

UD 03_03 – Sistemes Informàtics. Maquinari.

Microprocessador i memòria RAM.

Contingut

1 EL MICROPROCESSADOR.....	3
1.1 Concepte de microprocessador.....	3
1.2 Arquitectura interna.....	4
1.2.1 Llei de Moore i densitat d'integració.....	4
1.2.2 Elements d'un microprocessador.....	5
1.2.2.1 Nombre de nuclis del microprocessador.....	6
1.3 Arquitectura externa. El bus principal.....	10
1.3.1 Arquitectura de Doble-Bus.....	10
1.3.2 Arquitectura QPI (QuickPath Interconnect), d'Intel.....	11
1.3.3 Arquitectura HT (Hypertransport), AMD.....	11
1.4 Característiques principals dels microprocessadors.....	12
1.4.1 Amplària dels busos.....	12
1.4.2 Memòria caché.....	13
1.4.3 Velocitat interna del processador.....	16
1.4.4 Velocitat del Bus Principal o Velocitat Externa.....	21
1.4.5 Densitat d'integració.....	21
1.4.6 Alimentació o voltaje i TDP (Thermal Design Power).....	21
1.4.7 Paral·lelisme: nombre de fils i nombre de nuclis.....	21
1.4.7.1 Multifil (Multithreading).....	21
1.4.7.2 Multinucleo (Multicore).....	22
1.4.8 Altres característiques.....	22
1.4.8.1 Virtualització per maquinari.....	22
1.4.8.2 Conjunt d'instruccions.....	22
1.4.9 Tipus d'instruccions (AMPLIACIÓ).....	25
1.5 Lectura - microprocessadors d'Intel i AMD.....	26
1.6 Refrigeració.....	26
1.6.1 Tipus de refrigeracion.....	27
1.6.1.1 Passiva per aire → dissipadors.....	27
1.6.1.2 Activa per aire → dissipador + ventilador.....	27
1.6.1.3 Refrigeració líquida.....	28
1.6.1.4 Refrigeracion per Heatpipes.....	29
2 LA MEMÒRIA.....	30
2.1.1 Classificació de memòries.....	31
2.2 La memòria principal (RAM).....	32
2.2.1 Construcció de la memòria RAM: tipus d'encapsulats per a PC.....	32
2.2.2 Memòries que s'utilitzen actualment, DDR4.....	33
2.2.3 Paràmetres de les memòries RAM.....	34
2.2.4 Altres característiques.....	35
2.2.5 Exemples.....	37
3 BIBLIOGRAFIA.....	39

4 ANNEX.....	40
4.1 Alguns tipus de RAM segons el seu format físic.....	40
4.2 Tipus de memòria RAM i encapsulats.....	43
4.2.1 Memòria SRAM.....	43
4.2.2 Memòries DRAM.....	43
4.3 Memòria DDR SDRAM (Actuals).....	46
4.3.1.1 DDR SDRAM (primera versió).....	46
4.3.1.2 DDR2 SDRAM (segona versió).....	47
4.3.1.3 DDR3 SDRAM (tercera versió).....	48
4.3.1.4 DDR4 SDRAM (quarta i actual versió).....	49
4.3.1.5 Memòries GDDR.....	50
4.4 Resum de tipus de memòries i tecnologies.....	52

1 El microprocessador

1.1 Concepte de microprocessador

El microprocessador és el cervell de l'ordinador, i s'encarrega de:

- **descodificar i executar** les instruccions dels programes carregats en memòria principal.
- **coordinar i controlar** la resta de components que formen l'ordinador i aquells perifèrics connectats a aquest.

Físicament, el microprocessador, també conegut com a CPU, **és un circuit integrat** o xip format per milions de transistors construïts sobre una obla de silici. Sol tindre forma quadrada o rectangular i va col·locat sobre un element de la placa base denominat **sòcol**. En ordinadors antics (dècada de 1980) el processador anava soldat a la placa i no podia canviar-se per un altre.

L'aparició del microprocessador va marcar l'inici de la quarta generació d'ordinadors.

Aspecte	Generació del computador			
	Primera	Segona	Tercera	Quarta
Període	1950-1959	1960-1968	1969-1977	1978-hui
Innovació que l'origina	Tubs de buit	Transistor	Circuit integrat. Escala d'integració MSI.	Microprocessador Escala d'integració VLSI.
Model comercial de referència	UNIVAC (1951)	IBM 360 (1964)	Cray-1 (1976)	Pentium Pro 200 MHz (1996)
Memòria	48 KB	64 KB	32 MB	16 MB
Potència	124 KW	10 KW	60 KW	0.3 KW
Grandària	28 m ³	1.68 m ³	1.62 m ³	0.05 m ³
Cost en €	5 500 000	4 570 000	9 340 000	4 850
Rendiment	1	263 x UNIVAC	332 x IBM360	2.5 x Cray-1

Si t'interessa conèixer alguna cosa sobre el procés de fabricació dels microprocessadors, pots veure els següents vídeos:

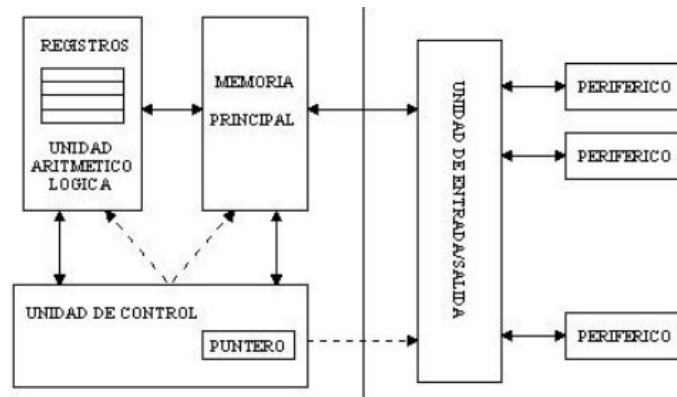
https://www.youtube.com/watch?v=cts_hrcuovi&feature=related

<https://www.youtube.com/watch?v=SeNrVQBRHqE&t=316s>

1.2 Arquitectura interna

Diem arquitectura interna del microprocessador a la distribució física dels seus components.

Els primers microprocessadors es van crear d'acord amb l'arquitectura de Von Neumann que ja coneixem:



L'evolució de l'electrònica ha permès integrar més components dins del microprocessador que fan que cada vegada siguin més potents i ràpids. En relació a això, vegem a continuació la Llei de Moore.

1.2.1 Llei de Moore i densitat d'integració

En 1965 Gordon Moore va predir que el nombre de transistors que incorpora un microprocessador es duplicaria cada 18/24 mesos. A aquesta afirmació se'l coneix com a **Llei de Moore** i pràcticament s'ha complert fins als nostres dies.

La densitat d'integració indica la separació que hi ha entre els transistors que formen el microprocessador. També es coneix com a tecnologia **de fabricació** i actualment és de l'ordre del nanòmetre (nm).

En augmentar la densitat d'integració, s'augmenta el nombre de transistors que es poden integrar en un mateix espai físic. Amb això, **augmenta** la **velocitat** de commutació dels transistors i per tant la **frequència** del xip. Però **augmenta** la **quantitat d'elements** que han de travessar els senyals elèctrics, i la longitud d'aquest camí **condiciona** fortament la **frequència** de funcionament del conjunt.

D'altra banda, **disminueix** el **voltatge** d'alimentació que requereix el xip. Això implica una reducció en la potència dissipada en forma de calor, encara que això no és del tot cert, ja que si **augmentem** la **frequència** pot ser necessari l'ús d'una **major tensió** d'alimentació.

L'augment de la densitat d'integració també permet **augmentar** la grandària de la **cache** integrada.

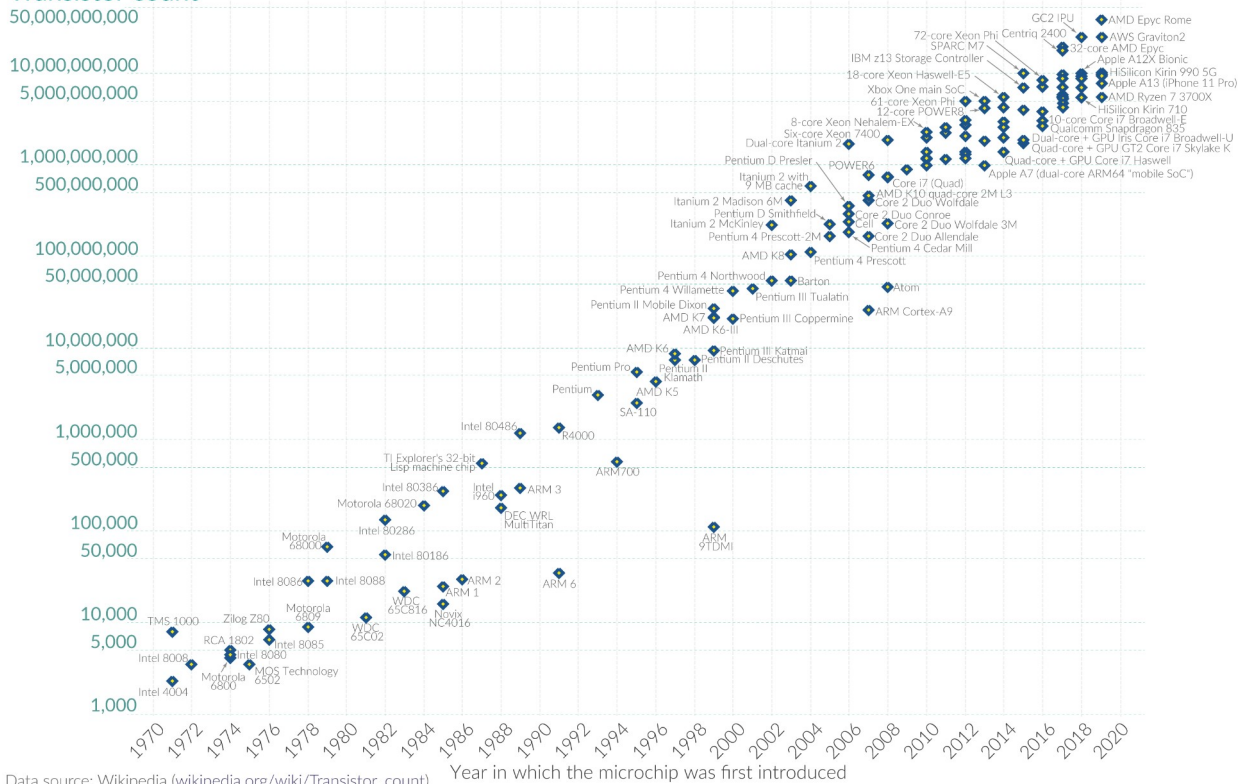
En definitiva, l'augment de la densitat d'integració ha sigut sens dubte beneficiós, encara que a l'hora de dissenyar un microprocessador s'haja hagut de ser acurat amb múltiples paràmetres.

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.

Our World
in Data

Transistor count



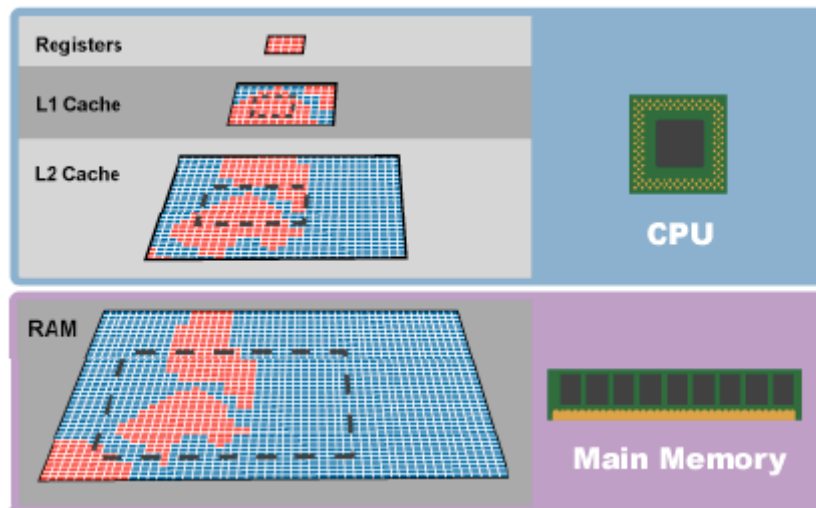
Data source: Wikipedia (wikipedia.org/wiki/Transistor_count)
 OurWorldinData.org – Research and data to make progress against the world's largest problems.

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

1.2.2 Elements d'un microprocessador

Revisem els elements que componen internament un microprocessador. Alguns ja els vam veure en el model de von Neumann.

- **Unitat de control.** Cerca les instruccions en memòria principal i les passa al descodificador per a executar-les.
- **Descodificador d'instruccions.** Interpreta i executa les instruccions.
- **Unitat aritmètic-lògica (ALU).** També dita coprocessador matemàtic. S'encarrega de realitzar les operacions aritmètiques (suma, resta, ...) i lògiques (AND, OR, ...) amb nombres enters.
- **Unitat de coma flotant (FPU).** Realitza les operacions de coma flotant (nombres reals).
- **Memòria caché.** És una memòria volàtil que s'utilitza per a reduir els accessos del processador a la memòria principal.



En aquesta figura veiem que dins del xip del microprocessador trobem els registres i la memòria caché (ara també de nivell 3) i d'altra banda tenim la memòria principal (memòria RAM)

- **Bus frontal (Front Side Bus, FSB).** També conegut com a bus principal o bus de sistema. És el canal que comunica el processador amb la placa base. En els processadors actuals rep noms com Quick Path Interconnect (QPI) o Direct Media Interface (DMI), en sistemes Intel, o Hypertransport, en AMD.

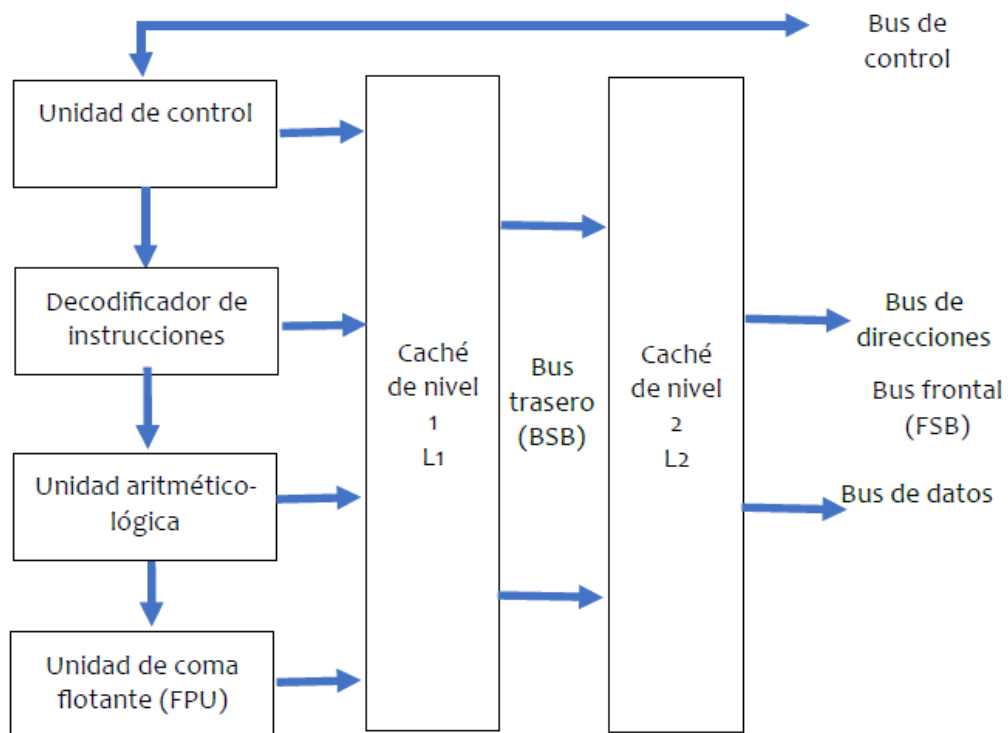
Encara que els fabricants ho anomenen de diferent forma es tracta del mateix bus, el **bus del sistema**, és a dir, comunica el processador i la placa.

- **Bus posterior (Back Side Bus, BSB).** És el nom que es donava al canal de comunicació entre el processador i la memòria caché quan aquesta no estava integrada en el nucli.

1.2.2.1 Nombre de nuclis del microprocessador

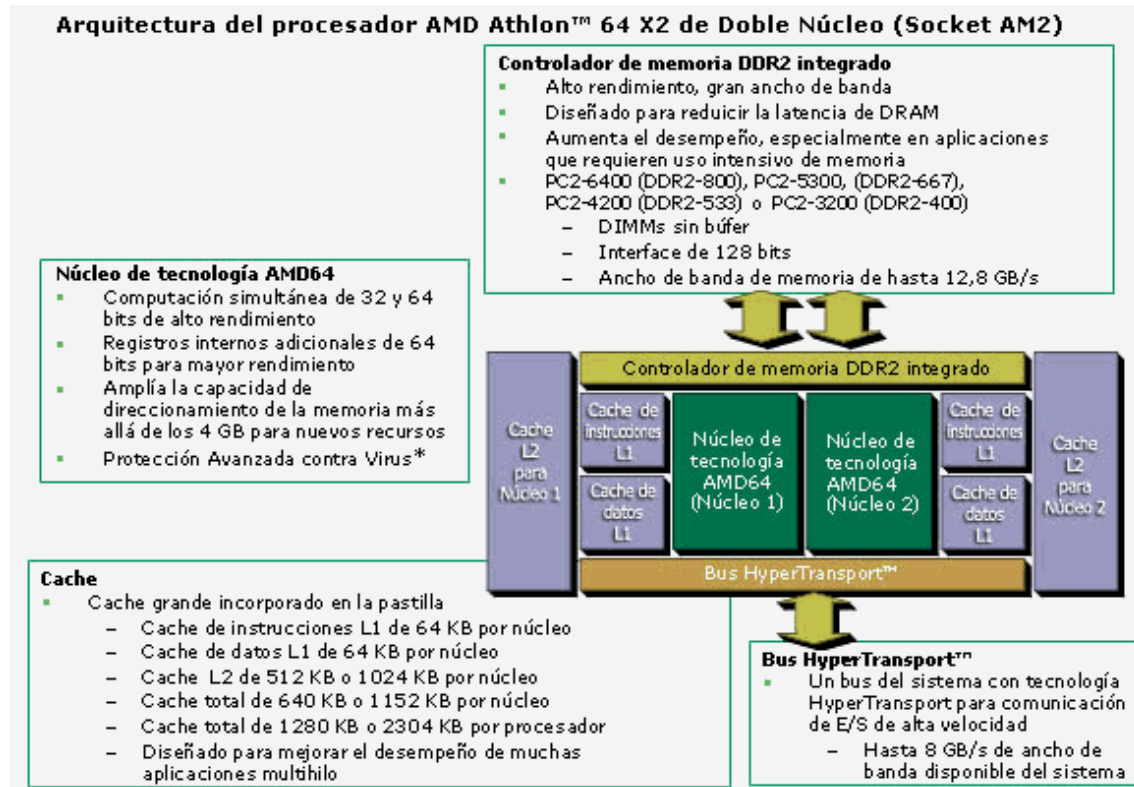
En un mateix xip de microprocessador, podem trobar un únic "cervell" o més d'un. Podem distingir entre:

- Processadors **mononúcleo**. Un únic nucli en el xip del microprocessador, és a dir, una única unitat de processament.

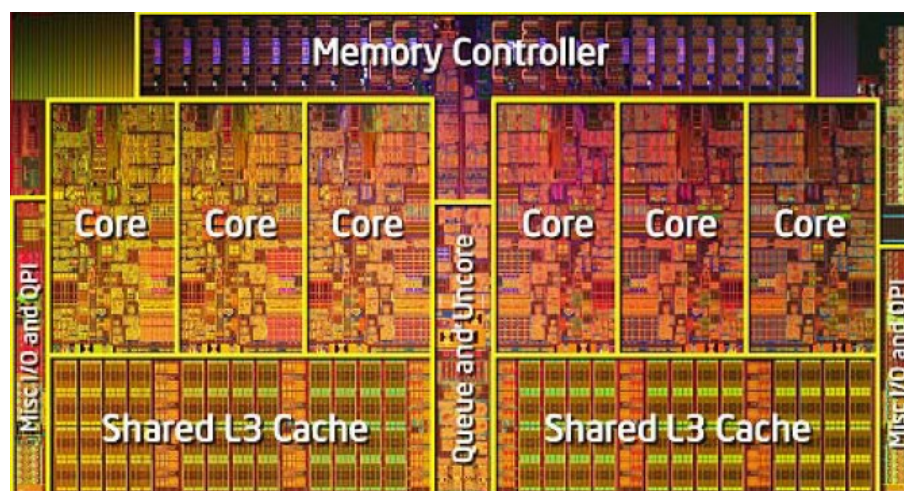


- Processadors **multinucli** (no s'ha de confondre amb sistemes multiprocessador, és a dir, amb dos o més microprocessadors). Disposen de diversos nuclis en un mateix xip. És com si tinguérem diversos cervells en un mateix xip. Permeten millorar l'acompliment del sistema, sempre que les aplicacions o el sistema operatiu siguin capaços d'aprofitar aquests nuclis, ja que es poden executar diversos processos al mateix temps.

En la següent figura veiem un exemple de microprocessador amb dos nuclis. En el xip del microprocessador també estaria integrada la memòria cau de nivells 1 i 2 (més endavant s'explica què és la memòria cau) i el controlador de memòria.



En el següent exemple veiem l'estructura interna de l'Intel Core i7 980X Extreme Edition. Es distingeixen sis nuclis, que inclouen memòria caché de nivell 1 i 2, i els bancs de memòria caché de nivell 3, compartida.

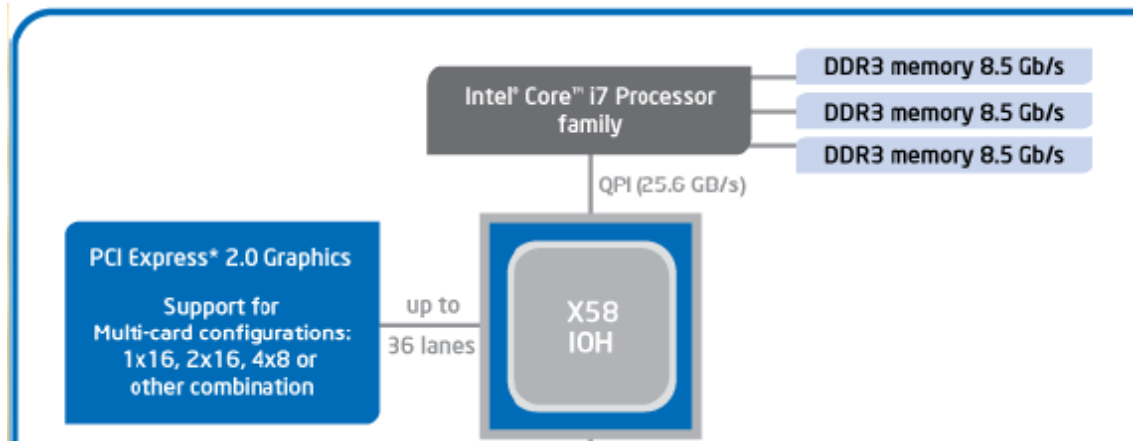


Amb els nous processadors multinucli apareixen **nous elements en el processador**:

- **Controlador de Memòria Integrat (IMC).**
 - És l'element que permet que els nous processadors puguin accedir directament a memòria principal.

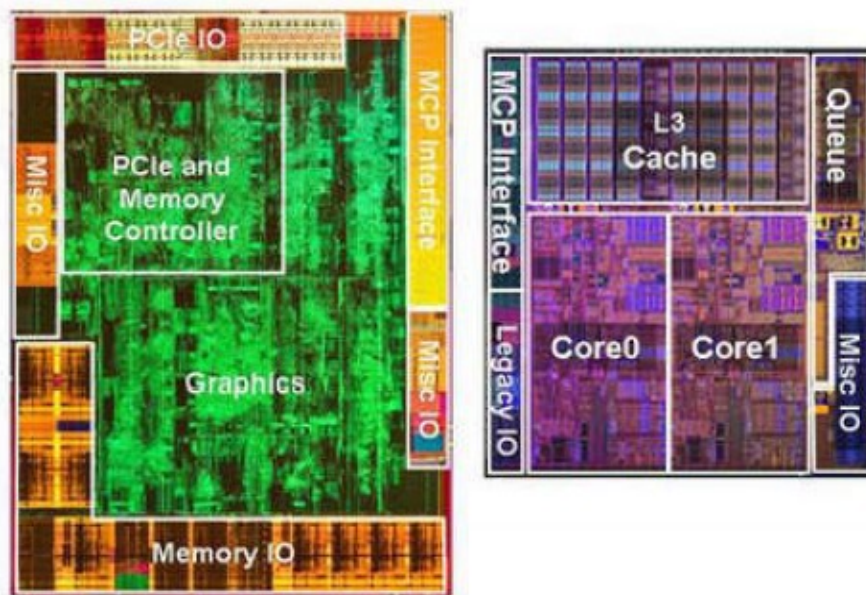
- **Bus de sistema d'alta velocitat.**

- És el substitut del FSB en les noves arquitectures d'Intel (QPI) i AMD (HT), que ja es van esmentar abans. (Més detall sobre el bus del sistema en el punt següent)

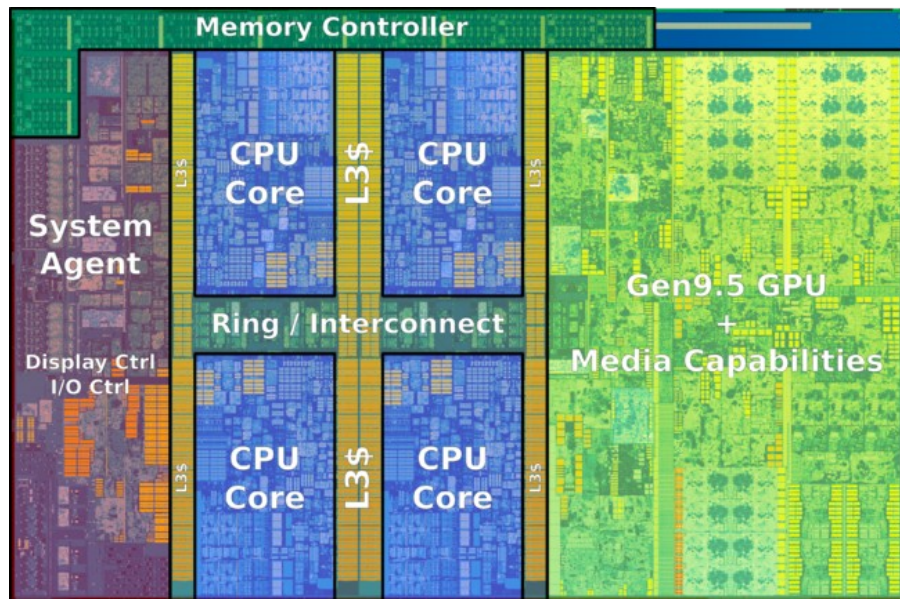


- **GPU integrada en el processador**

Exemple: microarquitectura Nehalem (esquerra pont nord, dreta microprocessador), la gestió de gràfics està en el pont nord, no integrada en el micro.



Exemple: microarquitectura Kaby Lake (major integració). GPU integrada en el microprocessador.



Font: en.wikichip.org

1.3 Arquitectura externa. El bus principal

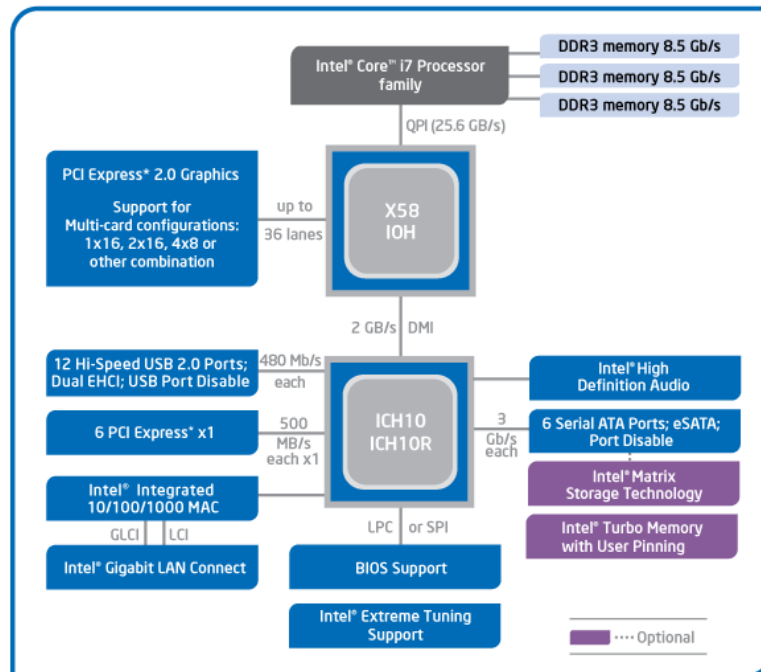
Es diu així a l'estructura que presenta el conjunt processador - placa base. A continuació tenim tres exemples d'aquesta arquitectura:

1.3.1 Arquitectura de Doble-Bus.

- Es tracta de l'arquitectura usada tradicionalment: Front Side Bus (FSB) + Back Side Bus (BSB)
- Intel va utilitzar aquesta tecnologia fins fa relativament poc, sent el Quad Core l'últim processador que la va implementar.
- El controlador de memòria es troba en el Northbridge.
- L'FSB és un bus amb línies independents per a direccions, dades i control.
- Amb la integració de les memòries caché en el propi nucli del micro, el BSB va desaparèixer com a tal.

1.3.2 Arquitectura QPI (QuickPath Interconnect), d'Intel.

- Arquitectura utilitzada per Intel en els seus processadors Core i amb microarquitectures Nehalem i Sandy Bridge, per exemple.

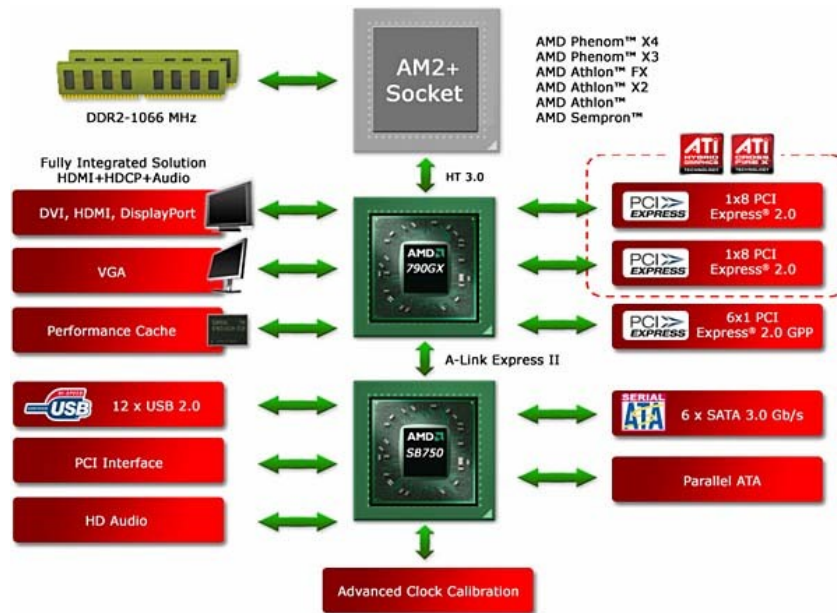


Intel® X58 Express Chipset Block Diagram

“Un bus és un subsistema que transfereix dades entre els components d'una computadora o entre computadores. Alguns tipus són el **bus frontal (FSB)**, que transporta dades entre la CPU i el concentrador de controladors de memòria; la **interfície directa de mitjans (DMI)**, que és una interconnexió de punt a punt entre un controlador de memòria integrat Intel i un concentrador de controladors de E/S Intel en la placa d'una computadora i **Quick Path Interconnect (QPI)**, que és una interconnexió punt a punt entre la CPU i el controlador de memòria integrat.” (Font: Intel)

1.3.3 Arquitectura HT (Hypertransport), AMD.

- Arquitectura propietària d'AMD creada per a substituir a l'arquitectura de doble bus. A vegades s'identifica amb les sigles HTT per a diferenciar-ho d'HyperThreading (HT).
- Aquests processadors incorporen el controlador de memòria **integrat** pel que poden comunicar-se directament amb la memòria principal (RAM).



1.4 Característiques principals dels microprocessadors

Les caractéristiques principaux d'un microprocessador són les següents:

- Amplària dels busos de dades i direccions
- Grandària de la **memòria caché**
- **Freqüència** de rellotge a la qual treballa (velocitat interna)
- Freqüència a la qual treballa el bus de sistema (velocitat externa)
- Densitat d'integració
- Alimentació (voltatge)
- Paral·lelisme: nombre de **nuclis** i nombre de **fil·ls**.

1.4.1 Amplària dels busos

Aquesta amplària dels busos coincideix al seu torn amb la grandària dels registres corresponents (dades i direccions) en el processador.

- Bus de dades
 - Representa la dada més gran que és capaç de manejar el microprocessador en una sola operació.
 - A més, la grandària d'aquest bus determina l'ample de paraula de la memòria principal.

- Bus de direccions
 - La grandària d'aquest bus determina la quantitat màxima de memòria que podem adreçar.
 - Amb 32 bits d'ample de bus podem adreçar fins a 4 GB (2^{32}).
 - Actualment els microprocessadors disposen de busos d'adreçament de 64 bits pel que podrien adreçar 16 exabytes.

1.4.2 Memòria caché

- La memòria caché¹ és una memòria intermèdia que se situa entre la memòria principal i la CPU per a accelerar els accessos a memòria.
- Es tracta de memòries de grandària molt més xicoteta i de velocitats molt majors que la memòria RAM.
- En elles s'emmagatzemen les últimes instruccions processades o les futures a processar juntament amb les seues dades.
- Al llarg del temps, s'ha implementat de diferents maneres:

Modalitat de caché en relació al microprocessador	Ubicació en el sistema	Denominació de la seua connexió al microprocessador
Externa	En placa base	Bus local o bus frontal (FSB, Front-Side Bus)
Interna	En un segon xip al costat del de la CPU	Bus posterior (BSB, Back-Side Bus)
Integrada	Com a part del propi xip de la CPU	Connexió interna

En l'actualitat la modalitat utilitzada és la integrada.

- Hi ha diversos nivells de memòria caché, anomenats L1, L2 i L3:
caché de 1r nivell (L1):
 - integrada en el propi nucli del processador
 - molt ràpida, treballa a la mateixa velocitat que el processador
 - emmagatzema instruccions i dades d'ús molt freqüent
 - sol al seu torn estar dividida en dues parts dedicades: una per a instruccions i una altra per a dades.

1 Les memòries caché són memòries SRAM, memòries que no necessiten refresc.
<https://es.wikipedia.org/wiki/sram>

- Si les parts d'instruccions i dades no estan separades es denomina caché unificada. Això era típic de les primeres caches.

caché de 2n nivell (L2):

- A partir dels processadors Pentium III deixa d'estar en la placa base per a incorporar-se al microprocessador. Ara la trobem en els nuclis del microprocessador.
- una mica més lenta que la L1, però de major capacitat.
- guarda dades d'ús menys freqüent que els emmagatzemats en la cache L1
- a diferència de la caché L1, no està dividida, i la seua utilització està més encaminada a programes que al sistema.

caché de 3er nivell (L3):

- memòria caché més lenta que la L2
- pot trobar-se en el processador (el més habitual) o en placa base. En els microprocessadors multinucli sol estar compartida entre els diferents nuclis.

Notes sobre les maneres en què pot estar especificada la memòria caché d'un microprocessador:

- Si apareix caché 64kB + 64 kB, vol dir 64 kB per a instruccions i 64 kB per a dades.
- Si veiem 2 x 4 MB, vol dir que són 4MB per nucli si té dos nuclis o 4 MB per parella de nuclis si té quatre nuclis.
- Si ix només una quantitat, per exemple 2 MB i no 4 x 512 kB, llavors és compartida per tots els nuclis, en aquest cas 4.

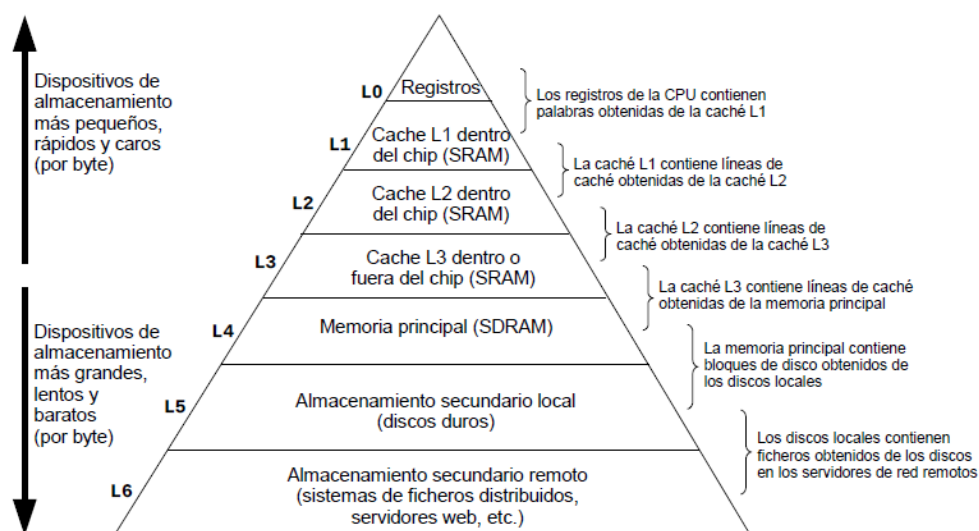


Figura: Estructura básica de la jerarquía de memoria.

En la figura anterior veiem com s'estableix una jerarquia de memòria en el computador, on en la part de dalt trobem els tipus memòries més pròxims al microprocessador, més ràpids i

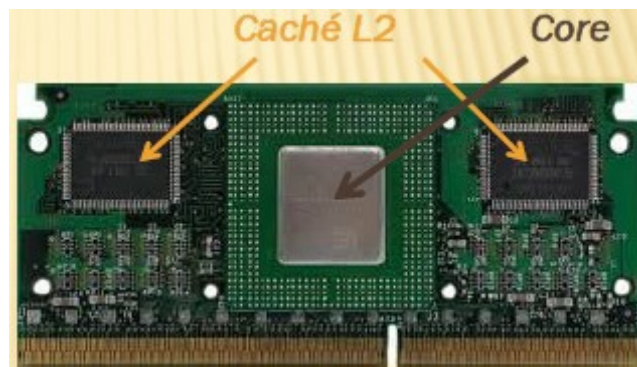
més cars, i a mesura que descendim en la jerarquia, trobem memòries més grans, més lentes i més barates. Veiem que la memòria caché se situa entre els registres del microprocessador i la memòria principal.

A continuació, es mostra una taula amb els temps d'accés i preus de les diferents tecnologies de memòria més comunes (any 2009). **Consideració:** les memòries més ràpides són les més cares per bit i per tant solen ser més xicotetes.

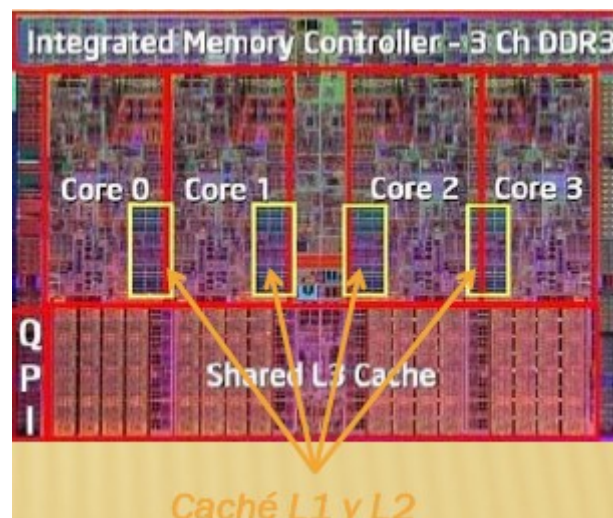
Tecnología	Tiempo de acceso típico	€ por MB
SRAM	1 ns	20 €
SDRAM	5 ns	0,01 €
Disco magnético	8.500.000 ns	0,0001 €

SRAM usada en caché, SDRAM en memoria principal.

- Exemples d'on trobem la memòria caché en diferents microprocessadors:
 - Intel Pentium II (obsolet) → Cache L2 al costat del processador, però en xips diferents (interna).



- Intel Core i (4 nucleos) → Caches L1 i L2 integrades en cada nucli i cache L3 integrada en el processador i compartida per tots els nuclis.



En la següent imatge podem observar diferents grandàries de la memòria caché segons el microprocessador. El primer d'ells està destinat a servidors. Una major grandària de la memòria caché encareix el microprocessador. Normalment trobarem que, a major nombre de nuclis, major grandària de memòria caché.

<input checked="" type="checkbox"/> Highlight rows with differences	Intel® Xeon® Processor E7-8867L (30M Cache, 2.13 GHz, 6.40 GT/s Intel® QPI)	Intel® Core™ i5-2500K Processor (6M Cache, 3.30 GHz)	Intel® Core™ i3-2350M Processor (3M Cache, 2.30 GHz)	Intel® Core™ i3-2130 Processor (3M Cache, 3.40 GHz)
				
Code Name	Westmere EX	Sandy Bridge	Sandy Bridge	Sandy Bridge
Essentials				
Status	Launched	Launched	Launched	Launched
Launch Date	Q2'11	Q1'11	Q4'11	Q3'11
Processor Number	E7-8867L	i5-2500K	i3-2350M	i3-2130
# of Cores	10	4	2	2
# of Threads	20	4	4	4
Clock Speed	2.13 GHz	3.3 GHz	2.3 GHz	3.4 GHz
Max Turbo Frequency	2.533 GHz	3.7 GHz		
Cache	30 MB Intel® Smart Cache	6 MB Intel® Smart Cache	3 MB Intel® Smart Cache	3 MB Intel® Smart Cache
Lithography	32 nm	32 nm	32 nm	32 nm
Max TDP	105 W	95 W	35 W	65 W
Memory Specifications				
Max Memory Size (dependent on memory type)	32 GB	32 GB	16 GB	32 GB
Memory Types	DDR-3 800/978/1066/1333 (Max Speed 1066 MHz)	DDR3-1066/1333	DDR3-1066/1333	DDR3-1066/1333

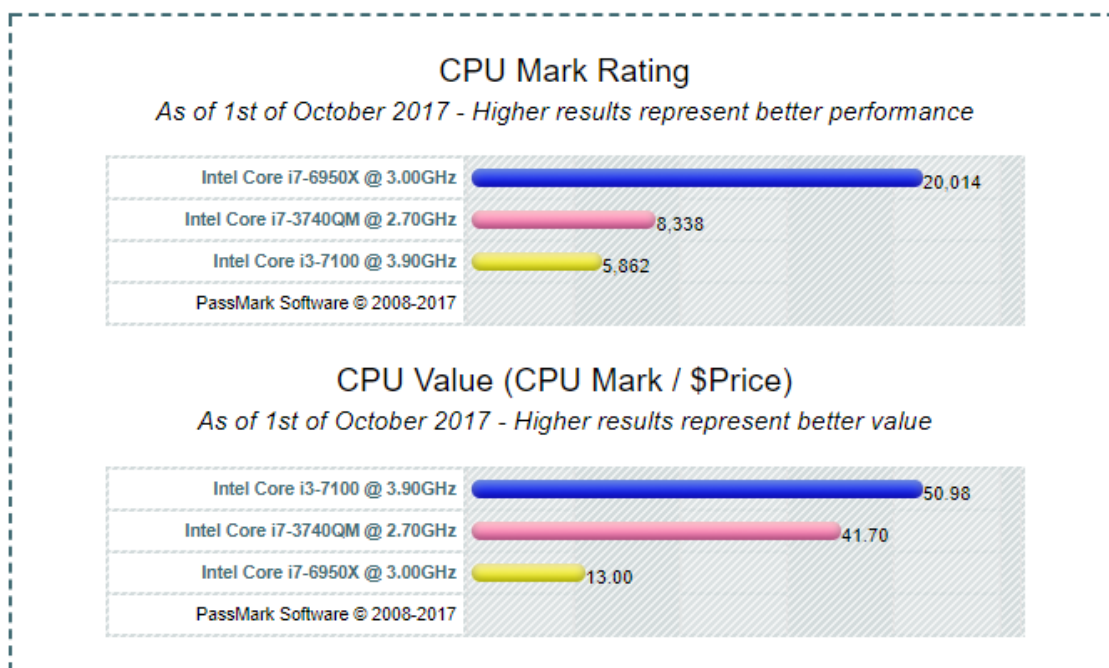
Aprofitem aquesta taula per a fixar-nos també en altres característiques. El tercer microprocessador està destinat a ordinadors portàtils. Aquests equips, per les seues característiques, requereixen microprocessadors que consumisquen menys potència. D'una banda, no tenen tan fàcil la ventilació i d'altra banda, si s'utilitzen amb bateria serà desitjable que els components de l'ordinador consumisquen el menys possible per a allargar el temps d'utilització.

1.4.3 Velocitat interna del processador

- Es tracta de la freqüència de rellotge interna a la qual treballa el microprocessador.
- En general, com més gran siga la velocitat del processador → major nombre d'operacions per unitat de temps realitza → major rendiment.
- La inversa de la freqüència és el període de rellotge.
- No obstant això, un processador de 2GHz no és el doble de ràpid que un a 1GHz ja que el rendiment global dependrà també de la resta de característiques que estem veient.




- Per a il·lustrar això, vegem la següent comparativa extreta de la web www.cpubenchmark.net, de PassMark Software. Veiem que el microprocessador amb freqüència de rellotge més alta, l'i3-7100 a 3.90GHz, és el que pitjor compliment té, sent la seua freqüència més alta que la dels altres dos, amb 3GHz i 2.7GHz. El nombre de nuclis de l'i3 és de 2, enfront dels 10 i els 4 dels altres dos micros.

	Intel Core i7-6950X @ 3.00GHz	Intel Core i3-7100 @ 3.90GHz	Intel Core i7-3740QM @ 2.70GHz
Price	\$1539.99 BUY NOW!	\$114.98 BUY NOW!	\$199.95 BUY NOW!
Socket Type	LGA2011-v3	FCLGA1151	rPGA988B
CPU Class	Desktop	Desktop	Laptop
Clockspeed	3.0 GHz	3.9 GHz	2.7 GHz
Turbo Speed	Up to 4.0 GHz	Not Supported	Up to 3.7 GHz
# of Physical Cores	10 (2 logical cores per physical)	2 (2 logical cores per physical)	4 (2 logical cores per physical)
Max TDP	140W	51W	45W
First Seen on Chart	Q2 2016	Q1 2017	Q2 2012
# of Samples	259	328	952
Single Thread Rating	2147	2228	1875
CPU Mark	20014	5862	8338






A continuació, podem veure alguns paràmetres més d'aquests microprocessadors en una comparativa d'Intel.

Veiem també que la memòria caché de l'i3 és la més xicoteta (3 MB enfront de 25MB i 6MB dels altres dos micros).

3 Productos																															
<div>    </div>																															
<div> <div>Procesador Intel® Core™ i7-6950X Extreme Edition</div> <div>Procesador Intel® Core™ i3-7100</div> <div>Procesador Intel® Core™ i7-3740QM</div> </div>																															
Puntos fundamentales																															
<table> <tr> <td>Colección de productos</td><td>Procesadores Intel® Core™ serie X</td><td>Procesadores Intel® Core™ i3 de séptima generación</td><td>Procesadores Intel® Core™ anteriores</td></tr> <tr> <td>Segmento vertical</td><td>Desktop</td><td>Desktop</td><td>Mobile</td></tr> <tr> <td>Número de procesador</td><td>i7-6950X</td><td>i3-7100</td><td>i7-3740QM</td></tr> <tr> <td>Estado</td><td>Launched</td><td>Launched</td><td>Launched</td></tr> <tr> <td>Fecha de lanzamiento</td><td>Q2'16</td><td>Q1'17</td><td>Q3'12</td></tr> </table>				Colección de productos	Procesadores Intel® Core™ serie X	Procesadores Intel® Core™ i3 de séptima generación	Procesadores Intel® Core™ anteriores	Segmento vertical	Desktop	Desktop	Mobile	Número de procesador	i7-6950X	i3-7100	i7-3740QM	Estado	Launched	Launched	Launched	Fecha de lanzamiento	Q2'16	Q1'17	Q3'12								
Colección de productos	Procesadores Intel® Core™ serie X	Procesadores Intel® Core™ i3 de séptima generación	Procesadores Intel® Core™ anteriores																												
Segmento vertical	Desktop	Desktop	Mobile																												
Número de procesador	i7-6950X	i3-7100	i7-3740QM																												
Estado	Launched	Launched	Launched																												
Fecha de lanzamiento	Q2'16	Q1'17	Q3'12																												
<table> <tr> <td>Litografía</td><td>14 nm</td><td>14 nm</td><td>22 nm</td></tr> <tr> <td>Precio de cliente recomendado</td><td>\$1723.00 - \$1743.00</td><td>\$117.00</td><td>\$378.00 - \$380.00</td></tr> </table>				Litografía	14 nm	14 nm	22 nm	Precio de cliente recomendado	\$1723.00 - \$1743.00	\$117.00	\$378.00 - \$380.00																				
Litografía	14 nm	14 nm	22 nm																												
Precio de cliente recomendado	\$1723.00 - \$1743.00	\$117.00	\$378.00 - \$380.00																												
Desempeño																															
<table> <tr> <td>Cantidad de núcleos</td><td>10</td><td>2</td><td>4</td></tr> <tr> <td>Cantidad de subprocesos</td><td>20</td><td>4</td><td>8</td></tr> <tr> <td>Frecuencia básica del procesador</td><td>3,00 GHz</td><td>3,90 GHz</td><td>2,70 GHz</td></tr> <tr> <td>Caché</td><td>25 MB</td><td>3 MB SmartCache</td><td>6 MB SmartCache</td></tr> <tr> <td>Velocidad del bus</td><td></td><td>8 GT/s DMI3</td><td>5 GT/s DMI</td></tr> <tr> <td>Cantidad de enlaces QPI</td><td></td><td>0</td><td></td></tr> <tr> <td>TDP</td><td>140 W</td><td>51 W</td><td>45 W</td></tr> </table>				Cantidad de núcleos	10	2	4	Cantidad de subprocesos	20	4	8	Frecuencia básica del procesador	3,00 GHz	3,90 GHz	2,70 GHz	Caché	25 MB	3 MB SmartCache	6 MB SmartCache	Velocidad del bus		8 GT/s DMI3	5 GT/s DMI	Cantidad de enlaces QPI		0		TDP	140 W	51 W	45 W
Cantidad de núcleos	10	2	4																												
Cantidad de subprocesos	20	4	8																												
Frecuencia básica del procesador	3,00 GHz	3,90 GHz	2,70 GHz																												
Caché	25 MB	3 MB SmartCache	6 MB SmartCache																												
Velocidad del bus		8 GT/s DMI3	5 GT/s DMI																												
Cantidad de enlaces QPI		0																													
TDP	140 W	51 W	45 W																												
<table> <tr> <td>Cantidad de enlaces QPI</td><td></td><td>0</td><td></td></tr> <tr> <td>Frecuencia de la tecnología Intel® Turbo Boost Max 3.0 ‡</td><td>4,00 GHz</td><td></td><td></td></tr> </table>				Cantidad de enlaces QPI		0		Frecuencia de la tecnología Intel® Turbo Boost Max 3.0 ‡	4,00 GHz																						
Cantidad de enlaces QPI		0																													
Frecuencia de la tecnología Intel® Turbo Boost Max 3.0 ‡	4,00 GHz																														

La **frecüència turbo** que veiem en les taules, i que és superior a la freqüència base del processador, és aquella a la qual uns certs nuclis del microprocessador són capaços de treballar de manera automàtica, depenent de diversos factors, com la càrrega de treball del micro, la seua temperatura o els nuclis actius, entre altres.

3 Productos	 Procesador Intel® Core™ i7-6950X Extreme Edition	 Procesador Intel® Core™ i3-7100	 Procesador Intel® Core™ i7-3740QM
-------------	---	--	--

Especificaciones de memoria


Tamaño de memoria máximo (depende del tipo de memoria)	128 GB	64 GB	32 GB
Tipos de memoria	DDR4 2400/2133	DDR4-2133/2400, DDR3L-1333/1600 @ 1.35V	DDR3/L-RS 1333/1600
Cantidad máxima de canales de memoria	4	2	2
Máximo de ancho de banda de memoria			25,6 GB/s
Compatible con memoria ECC ‡	No	Sí	No

Especificaciones de gráficos


Gráficos del procesador ‡	None	Intel® HD Graphics 630	Intel® HD Graphics 4000
Frecuencia de base de gráficos		350 MHz	650 MHz
Frecuencia dinámica máxima de gráficos		1,10 GHz	1,30 GHz
Salida de gráficos			eDP/DP/HDMI/SDVO/CRT
Intel® Quick Sync Video		Sí	Sí
Tecnología Intel® InTru™ 3D		Sí	Sí
Intel® Flexible Display Interface			Sí
Tecnología Intel® de video nítido HD		Sí	Sí

« Nº de pantallas admitidas ‡ »		3	3
« ID de dispositivo »		0x5912	0x166
« Memoria máxima de video de gráficos »		64 GB	
« Compatibilidad con 4K »		Yes, at 60Hz	
« Resolución máxima (HDMI 1.4)‡ »		4096x2304@24Hz	
« Resolución máxima (DP)‡ »		4096x2304@60Hz	
« Resolución máxima (eDP - panel plano integrado)‡ »		4096x2304@60Hz	
« Compatibilidad con DirectX* »		12	
« Compatibilidad con OpenGL* »		4.4	
« Tecnología Intel® de video nítido »		Sí	


3 Productos



Procesador Intel® Core™ i7-6950X Extreme Edition



Procesador Intel® Core™ i3-7100



Procesador Intel® Core™ i7-3740QM

Opciones de expansión

« Revisión de PCI Express »	3.0	3.0	3.0
« Configuraciones de PCI Express ‡ »		Up to 1x16, 2x8, 1x8+2x4	1x16, 2x8, 1x8 2x4
« Cantidad máxima de líneas PCI Express »	40	16	16
« Escalabilidad »	1S Only	1S Only	

Especificaciones de paquete

« Zócalos compatibles »	FCLGA2011-3	FCLGA1151	FCPGA988
« Máxima configuración de CPU »	1	1	1
« T _{JUNCTION} »		100°C	105 C

1.4.4 Velocitat del Bus Principal o Velocitat Externa

- És la freqüència de rellotge a la qual viatgen les dades pel bus principal (FSB, QPI o HT).
- Atés que el micro internament funciona a una freqüència i la placa a una altra, es necessita d'un multiplicador que ajust/adapte la diferència de velocitat entre tots dos.
- Lògicament, per a augmentar el rendiment del processador interessa que la velocitat del bus principal **sigui el més alta possible**.

1.4.5 Densitat d'integració

- En les especificacions d'Intel trobarem aquest paràmetre com a “litografia”, i les d'AMD com “CMOS”. En els processadors actuals, és comú trobar aquest paràmetre amb valors de 12nm o 14nm.

1.4.6 Alimentació o voltaje i TDP (Thermal Design Power)

- A major voltatge, major freqüència de funcionament del processador, però també major calor dissipada i major consum d'energia.
- En l'actualitat s'utilitza un paràmetre conegut com **Thermal Design Power** (TDP) per a representar la màxima quantitat de calor que necessitarà dissipar el microprocessador. Ens ajudarà a l'hora de triar un sistema de refrigeració, encara que és un valor més qualitatiu que quantitatiu, ja que cada fabricant realitza el càlcul de la TDP de manera diferent. En portàtils interessaran valors baixos, ja que la manera de dissipar la calor en aquests sistemes no és tan versàtil com per exemple en els ordinadors d'escriptori.

TDP en TechQuickie: <https://www.youtube.com/watch?v=ydwo177bjzy>

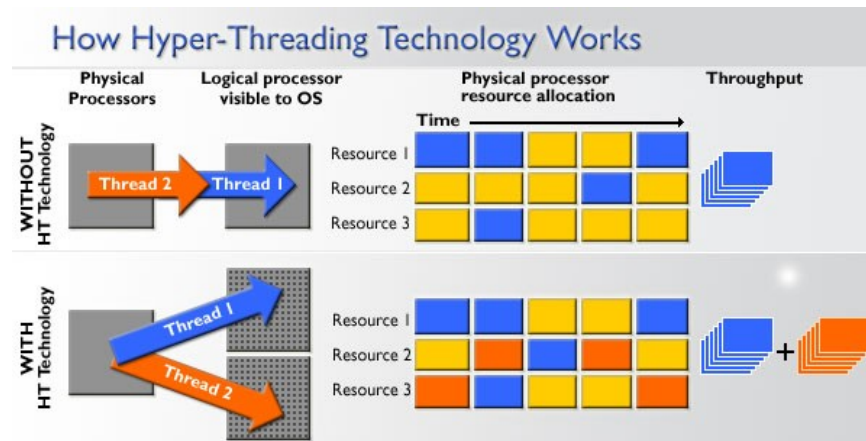
1.4.7 Paral·lelisme: nombre de fils i nombre de nuclis.

“El paral·lelisme és una forma de computació en la qual diversos càlculs poden realitzar-se simultàniament.” (<https://dl.acm.org/citation.cfm?id=101116.101127>)

Algunes tècniques relacionades amb el paral·lelisme són:

1.4.7.1 *Multifil (Multithreading)*

- Consisteix a dividir el treball d'un programa (procés) en diversos subtrabajos que poden córrer en processadors diferents.
- L'HyperThreading (HT) d'Intel és un exemple de tecnologia multithreading.



- Millora el rendiment global de l'ordinador fent que un únic **microprocessador físic emule a dos microprocessadors lògics**.
- Per a poder utilitzar aquesta tecnologia el sistema operatiu, la placa base, el chipset i la BIOS han de suportar HT.
- A més, és necessari que les aplicacions estiguen programades de manera que siguin divisibles en diversos fils.

1.4.7.2 Multinucleo (Multicore)

- Es refereix a processadors que contenen dos o més nuclis físics. Permet executar un procés en cada nucli.

1.4.8 Altres característiques

1.4.8.1 Virtualització per maquinari

- És a dir, emular, mitjançant màquines virtuals, els components de maquinari. D'aquesta manera el sistema operatiu no s'executa sobre el maquinari real sinó sobre el virtual.
- La virtualització per maquinari en Intel i AMD pot estar suportada pels seus micros.
 - VM-x en Intel
 - VMS en AMD

1.4.8.2 Conjunt d'instruccions

- Una de les especificacions que proporcionen els fabricants és el conjunt d'instruccions suportat pels seus microprocessadors.

1.4.8.2.1 Funcionament

Com pot executar-se un programa en un microprocessador?

- Un programa és un conjunt d'instruccions, i una instrucció no és més que un codi binari que la CPU pot entendre.
- L'execució d'un programa suposa l'execució seqüencial de cadascuna de les seues instruccions.

Cómo s'executa una instrucció? Podem distingir dues fases:

1. **Fase de cerca** → per a portar la instrucció des de la memòria fins a la CPU
 2. **Fase d'execució** → per a dur a terme les accions descrites per la instrucció
- Tots els processadors treballen amb un conjunt d'instruccions concret.
 - Diem que dos processadors són compatibles si comprenen les mateixes instruccions.
 - Així, tots els processadors de la família del PC són compatibles pel que poden executar les mateixes instruccions i, en conseqüència, els mateixos programes.
 - A aquest conjunt d'instruccions que inicialment van utilitzar els PCs se li dic **x86**.
 - El conjunt d'instruccions x86 va aparèixer amb el processador Intel 8086 a la fi dels anys 70.
 - L'Intel **80386** va ampliar aquest conjunt d'instruccions per a treballar amb registres de 32 bits (el 8086 era de 16 bits).
 - És per això que moltes vegades també ens referim a aquest conjunt d'instruccions com x86-32 o IA-32 (Intel Architecture 32-bit) per a diferenciar-ho del conjunt original x86-16 així com de la seua posterior adaptació a màquines de 64 bits (x86-64, x64, EM64T, etc.).
 - Cada nova generació de processadors ha ampliat aquest conjunt d'instruccions inicial amb noves instruccions amb dos fins principals:
 - Permetre fer noves tasques a la CPU. Els ordinadors actuals executen molts programes que en aquella època no existien.
 - Millorar l'eficiència en l'execució de les instruccions.
 - Hauràs vist en moltes ocasions que un programa té com a requisit una CPU mínima per a poder executar-se.

- A vegades, aquest requisit pot atendre raons de velocitat, però en moltes altres situacions és pel fet que necessita que el processador suporti unes instruccions determinades que es van introduir amb aquesta CPU.

Algunes de les instruccions que han ampliat el conjunt x86 són les següents:

- **IA-32** (Intel Architecture 32-bit)
 - Extensió del conjunt x86 per a treballar en processadors de 32 bits.
- **MMX** (Multimèdia eXtension)
 - Introduïdes pel Pentium MMX en 1997. Eren un conjunt de noves instruccions i registres per a realitzar **operacions amb enters de forma més eficient** en aplicacions riques **en gràfics**.
- **3DNow!**
 - Va ser la resposta d'AMD a les instruccions MMX d'Intel.
 - Van aparèixer amb l'AMD K6-2 en 1998 amb la finalitat de millorar l'execució en aplicacions 3D.
- **SSE** (Streaming SIMD Extensions) o **MMX2**
 - Van aparèixer amb el Pentium III en 1999 per a millorar a les anteriors MMX en dos aspectes: treballen amb **números en coma flotant** i poden emprar-se simultàniament amb l'ús de la FPU.
- **SSE2, SSE3, SSSE3, SSE4, SSE5, AVX, CVT16...**
 - Successives versions que milloren les instruccions SSE per a maneig de **gràfics**.
- **X86-64 o AMD64**
 - Extensió del conjunt x86 per a treballar en processadors de 64bits. Van ser creades per AMD i implementades per primera vegada en el seu processador Opteron en 2003.
- **IA-32e, EM64T o Intel64**
 - Noms que va donar Intel a la seua extensió del conjunt x86 per a treballar en processadors de 64bits. Cal distingir-les del conjunt **IA64** que Intel va implementar en els seus processadors per a servidors **Itanium**, les quals són **incompatibles amb** les instruccions x86.

1.4.9 Tipus d'instruccions (AMPLIACIÓ)

- Fins a 2006, els ordinadors d'Apple utilitzaven uns processadors que els feien incompatibles amb els PC.
- Es tractava de processadors Motorola i PowerPC².
- El motiu d'aquesta incompatibilitat radica en el fet que aquests processadors executen un conjunt d'instruccions diferent al conjunt d'instruccions suportat pels processadors Intel o AMD (recordeu **x86**).
- Es tractava de dues filosofies de disseny de microprocessadors diferents:
 - **CISC** (Complex Instruction Set Computer), és a dir, utilitzar un conjunt d'instruccions format per poques instruccions, però complexes (Intel, AMD).
 - **Objectiu:** Reduir el nombre de línies de codi ensamblador³ dels programes.
 - Instruccions més complexes → requereixen més temps d'execució (diversos cicles de rellotge)
 - El conjunt original d'instruccions x86 (Intel/AMD) era de tipus CISC.
 - **RISC** (Reduced Instruction Set Computer), o cosa que és el mateix, moltes instruccions, però simples (Apple, Motorola, IBM, PowerPC).
 - **Objectiu:** Utilitzar instruccions més senzilles que s'executen més ràpidament que les CISC.
 - Estructura de processador més simple → reducció de la superfície del circuit integrat.
 - Programes més llargs i voluminosos.
 - Apple, IBM i Motorola.
- Que és millor CISC o RISC?
 - Estudis de prestacions de totes dues tecnologies mostren que els RISC obtenen millors prestacions (més potents i ràpids) que els CISC.
 - No obstant això, el mercat dels ordinadors personals està copat per x86 → CISC més utilitzat.

²D'IBM. En el següent enllaç pots trobar un article amb informació sobre els diferents micros d'IBM: <https://www.nextplatform.com/2015/08/10/ibm-roadmap-extends-power-chips-to-2020-and-beyond/>

³Recordem que tenim diferents nivells de llenguatges de programació: el llenguatge d'alt nivell, el llenguatge ensamblador i el llenguatge màquina.

- És cert?
 - Realment, les diferències són cada vegada més borroses entre les architectures CISC i RISC.
 - Les CPU modernes d'Intel i AMD es basen en una combinació d'instruccions CISC i RISC.
 - Aquests processadors tradueixen les llargues instruccions CISC de l'arquitectura x86 a operacions senzilles de longitud fixa que s'executen en un nucli d'estil RISC.
 - L'objectiu és obtenir els avantatges de totes dues tecnologies: mantindre la compatibilitat amb les instruccions CISC x86 aconseguint les prestacions d'execució d'instruccions RISC.

Article relacionat: <https://www.xataka.com/componentes/llega-nuevo-competidor-al-mercado-procesadores-no-fabricara-chips-x86-arm-ha-apostado-arquitectura-risc-v>

1.5 Lectura - microprocessadors d'Intel i AMD

Llig el següent article: "Equivalencias de procesadores Intel y AMD: Guía completa con arquitecturas, series y gamas", <https://www.muycomputer.com/2021/04/06/guia-procesadores-intel-y-amd-2021/>

1.6 Refrigeració

Tot component electrònic genera calor quan per ell passa corrent elèctric. Aquesta calor pot fer que el dispositiu electrònic siga inestable i produïska errors en el seu funcionament.

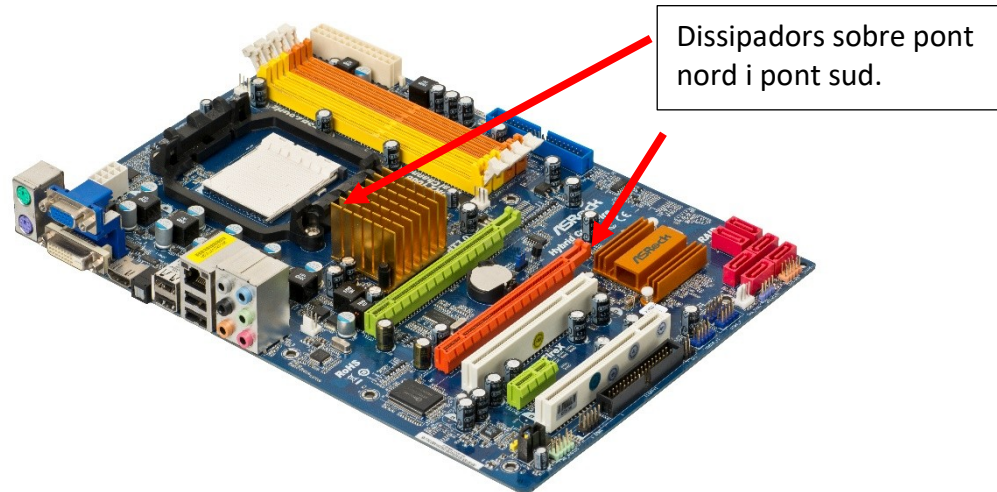
- Per tant, és importantíssim dissipar la calor que produeixen els elements d'un ordinador. A més:
 - A major voltatge → més calor
 - A major velocitat de treball (freqüència) → més calor

Per a refrigerar el microprocessador, si aquest inclou ventilació és possible que aqueixa siga suficient. Si se'ns avaria, si l'ús que li donarem a l'equip fa aconsellable una altra ventilació més eficaç o si simplement el microprocessador s'embene sense ventilador, tenim les següents solucions.

1.6.1 Tipus de refrigeracion

1.6.1.1 *Passiva per aire → dissipadors*

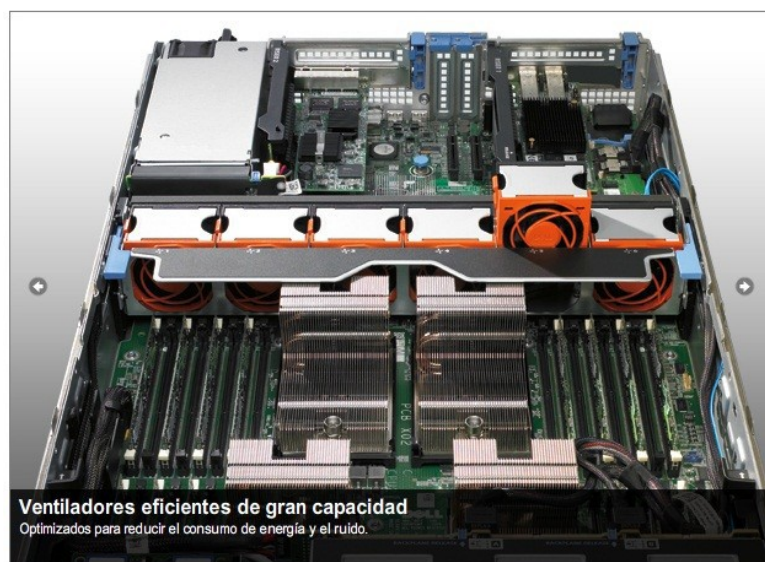
L'objectiu del dissipador és incrementar la superfície de contacte amb l'aire per a maximitzar la calor que aquest és capaç de retirar. Quantes més aletes i més primes més calor dissiparà.



Actualment trobarem dissipadors (sense parts actives) en el chipset. Per al microprocessador usarem altres solucions més eficients, les veiem a continuació.

1.6.1.2 *Activa per aire → dissipador + ventilador*

Un ventilador (o varis) al costat d'un dissipador, mejora l'eficàcia de la solució anterior. Interessa que el ventilador siga el més gran possible dins del que puguem instal·lar en la nostra caixa, ja que com més grans siguen les aspes, menor serà la velocitat de gir (en rpm, revolucions per minut) per a moure una mateixa quantitat d'aire i per tant, menor serà el soroll.



Ventiladores eficientes de gran capacidad
Optimizados para reducir el consumo de energía y el ruido.

Servidor para rack Dell PowerEdge R815

1.6.1.3 Refrigeració líquida

- Bàsicament es compon d'un radiador, un depòsit, una bomba d'aigua i el circuit de tubs.
- Més eficaç que per aire.
- Menys sorollosa.
- Permet refrigerar tots els components alhora (processador, chipsets, gràfica, disc dur i memòria).
- Com a inconvenients, podem esmentar el major preu.

La següent imatge és d'un refrigerador de Thermaltake instal·lat:

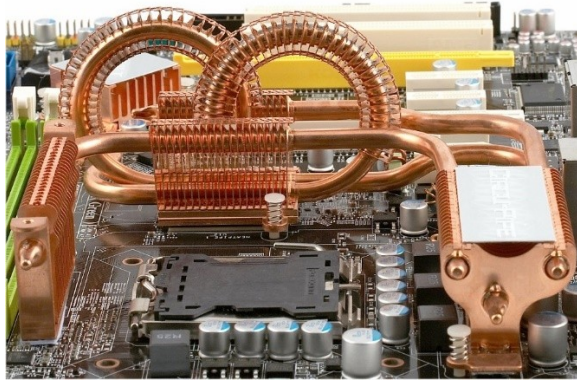


Per a conèixer més sobre aquests dos últims sistemes de refrigeració pots veure el vídeo següent. S'explica la base de funcionament dels dos sistemes, els seus avantatges i inconvenients i el que ens pot convindre més segons l'ús que anem a donar:

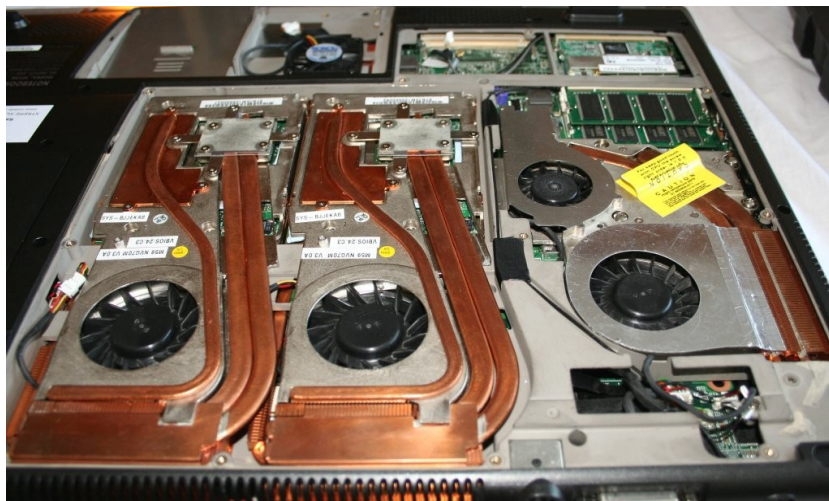
- <https://www.youtube.com/watch?v=ishytwqrcm>

1.6.1.4 Refrigeracion per Heatpipes

Es tracta d'un circuit tancat on un fluid es calfa en la base de contacte amb la CPU, s'evapora, puja per una canonada fins al dissipador, es condensa i baixa com a líquid a la base novament.



Font: <http://www.ixbt.com/mainboard/msi/p35-platinum/heat-pipe-side.jpg>



- Vídeo - Fanless PC internal heat pipes explained:
 - <https://www.youtube.com/watch?v=tgow29pjoag>
- Exemple d'instal·lació de heatpipes:
 - <https://www.youtube.com/watch?v=dczn2kfftoi>

2 La memòria

Des del punt de vista informàtic, memòria és tot dispositiu que és capaç d'emmagatzemar informació i subministrar informació.

Per tant, les operacions bàsiques que permetrà una memòria són:

- Lectura: el dispositiu de memòria subministra informació prèviament emmagatzemada.
- Escriptura: el dispositiu de memòria emmagatzema una informació en un lloc disponible.

En sentit genèric, es parla de memòria d'un ordinador per a referir-nos a qualsevol dispositiu en el qual s'emmagatzema la informació en format digital, és a dir, en bits o valors binaris (0 o 1).

No existeix cap mitjà d'emmagatzematge d'ús pràctic universal i totes les formes d'emmagatzematge tenen els seus avantatges i desavantatges. Un sistema informàtic conté diversos tipus d'emmagatzematge, cadascun amb el seu propòsit particular. Recordem la jerarquia de memòria que vam veure quan tractem la memòria caché:

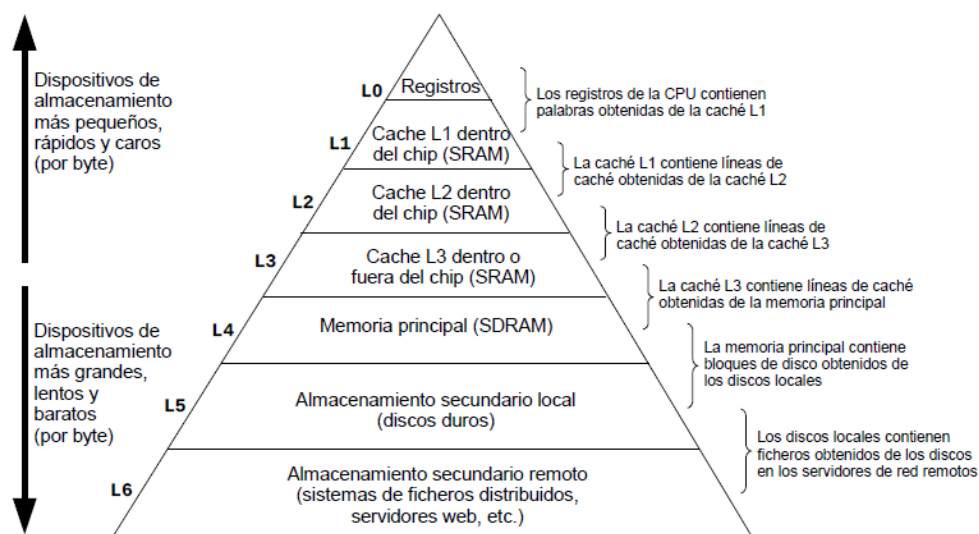


Figura: Estructura básica de la jerarquía de memoria.

Les memòries secundàries tenen molta més capacitat que les principals i són bastant més barates, si bé a canvi són molt més lentes. Per això, s'estableix la jerarquia de memòries, de la qual ja parlem anteriorment, en la qual el nivell més alt el representen les memòries més cares, ràpides i de menor capacitat (els registres de la CPU) i el nivell més baix correspon a les memòries més grans, lentes i barates (les memòries secundàries).

Podem classificar les memòries segons la seua ubicació:

- Memòria primària: està situada a l'interior de la CPU o placa base (per exemple, registres, memòria caché, RAM).
- Memòria secundària: la CPU accedeix a ella a través de les unitats d'entrada i eixida, per exemple, discos durs o dispositius SSD.

2.1.1 Classificació de memòries

Les memòries es poden classificar segons diferents criteris, atesa la volatilitat, a la manera d'accedir a les dades, al material de fabricació, a la necessitat de refresc, a si usen o no rellotge, etc. Vegem això breument:

Segons la volatilitat:

- **Memòries volàtils:** han d'estar alimentades elèctricament per a mantindre la informació emmagatzemada, per exemple, **memòria RAM**. Permeten llegir les dades emmagatzemades en elles i modificar-los.
- **Memòries no volàtils:** la informació roman emmagatzemada encara que s'interrompa el subministrament elèctric. Un exemple d'elles és la memòria ROM, que únicament permet llegir la informació emmagatzemada en ella, perquè les dades venen gravats de fàbrica i no poden modificarse. Un altre exemple són els discos durs.

Segons la mena d'accés de dades:

- Seqüencial: per a arribar a una adreça donada, cal passar per les posicions prèvies (disc dur, cinta).
- Aleatori: el temps d'accés a qualsevol adreça és el mateix (**memòria RAM**)

Segons el material de fabricació:

- Memòries magnètiques (disc dur)
- Memòries de semiconductors (**memòries RAM**, Flash)
- Memòries òptiques (DVD)

Segons la necessitat de refresc:

- Dinàmiques: necessiten que la informació emmagatzemada siga refrescada cada cert temps (RAM dinàmica: DRAM)
- Estàtiques: no necessiten de refresc (RAM estàtica: SRAM)

Síncronas o asíncronas

- Asíncrones: no utilitzen cap rellotge que marque la cadència perquè la dada siga llegida o escrita (memòries RAM usades fa anys, com les EDO RAM)
- Síncrones: requereixen d'un rellotge que marque les pautes de lectura o escriptura de les dades (per exemple, les memòries RAM usades actualment com DDR3 SDRAM, DDR4 SDRAM)

2.2 La memòria principal (RAM)

La memòria principal o central és l'element de l'ordinador que emmagatzema la informació i, per tant, el dispositiu des d'on la CPU rep les dades i instruccions necessaris per a operar i on guarda els resultats de les seues operacions.

Rep el nom de memòria RAM, que és un acrònim de les paraules Random Access Memory (Memòria d'Accés Aleatori) per a indicar que el temps d'accés a cada adreça de memòria és el mateix, perquè no cal passar per les posicions prèvies (com ocorre, per exemple, amb el disc dur, on el temps d'accés depén del posicionament del cap lector/escriptor en l'operació anterior).

La memòria principal està composta per una sèrie de cel·les en les quals s'emmagatzema la informació en valors binaris (0 o 1). Aquestes cel·les s'agrupen en un nombre determinat de bits. Cada vegada que es realitza una operació en la memòria, s'accedeix a tot aquest conjunt de bits, que té una adreça única que l'identifica: la adreça de memòria. La RAM conté tant els programes com les dades que dits programen manegen, de manera que, **perquè qualsevol programa que vaja a ser executat pugui accedir a la CPU, aquest ha d'estar prèviament carregat en la memòria RAM**. La memòria es comunica amb la CPU a través dels busos del sistema.

2.2.1 Construcció de la memòria RAM: tipus d'encapsulats per a PC

(de l'article <https://www.profesionalreview.com/2019/01/24/tipos-de-memoria-ram/>)

Abans de veure les diferents tecnologies i tipus de memòries RAM, coneixerem els tipus d'encapsulats que tenim disponibles per a elles. Els encapsulats consisteixen en una PCB⁴ on s'instal·len els xips o mòduls de memòria. A més, compta amb la connexió necessària per a instal·lar-la en la placa base i fer efectiva la comunicació amb el processador.

- RIMM: aquests mòduls muntaven memòries RDRAM o Rambus DRAM. Aquests mòduls compten amb 184 pins de connexió i un bus de 16 bits.
- SIMM: aquest format l'utilitzaven les computadores antigues. Tindrem mòduls de 30 i de 60 contactes i bus de dades de 16 i de 32 bits.

⁴PCB (Printed Circuit Board o Placa de Circuit Imprés), és una placa que s'utilitza per a sostindre components electrònics connectats a través de línies conductores.

- DIMM: aquest és el format utilitzat actualment per a les memòries DDR en les seues versions 1, 2, 3 i 4. El bus de dades és de 64 bits i pot tindre: 168 pins per a les SDR RAM, 184 per a les DDR, 240 per a les DDR2 i DDR3 i 288 per a les DDR4.
- SO-DIMM: serà el format DIMM específic per a ordinadors portàtils. És més xicotet i compacte que els anteriors i comptaran amb una quantitat de pins de connexió de 144 per a SDR RAM, (32 bits), 200 per a DDR i DDR2 RAM, 204 per a DDR3 RAM i 260 per a DDR4 RAM.
- Mini DIMM: tenen la mateixa quantitat de pins que els SO-DIMM, però són encara més xicotets, parlem de 82 mm de llarg per 18 mm d'alt. Estan orientats a la instal·lació en miniordinadors.
- FB-DIMM: format DIMM per a servidors.



2.2.2 Memòries que s'utilitzen actualment, DDR4

Per a entendre què és DDR, hem de comprendre com funciona la memòria SDRAM, ja que els mòduls DDR estan basats en aquesta mena de memòria.

La memòria SDRAM és un tipus de RAM que deu el seu nom al fet que va ser el primer model que sincronitzava el seu estat amb el bus del sistema, permetent, per exemple, que canviara la forma en la qual es gestionaven i enviaven les instruccions a la memòria. A partir d'aqueix moment, era possible enviar una nova tasca encara que l'anterior no s'haguera finalitzat (escrit), accelerant el procés en tindre una sincronia total amb la resta de l'equip.

L'arribada de la DDR suposa que, si abans es podia enviar una tasca per cada cicle de rellotge, ara es poden enviar dos, doblant l'amplada de banda disponible.

L'estàndard DDR4 està àmpliament assentat en el mercat i s'utilitza en ordinadors, portàtils, tauletes i telèfons intel·ligents.

Els principals avantatges de DDR4 en comparació amb DDR2 i DDR3 són una taxa més alta de freqüències de rellotge i de transferències de dades (2133 a 4266 MT/s en comparació amb DDR3 de 1600MHz a 2.133MT/s), la tensió és també menor a les seues antecessores (1,2 a 1,05 per a DDR4 i 1,5 a 1,2 per a DDR3).

Una memòria amb tecnologia DDR4, per exemple, no podrà instal·lar-se en una ranura per a memòries DDR3. Mira l'annex 4.1.

Article sobre les memòries DDRx y la introducció de la nova **DDR5**:
<https://computerhoy.com/reportajes/tecnologia/memoria-ram-ddr5-caracteristicas-929339>

2.2.3 Paràmetres de les memòries RAM

- **Freqüència (MHz)**

- Nombre d'operacions per segon que pot realitzar la memòria
- En principi, interessa valor alt, però comproveu que la vostra placa ho suporta, si no pot ser que gastem diners en alguna cosa que no aprofitarem.
- Relacionada amb la freqüència, tenim la **velocitat**:
 - És la quantitat de dades que la memòria pot rebre o entregar per segon. Es mesura en bytes/s (o el seu múltiple MB/s).
 - Per a calcular l'amplada de banda (**taxa de transferència de dades**) (MB/s), multiplicarem l'ample de bus per freqüència en MHz.
 - Exemple, DDR200 (també anomenada PC1600):
$$64 \text{ bits} / 8 \text{ bits} * 200 \text{ MHz} = 1600 \text{ MB/s}$$

- **Capacitat (MB, GB)**

- És la quantitat d'informació que pot emmagatzemar la memòria. Es mesura en bytes (mega, giga, etc.).
- Interessa un valor alt, però igual que abans, cal comprovar les especificacions de la placa.
- També pot ser que el nostre sistema operatiu, si és de 32 bits, no permeti utilitzar tota la memòria instal·lada.

- **Format**

- En l'actualitat, el format normalment serà DIMM per a equips d'escriptori i SO-DIMM per a portàtils. (VEURE ANNEX) No és compatible un format amb l'altre.

- **Latència CAS (interessa la més baixa possible per a una freqüència donada)**

- És el temps que transcorre des que la memòria rep l'ordre de llegir o escriure una dada, fins que aquest s'incorpora al bus de dades o passa del bus de dades a la cel·la corresponent.
- Les memòries DDR3, les velocitats de rellotge de les quals ronden des dels 1333 MHz a majors, passant per 1600 i 2000 MHz, tenen CAS que van de 6 a 9 generalment. Una memòria amb CAS 6 i 1600 MHz té normalment major preu que una altra amb CAS 9 i 1600 MHz, independentment de la seua capacitat (1 o 2 GB, per exemple), això és normal ja que a igual freqüència, una CAS inferior implica un rendiment superior.
- En una memòria DDR4 a 3000MHz podem trobar latència CAS de 15. El fabricant pot especificar el valor de la latència com CL15 o com una sèrie de valors, per exemple 15-17-17-35. En aquest últim cas, se'ns donen valors de diferents latències, sent la latència CAS el primer dels valors.
- Si vols saber més sobre la latència:
 - ✓ https://es.wikipedia.org/wiki/latencia_cas
 - ✓ How do memory timings work? (TechQuickie):
<https://www.youtube.com/watch?v=yed-agvqtyc>

2.2.4 Altres característiques

- **ECC o non-ECC**, segons si realitza o no control d'errors. El benefici de la memòria ECC (Error Correcting Code) és la capacitat de detectar errors de bits múltiples i corregir els errors de bits únics.

Per a poder utilitzar una memòria ECC és necessari un controlador en la placa base que pugui utilitzar aquesta tecnologia.

Quan es detecta un error es produeix una excepció, el que succeeix a continuació depèn del sistema. En alguns casos el processador es deté i llança una rutina que deixa la pantalla en blanc (o blau) i mostra l'error. En uns altres es permet ignorar l'error, guardar el treball en curs i continuar.

Aquesta prestació encareix la memòria. Sol utilitzar-se en entorns poc tolerants a fallades com són els **servidors**.

- **Buffered and Unbuffered Memory**

Els mòduls de memòria **buffered o registered RAM** són aquells que tenen uns registres intermedis entre el controlador de memòria i la pròpia memòria. Són més estables, una mica més lentes i més cares que les unbuffered i solen incorporar ECC. S'usen principalment en **servidors**.

- **Dual Channel, Triple Channel, Quad Channel**

Permet a la CPU treballar amb dues/tres/quatre mòduls de memòria simultàneament.

Les millores de rendiment són especialment perceptibles quan es treballa amb l'adaptador gràfic integrat en la placa base o en el microprocessador, ja que al no disposar de memòria pròpia com una targeta gràfica, ha de fer ús de la memòria RAM, i gràcies al doble canal, pot accedir a un mòdul mentre el sistema accedeix a l'altre. Un altre tipus d'entorns que aprofitaran aquesta tecnologia són els servidors o les màquines virtuals. En una altra mena de programes, l'augment d'amplada de banda efectiva que proporcionen aquestes tecnologies pot ser que no estiga tan aprofitat.

Per exemple, les Triple Channel s'usen amb els Core i7 i en alguns Xeon de servidors.

Per a poder fer ús d'aquesta característica, ha d'estar suportada a través del chipset instal·lat en la placa base si aquesta disposa de chipset compost per pont nord i pont sud, ja que el controlador de memòria està en el pont nord, o haurà d'estar suportada pel microprocessador si és aquest el que integra el controlador de memòria. A més, cal comprovar en el manual de la placa base en quines ranures de memòria concretes cal col·locar els mòduls de memòria per a funcionar en dual, triple o quad channel, segons els casos.

Guide to RAM Memory Channels as Fast As Possible (TechQuickie):
<https://www.youtube.com/watch?v=d8fhxqq4o>

2.2.5 Exemples

A continuació, trobem algunes memòries RAM DDR3 i una DDR4 del fabricant Kingston. Podem buscar memòries d'aquest fabricant segons diferents criteris ací: <https://www.kingston.com/es/memory/search/options>

Capacidad	Frecuencia	Tipo (tecnología)	Control de errores	Registered	Latencia CAS	Tipo de encapsulado	
Descripción						Cantidad	Precio
Kingston 16GB 1600MHz DDR3L ECC Reg CL11 DIMM 2Rx4 1.35V							
P/N KVR16LR11D4/16						<div><div>-</div><div>1</div><div>+</div></div>	€193,56
Kingston 128GB 3000MHz DDR4 CL15 DIMM (Kit of 8) XMP HyperX Predator							
P/N HX430C15PB3K8/128						<div><div>-</div><div>1</div><div>+</div></div>	€1.505,88
Kingston 8GB 1866MHz DDR3 CL10 DIMM HyperX FURY White							
P/N HX318C10FW/8						<div><div>-</div><div>1</div><div>+</div></div>	€76,08
Kingston 8GB 1333MHz DDR3 CL9 DIMM HyperX FURY White							
P/N HX313C9FW/8						<div><div>-</div><div>1</div><div>+</div></div>	€76,08

Preu per GB de cadascuna:

- 1- 12.1€
- 2- 11.76€
- 3- 9.51
- 4- 9.51

La primera de les memòries està destinada a servidors. Veiem que incorpora control d'errors (ECC) i és de tipus DDR3L (funciona a 1.35v en lloc de 1.5v i ha tingut més èxit en servidors). També és registered o buffered RAM, una altra característica interessant per als servidors. És la més cara de les quatre.

La segona és un kit de 8 mòduls de 16GB cadascun (en total 128GB, que és el que veiem en la taula). És de tipus DDR4. Veiem que és la que major latència té de les quatre.

La tercera i la quarta són DDR3, la tercera amb major freqüència i també major latència que la quarta.

Exemple: a continuació tenim un mòdul de memòria DDR3 per a portàtil (format SODIMM):



8GB Module - DDR3 1333MHz

Código de artículo: KVR1333D3S9/8G

HTS: 8473.30.1140 ECCN: EAR99

Especificaciones: DDR3 , 1333MHz , Non-ECC , CL9 , 1.5V , Unbuffered , SODIMM , [PDF de la hoja de especificaciones](#)

Exemple: especificacions de memòria suportada en la placa GA-X99-Ultra Gaming.



Memory

- ◆ 8 x DDR4 DIMM sockets supporting up to 128 GB of system memory
 - * Support for up to 256 GB of system memory when using Registered DIMMs.
 - * Due to a Windows 32-bit operating system limitation, when more than 4 GB of physical memory is installed, the actual memory size displayed will be less than the size of the physical memory installed.
- ◆ 4 channel memory architecture
- ◆ Support for DDR4 2400/2133 MHz memory modules
- ◆ Support for non-ECC Un-buffered DIMM 1Rx8/2Rx8/1Rx16 memory modules
- ◆ Support for Registered DIMM 1Rx8/2Rx8/1Rx4/2Rx4 memory modules (operate in non-ECC mode)
- ◆ Support for Extreme Memory Profile (XMP) memory modules
(Go to GIGABYTE's website for the latest supported memory speeds and memory modules.)

3 Bibliografia

MICROPROCESSADORS:

- Productes Intel: <https://ark.intel.com/es/>
- Productes AMD: <http://products.amd.com/es-es>
- The desktop CPU comparison guide Rev. 19.1:
<https://www.techarp.com/guides/desktop-cpu-comparison-guide/>
- Tots els microprocessadors d'AMD per a escriptori i els seus principals característiques (Techarp.com): <https://www.techarp.com/guides/desktop-cpu-comparison-guide/5/>
- Tots els microprocessadors Intel per a escriptori i els seus principals característiques (Techarp.com): <https://www.techarp.com/guides/desktop-cpu-comparison-guide/11/>
- Anotacions de Fonaments de Maquinari per Alberto Molina Coballes i David Sánchez López de l'IES Gonzalo Nazareno

MEMÒRIES:

- JEDEC (Joint Electron Device Engineering Council), per a l'estandardització en enginyeria i desenvolupament de tecnologies basades en semiconductors.
- Main Memory: DDR4 & DDR5 SDRAM
- <https://www.jedec.org/category/technology-focus-area/main-memory-ddr3-ddr4-sdram>
- Difference between SRAM and DRAM:
<http://www.differencebetween.net/technology/difference-between-sram-and-dram/>
- Per a saber més: Memòria ECC i senar-ECC: <https://www.aboutespanol.com/que-es-una-memoria-ram-ecc-y-una-non-ecc-841294>
- www.pccomponentes.com
- Anotacions de Fonaments de Maquinari per Alberto Molina Coballes i David Sánchez López de l'IES Gonzalo Nazareno
- Fabricació de memòria RAM (Kingston): <https://www.youtube.com/watch?v=ungmvr2pnqa>
- Els diferents tipus de memòries en el fabricant Micron:
<https://www.micron.com/products/dram>
- Innodisk: www.innodisk.com

4 Annex

4.1 Alguns tipus de RAM segons el seu format físic

SIMM (Single In-line Memory Module) (OBSOLET)

➤ Mòduls de 30 contactes



➤ Mòduls de 72 contactes



DIMM (Dual In-line Memory Module)

- Són capaços de transferir 64 bits de dades en cada cicle de rellotge
- Existeixen dues versions per a portàtils: SO-DIMM i Micro-DIMM.
- Alguns tipus comuns de DIMM (obsolets DDR i DDR2)
 - SO-DIMM de 200 contactes → DDR



- SO-DIMM de 200 contactes → DDR2



- SO-DIMM de 204 contactes → DDR3



- DIMM de 184 contactes → DDR



- DIMM de 240 contactes → DDR2



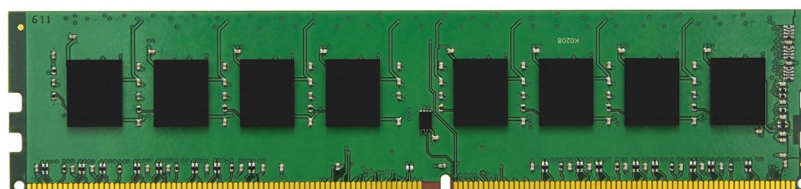
- DIMM de 240 contactes → DDR3

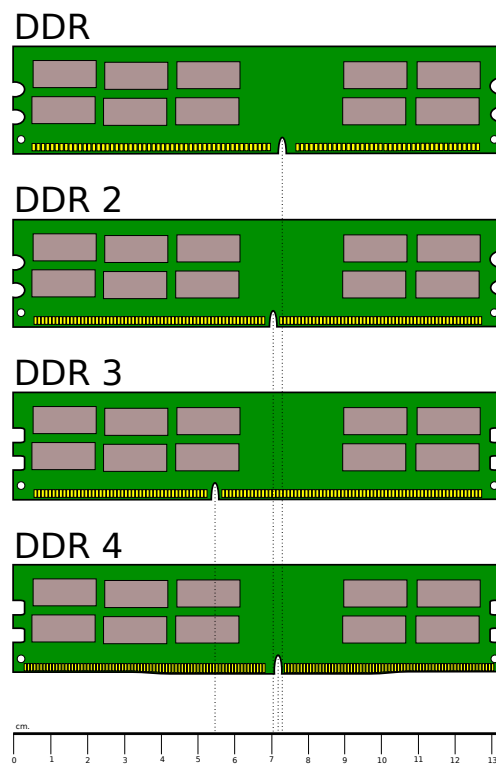


Encara que les DDR2 i DDR3 tinguen el mateix nombre de contactes, són incompatibles entre si per voltatges i altres factors. Tenen una osca que impedeix que es pugui connectar memòria DDR2 en ranura per a DDR3 i viceversa.

- DIMM de 288 contactes → DDR4

És fàcil distingir-la de les DDRx anteriors per la forma de la placa en la zona central dels contactes, on és més ampla.





DDR SDRAM standard	Release year	Bus clock (MHz)	Internal memory clock (MHz)	Transfer rate (MT/s)	Voltage (V)	DIMM pins	SO-DIMM pins	MicroDIMM pins
DDR1	2000	100–200	100–200	200–400	2.5/2.6	184	200	172
DDR2	2003	200–533.33	100–266.67	400–1066.67	1.8	240	200	214
DDR3	2007	400–1066.67	100–266.67	800–2133.33	1.5/1.35	240	204	214
DDR4	2014	800–1600	200–400	1600–3200	1.2/1.05	288	256	—

4.2 Tipus de memòria RAM i encapsulats

(de l'article <https://www.profesionalreview.com/2019/01/24/tipos-de-memoria-ram/> de Professional review)

4.2.1 Memòria SRAM



També són memòries d'accés aleatori, encara que en aquest cas **són de tipus estàtic**. Aquest tipus de memòries **són més ràpides i fiables que les memòries DRAM** pel fet que necessiten ser refrescades menys vegades que les memòries DRAM per a mantindre el seu contingut.

La construcció d'aquestes memòries RAM es basa en un **circuit flip-flop** per a permetre que el corrent fluísca d'un costat a un altre en funció de quin transistor està activat dels dos que componen el circuit. D'aquesta manera, la dada podrà quedar-se emmagatzemat en aquest circuit sense necessitat de ser refrescat constantment. Aquestes memòries **requereixen més energia, però són més ràpides, encara que també més cares de fabricar**. Normalment **s'utilitzen per a construir la memòria cache del processador**.

4.2.2 Memòries DRAM

El nom significa **Dinamic RAM**. Aquestes serien les primeres memòries basades en semiconductors de silici, i eren de tipus asíncron al principi. La característica més important que van introduir aquestes memòries va ser la seua **estructura de transistor i condensador**. Era possible emmagatzemar una dada dins d'una cel·la de memòria alimentant el condensador d'ella centenars de vegades per segon perquè aquest dada romanguera emmagatzemat.

Aquest tipus de memòria **és volàtil**, per la qual cosa perdrà el seu contingut quan s'apague. Les DRAM eren de tipus asíncron, per la qual cosa no existia un element que sincronitzara la freqüència del processador amb la freqüència de la pròpia memòria. En conseqüència, existia una menor eficiència de comunicació entre tots dos elements. Però temps després van

aparéixer les memòries SDRAM (**memòries RAM síncrones**), que van implementar un rellotge encarregat de la sincronització d'aquestes amb el processador.

Aquesta memòria és la que s'utilitza per a construir les memòries RAM del nostre ordinador. **Són més barates i senzilles de construir que les SRAM, però també més lentes.**

Existeixen els següents tipus de memòries DRAM:



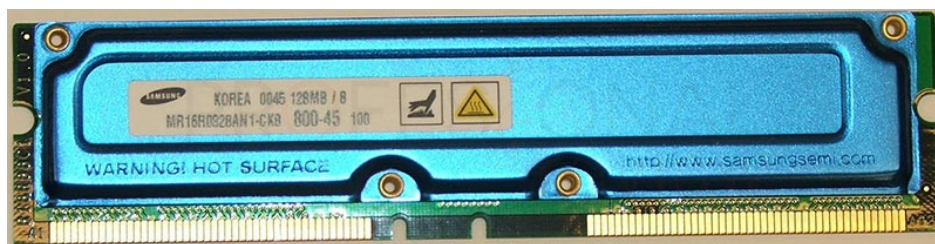
FPM-RAM (Fast Page Mode RAM): aquestes memòries es van utilitzar per als primers Intel Pentium. El seu disseny consistia a ser capaç d'enviar una sola adreça i a canvi rebre diverses d'aquestes consecutives. Això permet una millor resposta i eficiència ja que no necessita estar contínuament enviant i rebent adreces individuals.



EDO-RAM (Esteneu Data Output RAM): és la millora de l'anterior disseny. A més de ser capaç de rebre adreces contigües simultàniament s'estan llegint la columna anterior d'adreces, per la qual cosa no hi ha necessitat de mantindre's a l'espera de rebre adreces cunado s'envia una d'elles.



BEDO-RAM (Burst Esteneu Data RAM): millora de l'EDO-RAM, aquesta memòria era capaç d'accedir a diverses posicions de memòria per a enviar ràfegues de dades (Burst) en cada cicle de rellotge al processador. Aquesta memòria no arribà a comercialitzar-se.



Rambus DRAM: foren l'evolució de les memòries asíncrones DRAM. Aquestes milloraven tant l'amplada de banda com la seua freqüència, arriben a aconseguir fins a 1200 MHz i un ample de bus de 64 bits. Utilitzaven un encapsulat RIMM i estan actualment en desús.



SDRAM (Memòria de tipus síncron): La gran diferència amb les anteriors versions de DRAM és que aquest compte amb un rellotge intern que és capaç de sincronitzar la freqüència de la memòria amb el processador per a millorar els temps d'accés i l'eficiència de la comunicació.

Aquest és el tipus de memòria RAM que s'utilitza hui dia, i existeixen diverses versions d'ella que ara veurem.



SDR RAM: aquestes van ser les **antecessores de les conecidíssimas DDR RAM** i són de tipus síncron. Es van construir sota un encapsulat DIMM de 168 contactes i fins fa uns 10 any eren les que tenien els nostres ordinadors, ja que van ser utilitzades en els AMD Athlon i els Pentium 2 i 3. Solament admetien una grandària per mòdul de 512 MB.

4.3 Memòria DDR SDRAM (Actuals)

Pel fet que **són les memòries RAM actuals**, hem decidit ficar-les en un apartat a part, ja que hi ha bastants variants dins d'aquesta família de memòries RAM. **Totes elles són de tipus síncron**, i s'han anat utilitzant durant aquests anys arrere fins al dia de hui.

Les memòries DDR **permeten la transferència d'informació mitjançant dos canals diferents de manera simultània en un mateix cicle de rellotge** (Double Data), alguna cosa que ens permet aconseguir major rendiment i velocitats d'accés. Per descomptat existeixen barias versions d'aquestes memòries RAM utilitzades en els ordinadors actuals.

4.3.1.1 DDR SDRAM (primera versió)



Aquesta és la **primera versió de la memòria RAM DDR** que coneixem actualment. Estan muntades en mòduls **DIMM de 182 contactes i SO-DIMM de 200 pins**. Aquestes memòries funcionen a **2,5 Volts** i compten amb una velocitat de rellotge d'entre 100 MHz i 200 MHz.

Les DDR RAM van ser les primeres a implementar la tecnologia **Dual Channel**, que permet repartir els mòduls de memòria RAM en dos bancs o ranures per a intercanviar dades amb el bus en dos canals simultanis. Per exemple, si els mòduls són de 64 bits, tindrem un ample de bus d'intercanvi de 128 bits. Han existit les següents configuracions de memòria RAM quant a velocitat:

Nom estàndard	Freqüència de rellotge	Freqüència de bus	Velocitat de transferència	Nom del mòdul	Capacitat de transferència
DDR-200	100 MHz	100 MHz	200 MHz	PC-1600	1,6 GB/s
DDR-266	133 MHz	133 MHz	266 MHz	PC-2100	2,1 GB/s
DDR-333	166 MHz	166 MHz	333 MHz	PC-2700	2,7 GB/s
DDR-400	200 MHz	200 MHz	400 MHz	PC-3200	3,2 GB/s

4.3.1.2 DDR2 SDRAM (segona versió)



Són la segona versió de les memòries DDR, i compten amb la novetat respecte a les anteriors que **són capaces de doblegar els bits transferits a 4 en lloc de 2 per cada cicle** de rellotge. L'encapsulament utilitzat també és de tipus DIMM, però amb **240 contactes** i la ganyota en un lloc diferent per a diferenciar-les de les anteriors. Aquests mòduls treballen a **1,8 V**, per la qual cosa consumeixen menys que les DDR. També existeixen variants amb encapsulat SO-DIMM i Mini DIMM per a portàtils i versions DDR2L per a portàtils amb consums de 1,5 V. **Una memòria DDR2 no es pot instal·lar en una ranura DDR ni viceversa**, ja que no són compatibles entre elles.

Les configuracions que han existits són les següents:

Nom estàndard	Freqüència de rellotge	Freqüència de bus	Velocitat de transferència	Nom del mòdul	Capacitat de transferència
DDR2-333	100 MHz	166 MHz	333 MHz	PC2-2600	2,6 GB/s
DDR2-400	100 MHz	200 MHz	400 MHz	PC2-3200	3,2 GB/s
DDR2-533	133 MHz	266 MHz	533 MHz	PC2-4200	4,2 GB/s

DDR2-600	150 MHz	300 MHz	600 MHz	PC2-4800	4,8 GB/s
DDR2-667	166 MHz	333 MHz	667 MHz	PC2-5300	5,3 GB/s
DDR2-800	200 MHz	400 MHz	800 MHz	PC2-6400	6,4 GB/s
DDR2-1000	250 MHz	500 MHz	1000 MHz	PC2-8000	8 GB/s
DDR2-1066	266 MHz	533 MHz	1066 MHz	PC2-8500	8,5 GB/s
DDR2-1150	286 MHz	575 MHz	1150 MHz	PC2-9200	9,2 GB/s
DDR2-1200	300 MHz	600 MHz	1200 MHz	PC2-9600	9,6 GB/s

4.3.1.3 DDR3 SDRAM (tercera versió)



En aquest cas es millora l'eficiència energètica, en treballar a un **voltatge de 1,5 V** en la versió d'escriptori. L'encapsulat continua sent de tipus **DIMM de 240 pins** i la capacitat per mòdul de memòria és de fins a 16 GB. Tampoc són compatibles amb la resta d'especificacions.

Un aspecte negatiu de les versions següents a les DDR és que, a pesar que la velocitat puja, també ho fa la latència en elles, encara que en essència, **són més veloces sempre que la generació anterior**.

En aquesta nova versió de memòria RAM, **es van introduir unes quantes variants** en funció de les necessitats dels equips portàtils i la invenció dels Mini PC (NUC), que són bàsicament equips de sobretaula, però de dimensions molt xicotetes i consums molt baixos.

- DDR3**: són les tradicionals d'ordinadors d'escriptori en encapsulat DIMM i treballant a **1,5 V**.
- DDR3L**: en aquest cas funcionen a **1,35 V** i estan orientades a portàtils, NUC i servidors baix encapsulats SO-DIMM, SP-DIMM i Mini DIMM.
- DDR3U**: baixen fins a els **1,25 V** i no són massa utilitzades.
- LPDDR3**: aquesta memòria consumeix solament **1,2 V** i estan pensades per al seu ús en **Tauleta i Telèfon intel·ligent**. A més, consumeixen molt poc voltatge quan no estan en ús, per la qual cosa són molt eficients. Aquest tipus de xips estan directament soldats a la PCB del dispositiu.

Vegem ara les configuracions que tenim en el mercat:

4.3.1.4 DDR4 SDRAM (quarta i actual versió)



Aquestes memòries operen a una freqüència major i estan muntades en un encapsulat **DIMM de 288 pins**. A pesar que la freqüència augmenta de manera considerable, aquestes memòries són encara més eficients, ja que treballen a **1,35 V en PC d'escriptori** i a 1,05 en els casos de portàtils. **Les versions més potents de fins a 4600 MHz treballen a 1,45 V.**

Una altra de les novetats que implementen les DDR4, és que són capaces de funcionar en triple i quàdruple canal (**Triple Channel i Quad Channel**). A més, ja tenim possibilitat de muntar mòdul de fins a 16 i 32 GB en un solo encapsulat.

D'igual forma, aquestes memòries es divideixen en 4 tipus diferents en funció del seu ús:

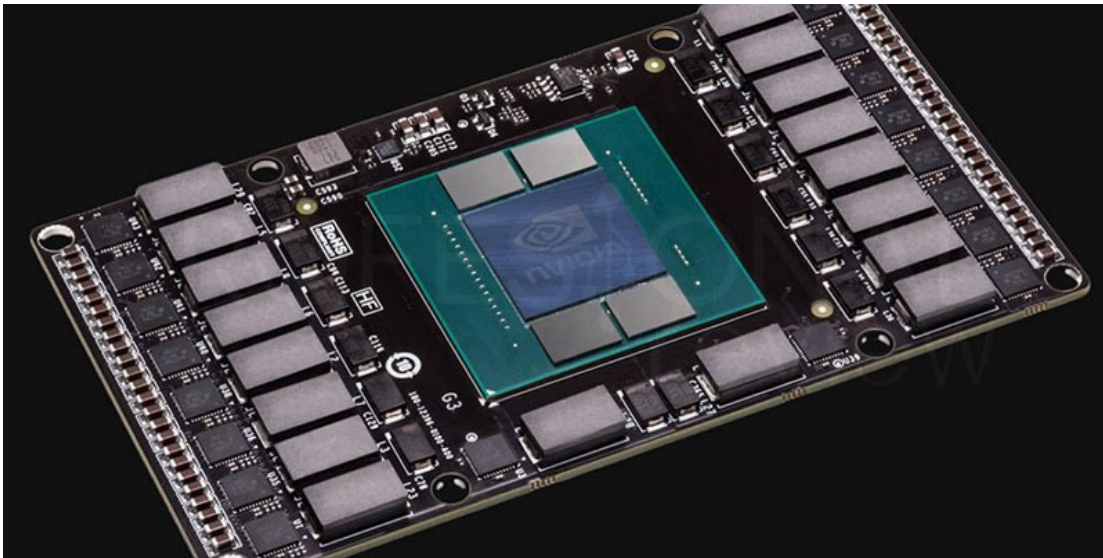
- DDR4**: són les que s'utilitzen en els equips d'escriptori, venen en un mòdul DIMM de 288 contactes i operen a voltatges d'entre 1,35 i 1,2 V.
- DDR4L**: Aquestes memòries estan dissenyades per a portàtils i servidors i estan muntades en un mòdul SO-DIMM a 1,2 V.
- DDR4U**: Igual que ocorre amb les anteriors, s'utilitzen per a servidors fonamentalment i també operen a 1,2 V. El seu ús és escàs i estan més esteses les DDR4L.
- LPDDR4**: Estan dissenyades per a dispositius mòbils i **treballen a 1,1 o 1,05 V**, encara que són menys veloços que les DDR4 d'escriptori com és normal. Treballen a uns 1600 MHz, encara que també existeix una altra versió anomenada **LPDDR4E** que aconsegueix els 2133 MHz.

Passem a veure la seua corresponent tauleta:

Nom estàndard	Freqüència de rellotge	Freqüència de bus	Velocitat de transferència	Nom del mòdul	Capacitat de transferència
DDR4-1600	200 MHz	800 MHz	1600 MHz	PC4-12800	12,8 GB/s
DDR4-1866	233 MHz	933 MHz	1866 MHz	PC4-14900	14,9 GB/s
DDR4-2133	266 MHz	1066 MHz	2133 MHz	PC4-17000	17 GB/s
DDR4-2400	300 MHz	1200 MHz	2400 MHz	PC4-19200	19,9 GB/s

DDR4-2666	333 MHz	1333 MHz	2666 MHz	PC4-21300	21,3 GB/s
DDR4-2933	366 MHz	1466 MHz	2933 MHz	PC4-32466	23,4 GB/s
DDR4-3200	400 MHz	1600 MHz	3200 MHz	PC4-25600	25,6 GB/s
...
DDR4-4600	533 MHz	2133 MHz	4600 MHz	PC4-36800	36,8 GB/s

4.3.1.5 Memòries GDDR



A més de les tradicionals memòries RAM DDR, també existeix la variant GDDR (**Graphics Double Data Rate**), que fa referència a les memòries que estan dissenyades per a targetes gràfiques.

Aquestes memòries **també funcionen sota l'estàndard DDR** especificat per la JEDEC, enviant dos bits o 4 per cada cicle de rellotge, encara que en aquests casos **estan optimitzades per a aconseguir majors freqüències i major ample de bus** per a acurtar els temps d'accés a les instruccions emmagatzemats en el seu interior.

Per descomptat també té bastant influència el preu d'elles, ja que **són bastant més cares de fabricar que les DDR normals**. Igual que les DDR, existeixen diferents evolucions que han anat augmentant les prestacions de les nostres targetes gràfiques de manera considerable.

- **GDDR**: van ser les primeres a eixir al mercat i estan **basades en les memòries DDR2**. La freqüència efectiva d'elles se situava entre els 166 i 950 MHz amb latència de 4 a 6 ns. Aquestes memòries les muntaven les antigues targetes **ATI Radeon 9000 sèries i les Nvidia GeForce FX**.
- **GDDR2**: També està **basada en la memòria DDR2** i bàsicament van ser una optimització de les anteriors per a arribar a freqüència entre els 533 i 1000 MHz i una amplada de

banda d'entre 8,5 a 16 GB/s. Van ser muntades en les A MD **HD 5000** i les **Nvidia GT 700**, entre altres.

- **GDDR3**: Aquestes memòries van **ser dissenyades per ATI** per a les seues targetes **Radeon X800**, encara que la primera a utilitzar-la va ser la **Nvidia GeForce FX 5700**. A més, van ser utilitzades per a construir les consoles **PlayStation 3** i **Xbox 360**. Aquestes memòries operen entre els 166 i 800 MHz.
- **GDDR4**: Aquestes memòries es van basar en la tecnologia de les DDR3, encara que **la seua existència va ser bastant curta** i van ser ràpidament reemplaçades per les GDDR5. Aquesta memòria va ser utilitzada per algunes targetes gràfiques d'AMD com a **AMD HD3870** i similars que s'enfrontaven a les Nvidia 8800 GT amb GDDR3.
- **GDDR5**: aquestes sí que les hem vistes de forma bastant recular en aquests últims anys, **sent utilitzades fins a dia de hui** per targetes com les **Nvidia GTX 1000** i una infinitat de **targetes AMD**, com les **Radeon HD, R5, R7, R9** i fins a les més recents **RX Polaris**. Els amplex de bus d'aquestes memòries se situen entre els 20 GB/s en un bus de 32 bits i els 160 GB/s en un bus de 256 bit, i la freqüència de memòria efectiva arriba fins a els **8 Gbps**. També estan muntades en les últimes consoles, com són la **PS4** i la **Xbox One X**.
- **GDDR5X**: És una evolució extrema de la GDDR5 utilitzada per Nvidia per a les seues targetes **1080, 1080 Ti** i la **Titan X**, capaces d'arribar fins a una freqüència efectiva de **11 Gbps** i un ample de **banda de ni més ni menys 484 GB/s en un bus de 352 bit**.
- **GDDR6**: Arribem fins a **l'era actual** de targetes gràfiques de Nvidia, que són muntades en la nova **gamma RTX Turing** de la marca de manera exclusiva. Aquestes memòries tenen un alt cost i són capaços d'arribar fins a una freqüència de **14 Gbps** amb una **amplada de banda de 672 GB/s en un bus de 384 bit**, utilitzat per la **Nvidia Titan RTX**, la targeta d'escriptori més potent mai creada fins hui.

Perquè això és tot sobre els tipus de memòria RAM que s'han utilitzat en els últims temps, així com les seues característiques principals. La idea és anar actualitzant aquest article amb les noves tecnologies que es vagen implementat.

4.4 Resum de tipus de memòries i tecnologies

