

# Concurso PAD - Área Arquitectura de Computadoras

---

Rafael Ignacio Zurita  
Departamento de Ingeniería de Computadoras  
Clase presencial 6a

October 11, 2018

# Jerarquía de Memoria

## UNIDAD 3: Memoria

Características de las diferentes tecnologías de memoria.

**Comportamiento de los programas: principio de localidad. Jerarquía de memoria.** Memoria Cache. Memoria virtual.

# Jerarquía de Memoria

## Temario

- The Memory Wall
- Memorias
- Estrategias de organización posibles
- Principio de localidad
- Jerarquía de memoria
- DRAM vs SRAM
- Repaso y cierre

# Jerarquía de Memoria

**Cuando se quiere comprar una computadora nueva...**

Si ya contamos con una PC CPU core i3 2.6Ghz, 8GB RAM, 512GB disco,  
**¿Qué computadora queremos adquirir?:**



**Procesador:** .....

**Memoria:** .....

**Disco:** .....

# Jerarquía de Memoria

**Cuando se quiere comprar una computadora nueva...**

Si ya contamos con una PC CPU core i3 2.6Ghz, 8GB RAM, 512GB disco,  
**¿Qué computadora queremos adquirir?:**



**Procesador:** más rápido, mas cores

**Memoria:** .....

**Disco:** .....

# Jerarquía de Memoria

**Cuando se quiere comprar una computadora nueva...**

Si ya contamos con una PC CPU core i3 2.6Ghz, 8GB RAM, 512GB disco,  
**¿Qué computadora queremos adquirir?:**



**Procesador:** más rápido, mas cores

**Memoria:** más memoria

**Disco:** .....

# Jerarquía de Memoria

**Cuando se quiere comprar una computadora nueva...**

Si ya contamos con una PC CPU core i3 2.6Ghz, 8GB RAM, 512GB disco,  
**¿Qué computadora queremos adquirir?:**



**Procesador:** más rápido, mas cores

**Memoria:** más memoria

**Disco:** .....

# Jerarquía de Memoria

**Cuando se quiere comprar una computadora nueva...**

Si ya contamos con una PC CPU core i3 2.6Ghz, 8GB RAM, 512GB disco,  
**¿Qué computadora queremos adquirir?:**



**Procesador:** más rápido, mas cores

**Memoria:** más memoria

**Disco:** más disco



# Jerarquía de Memoria

**Cuando se quiere comprar una computadora nueva...**

Si ya contamos con una PC CPU core i3 2.6Ghz, 8GB RAM, 512GB disco,  
**¿Qué computadora queremos adquirir?:**



**GAMING**  
**SERIES 9 PLUS**

Envío gratis

OVERCLOCK

**INTEL CORE I7 8700K**  
**HEXA CORE - 3.2GHZ**

**NVIDIA GTX 1080TI 11GB**  
**16GB RAM DDR4 3200 MHZ**  
**1TB HDD | 240GB SSD**

**2 AÑOS DE GARANTIA**  
**MONTAJE Y TESTEO INCLUIDO**

**Procesador:** más rápido, mas cores

**Memoria:** más memoria

**Disco:** más disco

# Jerarquía de Memoria

"Procesador más rápido, mas cores"

- **IMPORTANTE:** es tiempo de utilizar mayor precisión y terminología
- Ejemplo: "Microprocesador con un rendimiento mayor que el anterior"
  - (Es más adecuado)
  - Buscamos que realice una mayor cantidad de trabajo en el mismo tiempo o,
  - la misma cantidad de trabajo que antes, pero en un tiempo menor.

# Jerarquía de Memoria

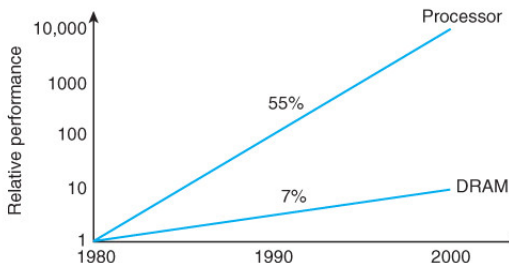
## The Memory Wall

Año tras año ...

- Los microprocesadores nuevos son más rápidos (mejoran el rendimiento).
- Las memorias nuevas son más rápidas (mejoran el rendimiento).

**FIGURE 9.4**

Trends in memory performance



© Cengage Learning 2014

# Jerarquía de Memoria

## Memorias

- En una computadora de propósito general se cuenta con:
  - Memoria con Firmware de arranque
  - Memoria RAM (volatil, estática y dinámica/DRAM y caché)
  - Disco rígido o memoria flash
  - Disco de estado sólido
  - DVD y CD
  - Memorias SD y pendrives

**¿Por qué necesitamos tantos tipos de memoria?**

# Jerarquía de Memoria

## Memorias

- En una computadora de propósito general se cuenta con:
  - Memoria con Firmware de arranque
  - Memoria RAM (volatil, estática y dinámica/DRAM y caché)
  - Disco rígido o memoria flash
  - Disco de estado sólido
  - DVD y CD
  - Memorias SD y pendrives

### ¿Por qué necesitamos tantos tipos de memoria?

- Memoria ideal: ilimitada (siempre suficiente), veloz, densa (tamaño físico), de bajo consumo, robusta, barata, persistente. Pero, la tecnología es insuficiente.

# Jerarquía de Memoria

## Memorias

### ¿Por qué necesitamos tantos tipos de memoria?

- Memoria ideal: ilimitada (siempre suficiente), veloz, densa (tamaño físico), de bajo consumo, robusta, barata, persistente. Pero, la tecnología es insuficiente.

	Capacity	Latency	Cost/GB
Register	1000s of bits	20 ps	\$\$\$\$
SRAM	~10 KB-10 MB	1-10 ns	~\$1000
DRAM	~10 GB	80 ns	~\$10
Flash	~100 GB	100 us	~\$1
Hard disk	~1 TB	10 ms	~\$0.10

# Jerarquía de Memoria

## Memorias

¿Por qué necesitamos tantos tipos de memoria?

- **RESPUESTA:** Porque no es posible construir la memoria ideal con la tecnología actual
- Memoria ideal: ilimitada (siempre suficiente), veloz (tiempo de respuesta, ancho de banda), densa (tamaño físico), de bajo consumo, robusta, barata, persistente. Pero, la tecnología es insuficiente

	Capacity	Latency	Cost/GB
Register	1000s of bits	20 ps	\$\$\$\$
SRAM	~10 KB-10 MB	1-10 ns	~\$1000
DRAM	~10 GB	80 ns	~\$10
Flash	~100 GB	100 us	~\$1
Hard disk	~1 TB	10 ms	~\$0.10

- **IDEA 1:** Exponer todos los tipos de memoria y que el programador la utilice con el mejor rendimiento posible.

# Jerarquía de Memoria

## Localidad de las Referencias

- **IDEA 2:** mantener los datos más frecuentemente utilizados por el procesador en una pequeña memoria veloz SRAM (cercana a la CPU) de manera transparente.
- Hacer referencia a la memoria principal únicamente de vez en cuando.
  - Esta idea libera al programador
  - ¿Qué hace posible esta idea?



# Jerarquía de Memoria

## Localidad de las Referencias

- **IDEA 2:** mantener los datos más frecuentemente utilizados por el procesador en una pequeña pero veloz memoria SRAM (cercana a la CPU) de manera transparente.
- Hacer referencia a la memoria principal únicamente de vez en cuando.
  - Esta idea libera al programador
  - ¿Qué hace posible esta idea?
- **Comportamiento de los programas:** si se observa un intervalo corto de tiempo se utiliza una pequeña fracción del total de la memoria.
- Este comportamiento de acceso ha sido llamado principio de localidad de las referencias[DENN68], o simplemente **principio de localidad**.

# Jerarquía de Memoria

## Localidad de las Referencias

```
while (save[i]==k)
    i = i + j;
```

i: \$s3, j: \$s4, k: \$s5, base of save[]: \$s6

```
Loop:  add $t1,$s3,$s3
        add $t1,$t1,$t1
        add $t1,$t1,$s6
        lw  $t1,0($t1)
        bne $t1,$s5,Exit

        add $s3,$s3,$s4
        j   Loop

Exit:
```

Repaso de IC: Ciclo de instrucción

El procesador ejecuta las mismas instrucciones varias veces,

y también accede a elementos del vector `save[]`.

# Jerarquía de Memoria

## Localidad de las Referencias

```
while (save[i]==k)
    i = i + j;
```

i: \$s3, j: \$s4, k: \$s5, base of save[]: \$s6

```
Loop:  add $t1,$s3,$s3
        add $t1,$t1,$t1
        add $t1,$t1,$s6
        lw  $t1,0($t1)
        bne $t1,$s5,Exit

        add $s3,$s3,$s4
        j   Loop

Exit:
```

Repaso de IC: Ciclo de instrucción

El procesador ejecuta las mismas instrucciones varias veces (**localidad temporal**),

y también accede a elementos del vector save[] (**localidad espacial**).

# Jerarquía de Memoria

## Resumen

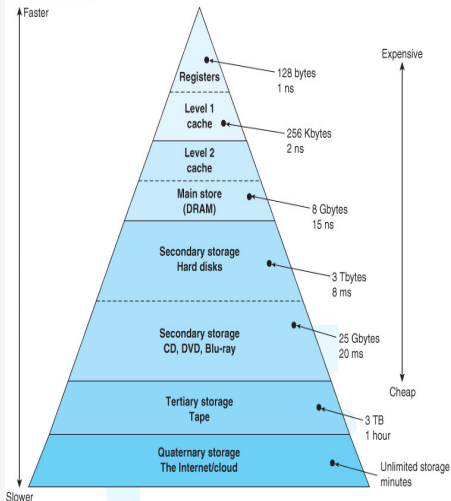
- **Jerarquía de Memoria:** Organización de la memoria de una computadora que permita
  - obtener el **rendimiento** de una memoria de alta velocidad
  - al **costo** (precio) de una memoria grande y lenta.
- Idea clave: tener los datos correctos, en el lugar preciso, en el momento adecuado (principio de localidad)

# Jerarquía de Memoria

## Jerarquía de Memoria

FIGURE 9.1

Memory hierarchy



Organizar el sistema de memoria dentro de una **jerarquía de niveles**.

Cada nivel está compuesto por un tipo de memoria (tecnología)

**Objetivo:** *obtener el rendimiento de una memoria de gran velocidad al coste de una memoria de baja velocidad, y de tamaño casi ilimitado.*

# Jerarquía de Memoria

## DRAM vs SRAM

- Factores: densidad, costos, consumo, rendimiento.
- ¿Densidad en cachés?

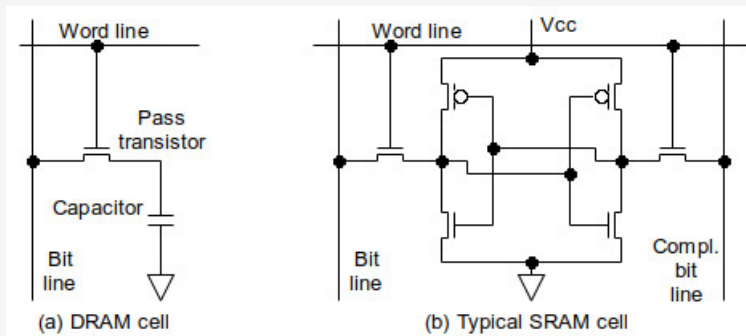


Figure: DRAM vs SRAM

# Jerarquía de Memoria

## Repaso

Organizando las tecnologías de memoria dentro de una **jerarquía de niveles** se puede construir un sistema de memoria de

- bajo costo y
- con un rendimiento similar al de una memoria cara y de alta velocidad

Si este sistema es transparente al programador

- ¿Para qué interesa su estudio?

# Jerarquía de Memoria

## Verifique su comprensión del tema

- 1 ¿Qué significa el principio de localidad?.
- 2 Intente componer y redactar una analogía no técnica.
- 3 Evaluar el tiempo de ejecución de los dos programas a continuación.
- 4 Debatir en grupo por qué es posible que existe una diferencia.
- 5 En base a la respuesta anterior: ¿Considera que es importante el estudio de Jerarquía de Memoria?.



# Jerarquía de Memoria

## Verifique su comprensión del tema

# Recorre una matriz- version 1

```
main () {  
    int i, j, k;  
    int n[10000][100]; /* definicion de una matriz */  
  
    for (k=0; k<100; k++) {  
  
        for (i=0; i<10000; i++)  
        for (j=0; j<100; j++)  
            n[i][j] +=3;  
  
        for (i=0; i<10000; i++)  
        for (j=0; j<100; j++)  
            n[i][j] +=5;  
  
    }  
}
```

# Recorre una matriz- version 2]

```
main () {  
    int i, j, k;  
    int n[10000][100]; /* definicion de una matriz */  
  
    for (k=0; k<100; k++) {  
  
        for (j=0; j<100; j++)  
        for (i=0; i<10000; i++)  
            n[i][j] +=3;  
  
        for (j=0; j<100; j++)  
        for (i=0; i<10000; i++)  
            n[i][j] +=5;  
  
    }  
}
```

# Jerarquía de Memoria

- ¿Preguntas?
- Próximas clases: Caché y Memoria Virtual

# Bibliografía

## Material complementario de estudio

### Apunte de cátedra

- **Memoria**, Rafael Ignacio Zurita 2017 (disponible en PEDCO).  
Versión en español ampliada (con permiso escrito de Prof. Alan Clements y Prof. Hank Levy) de los libros:
  - Computer Organization and Architecture: Themes and Variations, Alan Clements, Cengage Learning, 2013, ISBN: 1285415426, 9781285415420
  - Computer Programming and Architecture the VAX-11, Henry Levy, Digital Press 1980

### Libros

- Andrew S. Tanenbaum (2000), ORGANIZACIÓN DE COMPUTADORAS un enfoque estructurado, Editorial Prentice Hall.  
(10 copias en biblioteca)
- David. Patterson John L. Hennessy (1995), ORGANIZACIÓN Y DISEÑO DE COMPUTADORES La interfaz hardware/software, McGraw-Hill (8 copias en biblioteca).