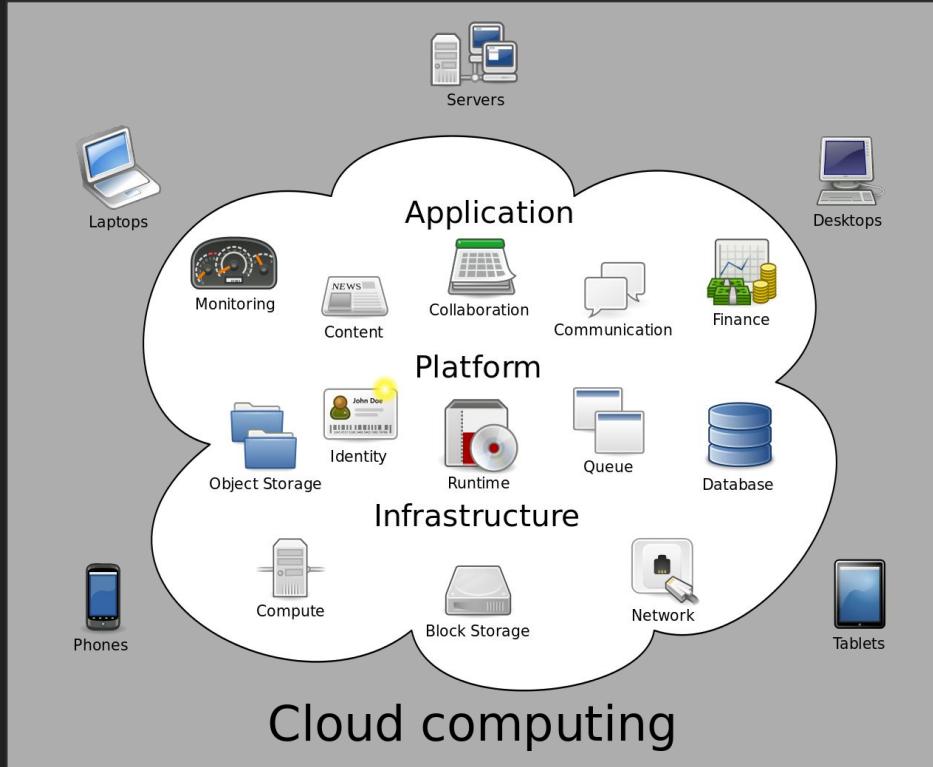
Contenidos

1. CPU
2. Cluster → Supercomputador
- 3. Grid y Cloud**
4. GPU
5. FPGA
6. TPU

Grid



Cloud



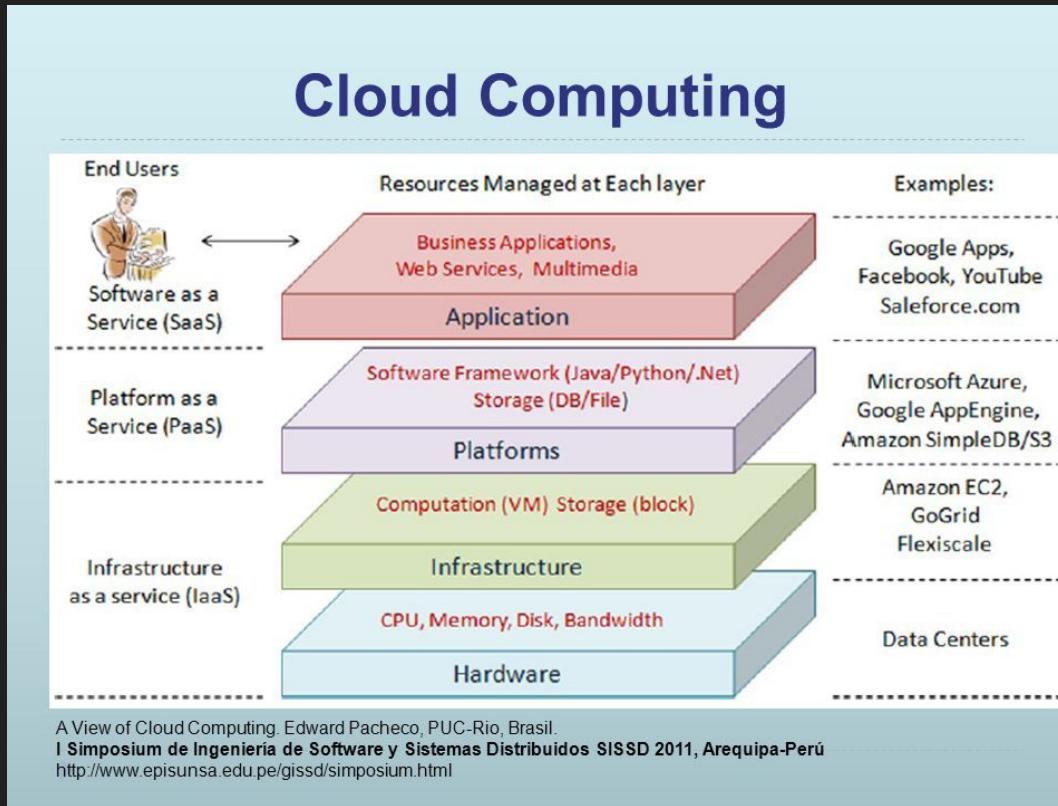
Grid

- **Set de nodos (computadores) conectados por una red global (WAN)**
- **Usualmente hay un control node y compute nodes.**
- **Existen capas de Middleware para gestionar el grid.**
- **La red ahora es un conjunto de subredes:**
 - Importante que la comunicación por WAN sea eficiente:
 - Minimizar las transferencias.
 - Comprimir informacion.
- **No hay un control centralizado robusto.**
- **Hardware muy heterogéneo.**
- **Orientado a las aplicaciones (desarrollo y ejecución)**

Cloud

- **Es un concepto que abarca hardware y software.**
 - Implementa un sistema transparente de almacenamiento y procesamiento.
 - Se basa en el uso de Internet y Web.
 - Se enfoca en el servicio:
 - Flexibilidad.
 - Facilidad de uso.
 - Seguridad.
 - Integración de componentes software y hardware.

Cloud



Diferencias entre Grid y Cloud #1

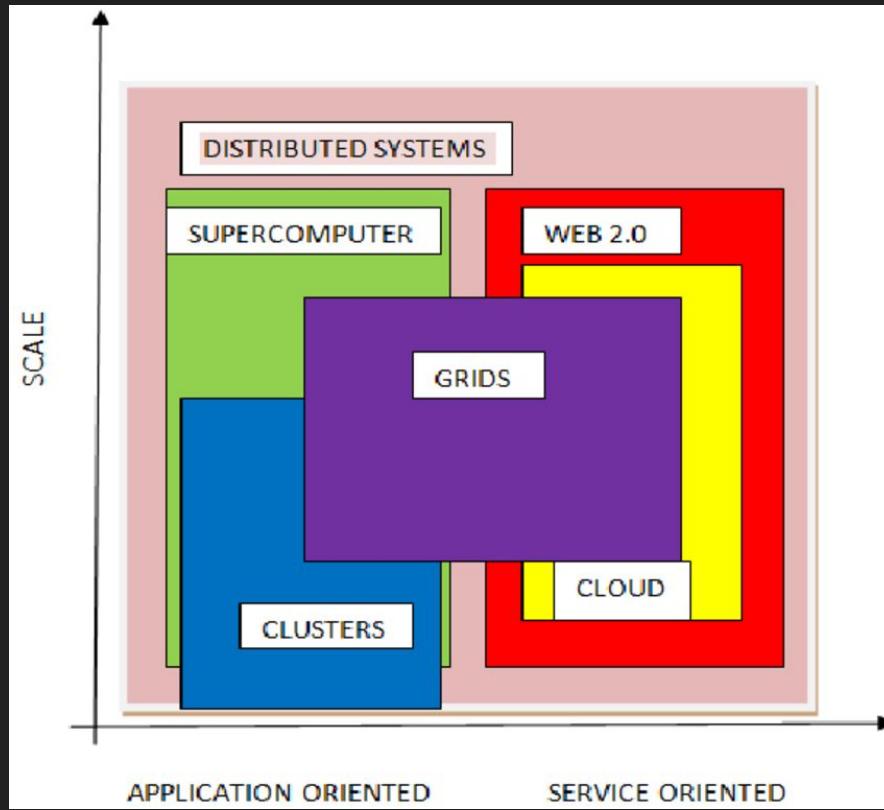
Grid Vs Cloud

Grid Computing	Cloud Computing
Access to Shared computing power, storage and other resources	Access to Leased computing power, storage and other resources
Big Org. pay for the services (Univ. / Govt)	Users pay for the leased services
Managed by providers and Users (Univ. / Govt)	Managed by Cloud providers only. No role for user.
Big Org. Provide the services (Univ. / Govt/ Research org.)	Commercial companies provide services
Handles huge amount of data, complex calculations (e.g.weather forecast)	Handles reasonable amount of data for commercial and other org.
Uses open source technology	Uses proprietary technology
Suitable for research org. to carry out tasks like global climate modelling etc..	Suitable for business houses to effectively use computing without investing

Diferencias entre Grid y Cloud #2

Diferencias entre grid computing y cloud computing		
	Cloud computing	Grid computing
Servicio por encargo	Sí	No
Elasticidad rápida	Sí	No
Acceso a la red	Puede accederse también por internet	Normalmente a una red corporativa
Transparencia	Alta	Baja
Tiempo de actuación	Tiempo real	Tiempo no real
Propiedad	Única	Múltiple
Seguridad	Alta (visualización)	Baja (certificado grid)
Virtualización	Vital	No es una comodidad
Gestión de recursos	Centralizada / Distribuida	Distribuida
Accesibilidad al portal	Sólo usando IP (sin registro de DNS)	A través de un sistema DNS

Diferencias entre Grid y Cloud #3



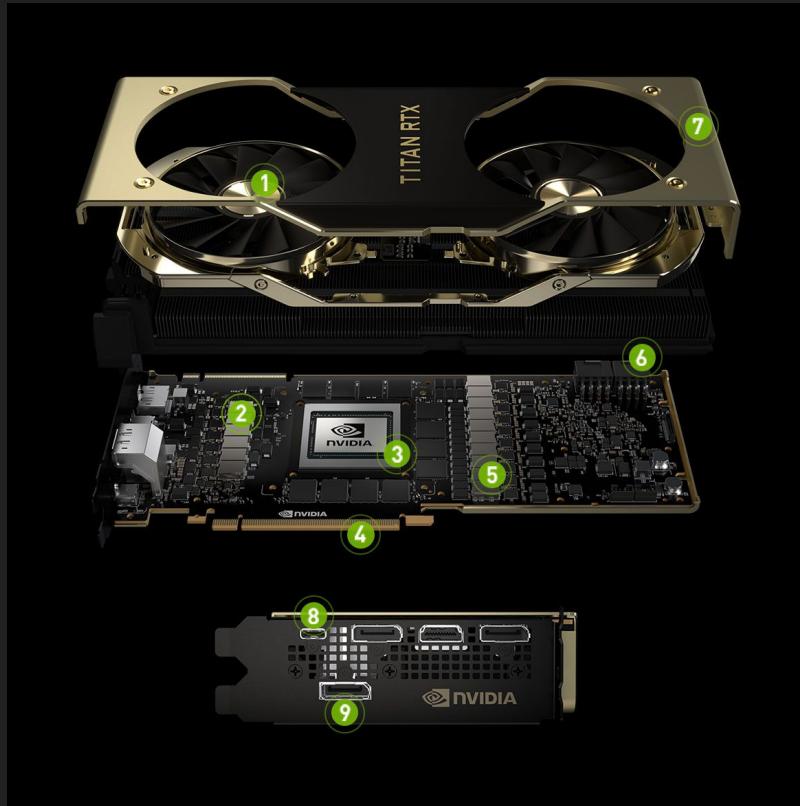
Contenidos

1. CPU
2. Cluster → Supercomputador
3. Grid y Cloud
4. **GPU**
5. FPGA
6. TPU

GPU



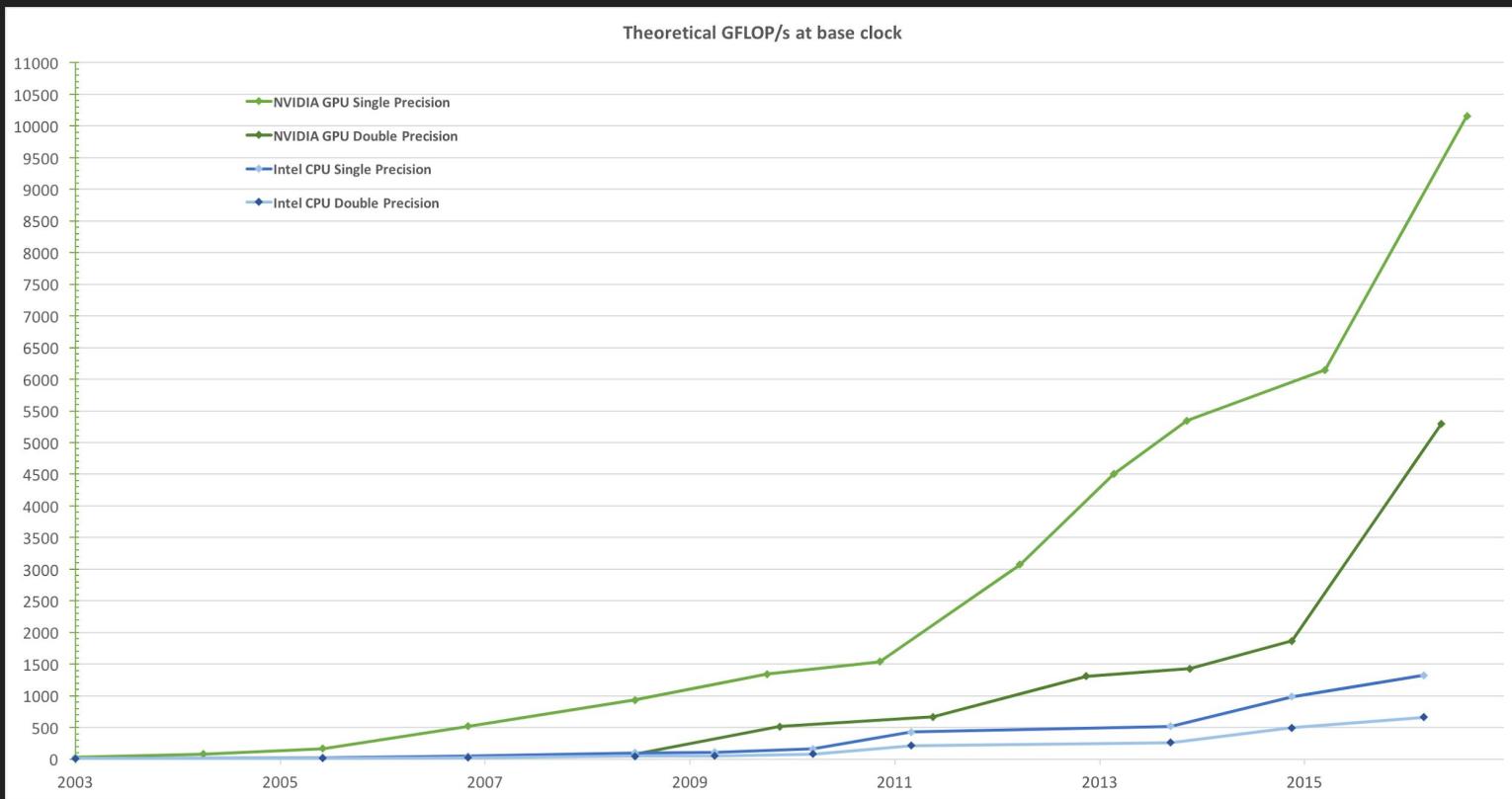
GPU



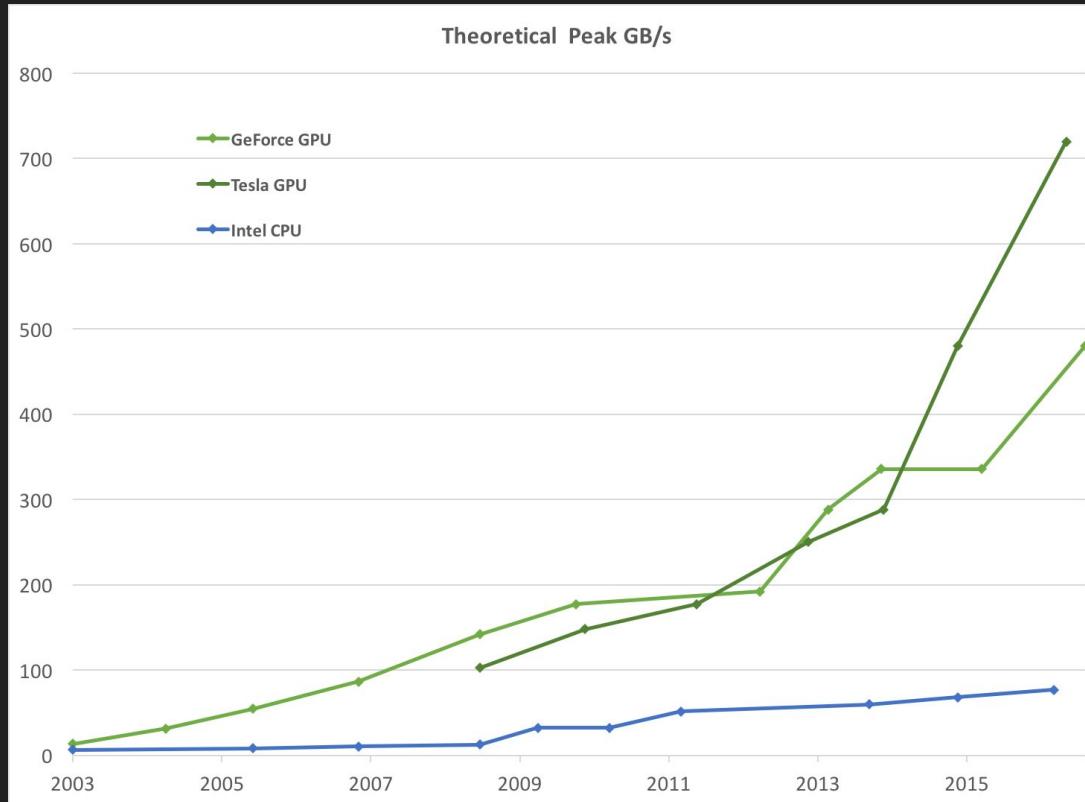
GPU

- **Graphics Processing Unit**
- **Procesador especializado en realizar operaciones aritméticas sobre conjuntos de datos, en paralelo.**
- **Se puede programar con lenguajes del nivel de abstracción de C++.**
- **Hoy en día se han convertido en un pilar importante para:**
 - **Entretenimiento**
 - **Ciencia + Simulación**
 - **Machine Learning**
 - **Procesos en tiempo real (Conducción Autónoma)**

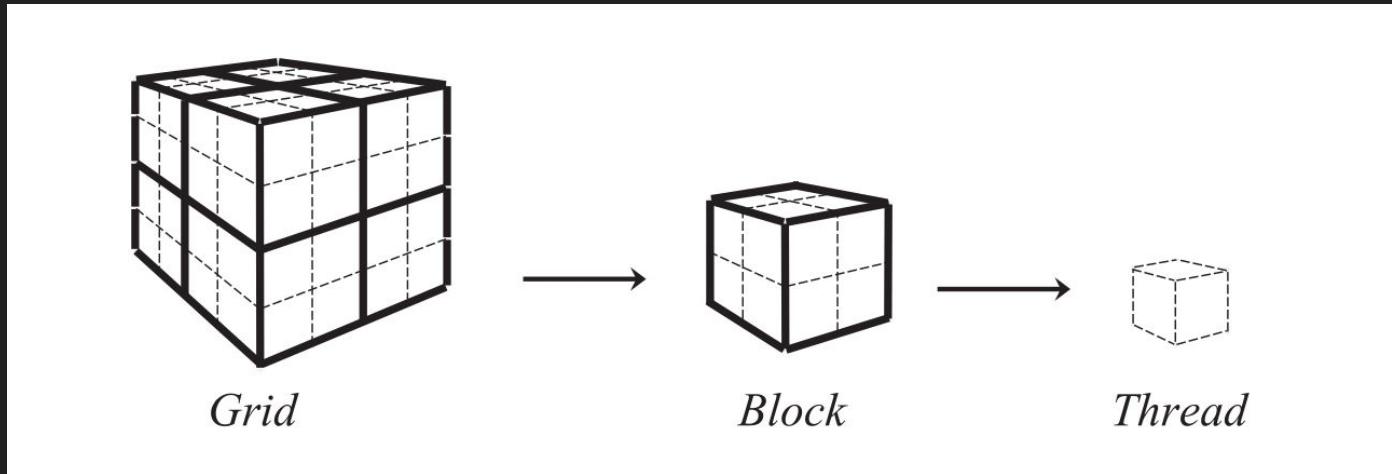
GPU FLOPS



GPU BANDWIDTH



GPU Programming Model



GPU Kernel

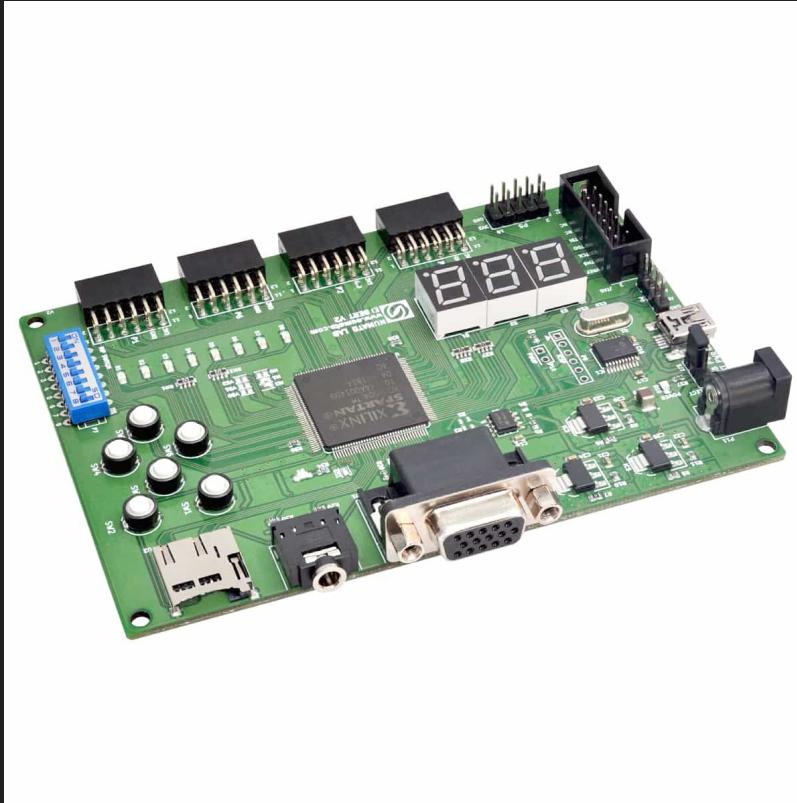
```
// Kernel definition
__global__ void VecAdd(float* A, float* B, float* C)
{
    int i = threadIdx.x;
    C[i] = A[i] + B[i];
}

int main()
{
    ...
    // Kernel invocation with N threads
    VecAdd<<<1, N>>>(A, B, C);
    ...
}
```

Contenidos

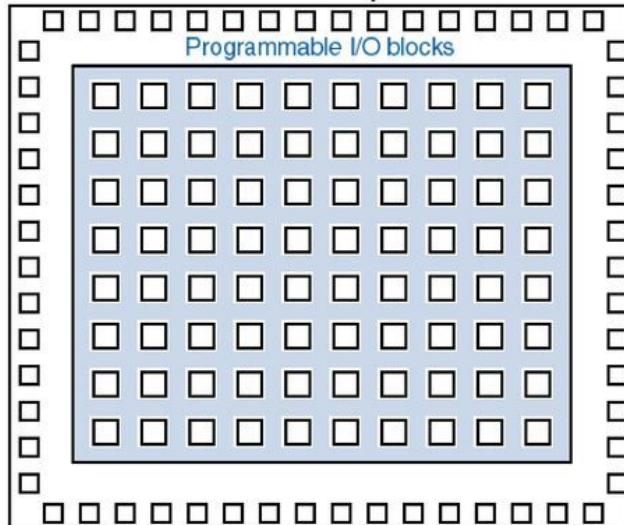
1. CPU
2. Cluster → Supercomputador
3. Grid y Cloud
4. GPU
5. **FPGA**
6. TPU

FPGA (Field Programmable Gate Array)



FPGA

General FPGA chip architecture



■ = Programmable interconnect

□ = Programmable logic block

□ = I/O pad

a.k.a. CLB --
“configurable logic
block”

FPGA

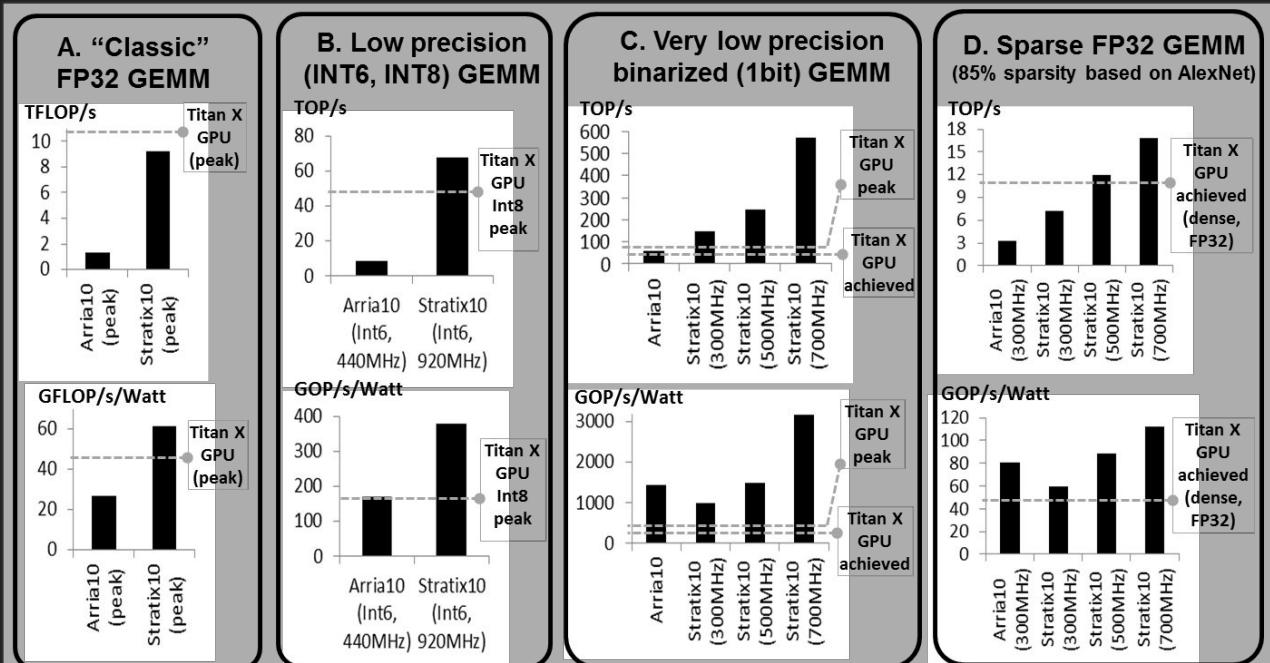
Addition of Unsigned Numbers (3)

```
ARCHITECTURE Behavior OF adder16 IS
    SIGNAL Xs : UNSIGNED(15 DOWNTO 0);
    SIGNAL Ys : UNSIGNED(15 DOWNTO 0);
    SIGNAL Sum : UNSIGNED(16 DOWNTO 0);
BEGIN
    Xs <= unsigned(X);
    Ys <= unsigned(Y);
    Sum <= ('0' & X) + Y + Cin;
    S <= std_logic_vector(Sum(15 DOWNTO 0));
    Cout <= Sum(16);
END Behavior;
```

FPGA

- Es un conjunto de bloques lógicos e interconexiones que pueden ser configurables a través de un HDL (Hardware Description Language) como Verilog o VHDL.
- Programación de bajo nivel (operaciones lógicas)
- Ofrecen alto rendimiento.

FPGA

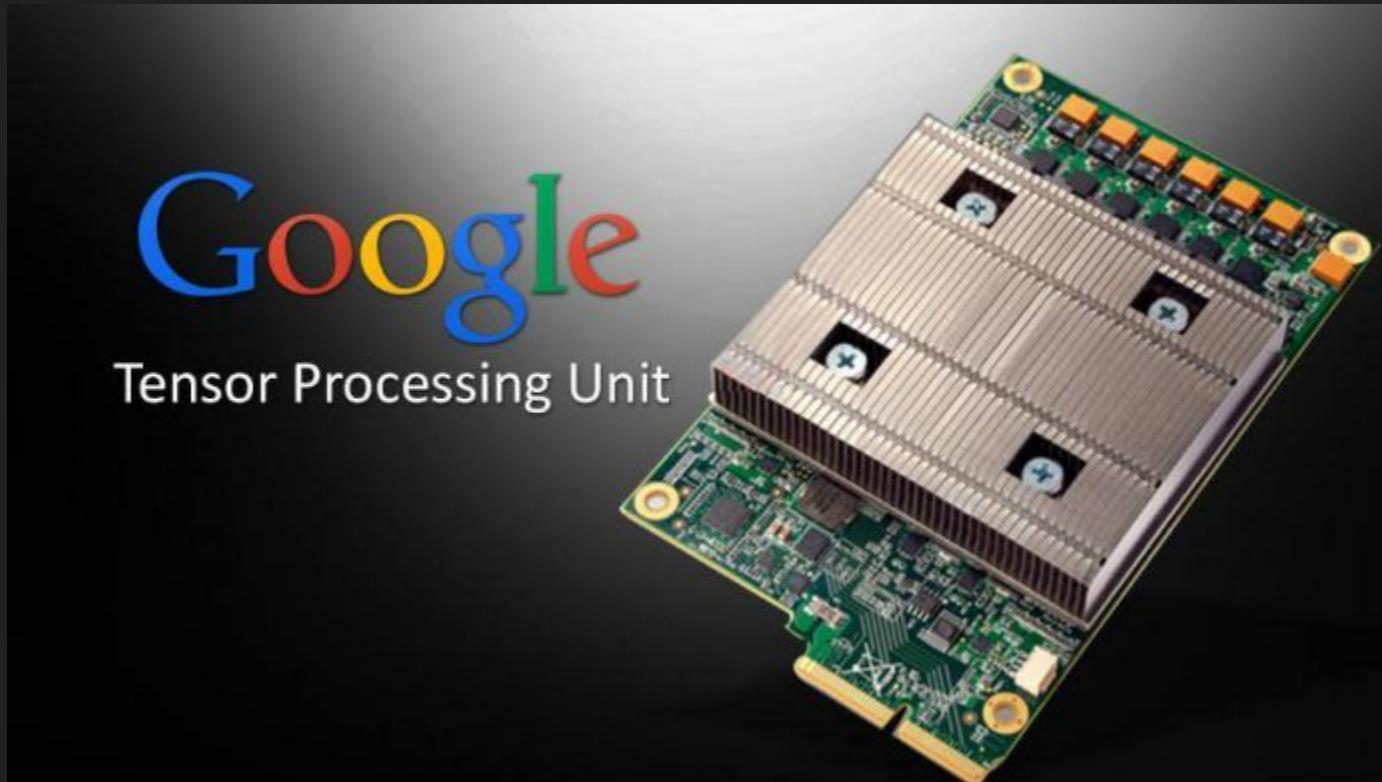


With lower precision and sparsity, Stratix 10 FPGA offers better performance than Titan X GPU, and even better performance/watt. Existing trends indicate that such low-precision sparse DNNs can become the norm in the near future.

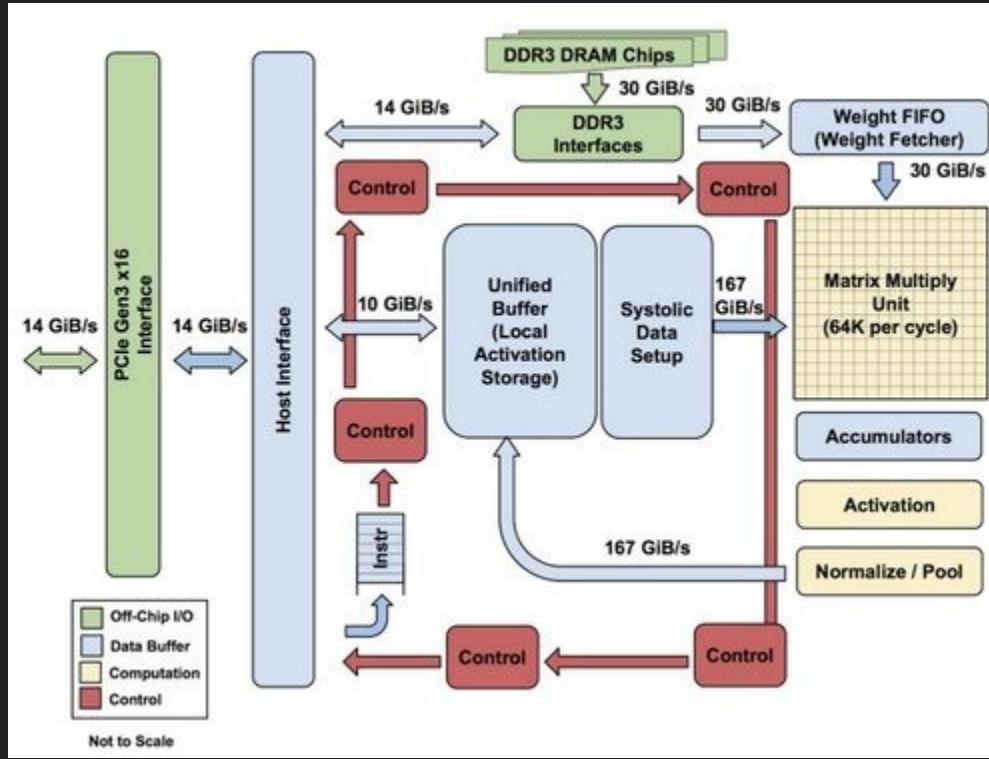
Contenidos

1. CPU
2. Cluster → Supercomputador
3. Grid y Cloud
4. GPU
5. FPGA
6. **TPU**

TPU (Tensor Processing Unit)

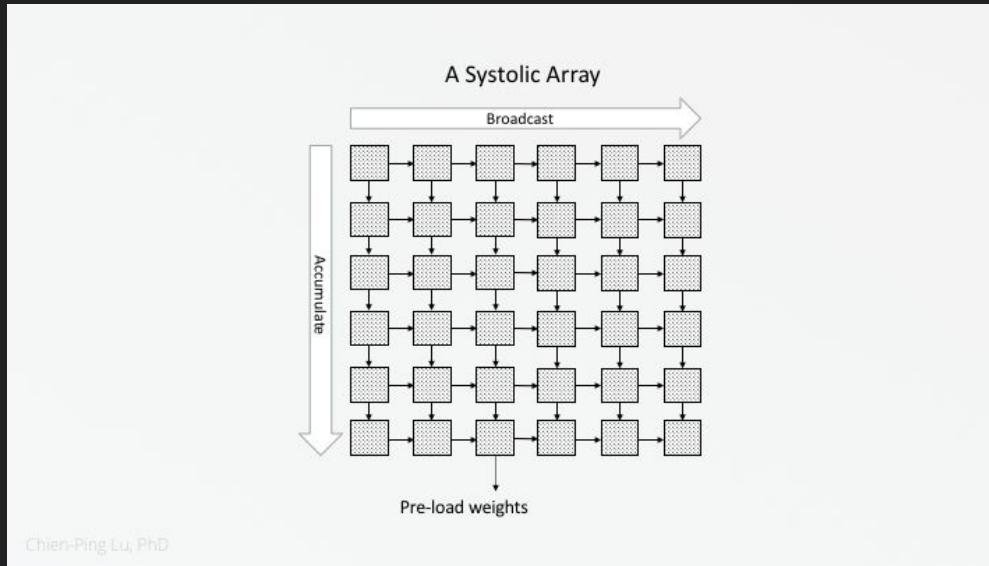


TPU (Tensor Processing Unit)

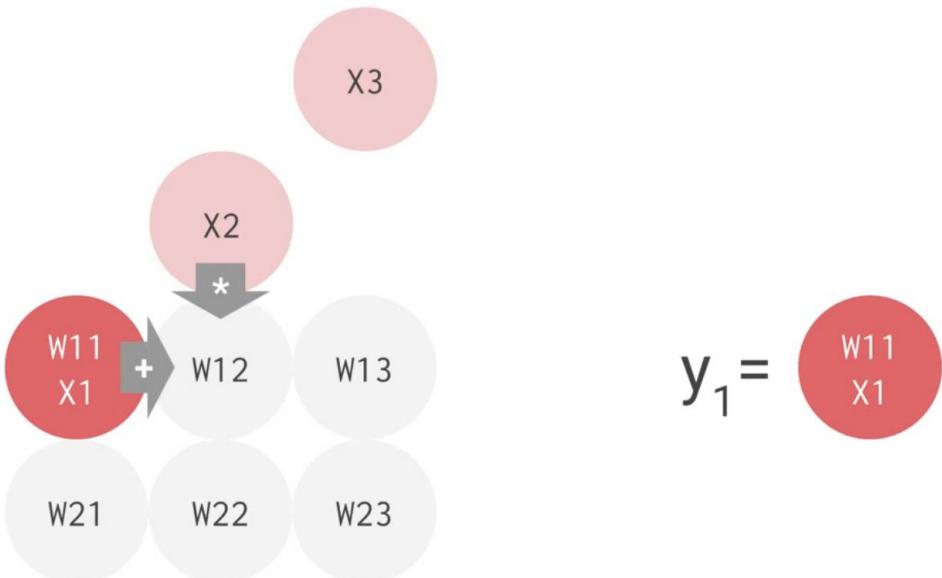


TPU

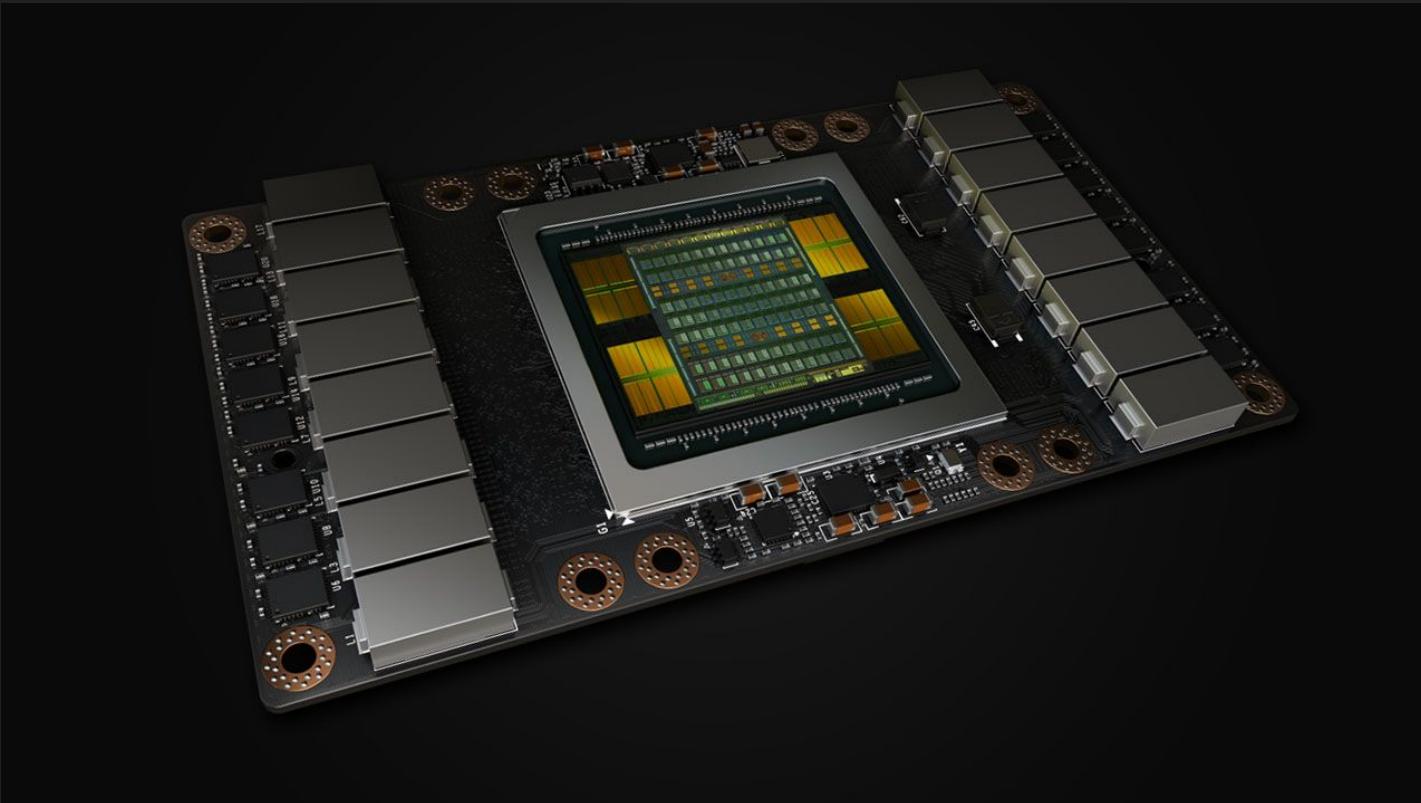
- Es un ASIC (Application Specific Integrated Circuit) especializado en calcular multiplicaciones de matrices por hardware.
- Una importante área es reservada para un *Systolic Array*:



TPU



TPU (Integrado en GPU)

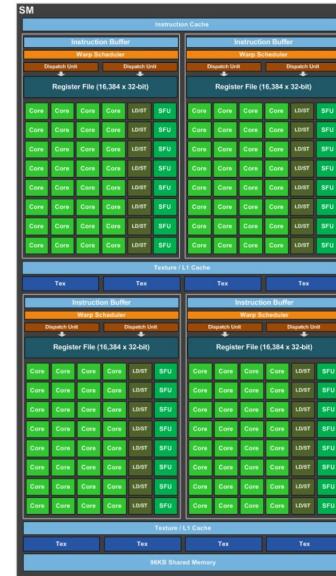


TPU (Integrado en GPU)

GP100



GP104



GV100



TPU (Integrado en GPU)

