

**Arquitectures Avançades**

Codi: 102778

Crèdits: 6

Titulació	Tipus	Curs	Semestre
2502441 Enginyeria Informàtica	OB	3	1
2502441 Enginyeria Informàtica	OT	4	1

**Professor de contacte**

Nom: Juan Carlos Moure Lopez

Correu electrònic: JuanCarlos.Moure@uab.cat

**Utilització d'idiomes a l'assignatura**

Llengua vehicular majoritària: espanyol (spa)

Grup íntegre en anglès: No

Grup íntegre en català: No

Grup íntegre en espanyol: No

**Equip docent**

Miquel Àngel Senar Rosell

**Prerequisits**

És molt, molt recomanable haver cursat i aprovat les assignatures de Fonaments d'Informàtica, Fonaments de Computadors, Estructura de Computadors, Metodologia de la Programació i Arquitectura de Computadors.

**Objectius**

L'objectiu fonamental de l'assignatura és que els alumnes adquireixin les capacitats d'anàlisi, utilització i avaluació d'arquitectures avançades de computadors, per al desenvolupament d'aplicacions i serveis informàtics.

Els conceptes bàsics que es descriuran a les sessions teòriques són: el processador multi-nucli, el sistema multi-processador de memòria compartida, els acceleradors de còmput, l'avaluació de rendiment i prestacions, i els models i llenguatges de programació d'aquests sistemes paral·lels.

Els objectius més específics són els següents:

1. Entendre les claus per obtenir bon rendiment de computadors multi-nucli i multi-processador, i d'acceleradors de còmput (GPUs)
2. Identificar les oportunitats de paral·lelització a un algorisme o aplicació, a diferents nivells (instruccions, iteracions d'un bucle, crides a funcions...), i expressar-ho formalment
3. Dissenyar les estructures de dades d'una aplicació i els algorismes que hi accedeixen per tal d'afavorir el bon rendiment de la jerarquia de memòria
4. Analitzar, dissenyar i implantar algorismes paral·lels amb patrons de còmput abstractes (reducció, transformació...) sota paradigmes de programació basats en variables compartides i sincronització, i amb llenguatges paral·lels actuals, com OpenMP, Cilk, OpenACC i CUDA/Thrust.
5. Verificar la funcionalitat i avaluar el rendiment d'aplicacions paral·leles, identificant els colls d'ampolla respecte al rendiment

6. A partir de l'anàlisi de rendiment, seleccionar el computador adequat a una aplicació i/o realitzar optimitzacions del codi que millorin encara més el seu rendiment

## Competències

### Enginyeria Informàtica

- Adquirir hàbits de treball personal.
- Capacitat d'analitzar i avaluar arquitectures de computadores, incloent plataformes paral·leles i distribuïdes, així com desenvolupar i optimitzar software per a les mateixes.
- Capacitat per a analitzar, avaluar, seleccionar i configurar plataformes hardware per al desenvolupament i execució d'aplicacions i serveis informàtics.
- Comunicació.
- Concebre i desenvolupar sistemes o arquitectures informàtiques centralitzades o distribuïdes integrant hardware, software i xarxes.
- Tenir una actitud personal adequada.

## Resultats d'aprenentatge

1. Analitzar els models, paradigmes i llenguatges de programació paral·lela disponibles per a determinar el que millor s'adequa a les necessitats de l'aplicació.
2. Analitzar les característiques de les aplicacions que requereixin d'altres prestacions.
3. Avaluar i predir el rendiment de diferents plataformes de còmput d'altres prestacions per a l'execució d'aplicacions.
4. Avaluar la funcionalitat i el rendiment de les aplicacions paral·leles/distribuïtes desenvolupades.
5. Avaluar les prestacions de les arquitectures d'altres prestacions, així com la funcionalitat de les aplicacions.
6. Comunicar eficientment, oralment o per escrit, coneixements, resultats i habilitats, tant en entorns professionals com davant de públics no experts.
7. Configurar plataformes hardware i entorns de programació per al desenvolupament i execució d'aplicacions d'altres prestacions.
8. Desenvolupar aplicacions paral·leles basades en els paradigmes existents.
9. Determinar les plataformes més adequades per a cada tipus d'aplicació.
10. Mantenir una actitud proactiva i dinàmica respecte al desenvolupament de la pròpia carrera professional, el creixement personal i la formació continuada. Tenir esperit de superació.
11. Prevenir i solucionar problemes.
12. Proposar solucions informàtiques basades en sistemes de còmput d'altres prestacions que integrin tant l'arquitectura dels components hardware del sistema, així com la interconnexió dels mateixos, i el disseny del software necessari.

## Continguts

### 1. Paral·lelisme d'Instruccions

- Execució pipeline i múltiple
- Reordenació dinàmica de l'execució de les instruccions
- Dependències de dades entre instruccions en un bucle

### 2. Paral·lelisme de Dades

- Anàlisi del paral·lelisme de dades d'un algorisme
- Paral·lelisme SIMD (vectorització) i MIMD (multi-thread)
- Arquitectures Vectorials i instruccions SIMD
- GPUs i acceleradors de còmput (Xeon Phi)

### 3. Arquitectura de computadores paral·lels

- Estructura i arquitectura dels processadors multi-fil i multi-nucli, i dels nodes multi-processador
- Jerarquia de memòria (NUMA) i suport per a la coherència de dades en cache
- Suport H/W per a la sincronització i per a la comunicació entre threads

#### 4. Algorismes Paral·lels

- Model de paral·lisme amb variables compartides i sincronització. Patrons de còmput paral·lel
- Paral·lisme de dades (SIMD): operacions de reducció i de transformació sobre estructures multi-dimensionals
- Paral·lisme de tasques (MIMD): master/worker, divide & conquer, pipeline
- Programació no determinista i sincronització sense locks
- Llenguatges OpenMP, Cilk, OpenACC i CUDA (Thrust)

#### 5. Avaluació del Rendiment d'Aplicacions Paral·leles

- Anàlisi de complexitat, paral·lisme i localitat
- Mesura del temps d'execució, IPC, ample de banda i intensitat aritmètica
- Treball total i camí crític de l'execució paral·lela
- Speedup i eficiència de l'execució paral·lela
- Sobrecàrrega (overhead) de la sincronització i les comunicacions

### Metodologia

**Classes de Teoria:** s'exposaran els coneixements propis de l'assignatura. Es descriuran els conceptes bàsics i s'il·lustraran amb exemples pràctics. Es ressaltaran els problemes d'aprenentatge més importants i es mostrarà com completar i aprofundir en els continguts. Es discutiran casos pràctics i el professor detectarà els problemes de comprensió i raonament més comuns i els resoldrà per a tots els estudiants.

**Classes de Problemes:** es faran activitats cooperatives de resolució de problemes. A partir del treball previ individual dels alumnes, aquests faran una posta en comú en grup i resoldran els dubtes que hagin pogut sorgir. El professor detectarà els problemes de comprensió i raonament més comuns i els resoldrà per grups o per a tots els estudiants. Aquests seminaris permetran aportar els coneixements que li manquin a l'estudiant o indicar on es poden adquirir. Serviran de pont entre les classes de teoria i el treball pràctic, promovent la capacitat d'anàlisi i síntesi de l'alumne, el raonament crític i la capacitat de resolució de problemes. Les classes de problemes són avaluable, i en certes sessions preestablertes els alumnes resoldran problemes lliurats al començament de la sessió i que s'hauran d'entregar al finalitzar la sessió com a evidències avaluable.

**Classes de Laboratori:** serviran de suport a la teoria. Els alumnes disposaran de la informació de pràctiques amb temps suficient abans de cada sessió, i hauran de preparar la part prèvia indicada a l'informe per tal que el professor, al començament de la sessió, lapugui revisar. Durant la sessió els alumnes hauran d'informar al professor sobre els seus avenços i els problemes que es puguin trobar, i en finalitzar la sessió entregaran un document amb els resultats de la pràctica i un resum dels problemes trobats. Durant el curs, els alumnes hauran de dissenyar, planificar, realitzar, presentar i defensar de forma oral un treball pràctic, indicant els objectius, el desenvolupament, els resultats obtinguts amb gràfiques entenedores, les incidències més notables i, finalment, les conclusions més rellevants. S'espera per part dels alumnes una actitud proactiva i dinàmica, la cerca autònoma dels coneixements que siguin necessaris, i ambició amb els objectius del treball.

#### Competències Transversals:

- **T02.04 - Prevenir i solucionar problemes.** Es treballa especialment en les classes de problemes i s'avalua amb els problemes que els alumnes han de resoldre en grup.
- **T04.01 - Comunicar eficientment, oralment o per escrit, coneixements, resultats i habilitats, tant en entorns professionals com davant de públics no experts.** Es treballa en les tutories i s'avalua en l'exposició del treball pràctic que han de fer els alumnes, i suposa un 25% de la nota del treball.

- **T06.01 - Mantenir una actitud proactiva i dinàmica respecte al desenvolupament de la pròpia carrera professional, el creixement personal i la formació continuada. Tenir esperit de superació.** S'incentiva i s'avalua en les sessions de pràctiques, on el professor interactua amb els alumnes i observa i ajuda a corregir les seves actituds; suposa un 30% de la nota final d'aquesta activitat.

## Activitats formatives

Títol	Hores	ECTS	Resultats d'aprenentatge
<b>Tipus: Dirigides</b>			
Pràctiques de Laboratori	12	0,48	3, 4, 5, 7, 8, 10
Problemes	12	0,48	2, 3, 4, 5, 8, 9, 11
Teoria	21	0,84	1, 2, 5, 7, 9, 12
Tutories Aula	2	0,08	1, 5, 7, 12
<b>Tipus: Supervisades</b>			
Preparació del treball a realitzar al laboratori	15	0,6	3, 4, 8, 10
Preparació i Exposició del Treball Pràctic	5	0,2	6
<b>Tipus: Autònomes</b>			
Estudi autònom	24	0,96	1, 5, 7, 9, 12
Preparació de pràctiques	30	1,2	1, 2, 8
Resolució de problemes	20	0,8	2, 4, 5, 9, 11

## Avaluació

Les dates d'avaluació continuada i lliurament de treballs es publicaran a la plataforma Moodle de la UAB i poden estar subjectes a canvis de programació per per motius d'adaptació a possibles incidències. Sempre s'informarà a la plataforma Moodle sobre aquests canvis, ja que s'entén que és la plataforma habitual d'intercanvi d'informació entre professor i estudiants.

L'avaluació de l'alumne es basarà en diferents elements recollits de les diferents activitats de l'assignatura:

**Problemes resolts en grup (Prb1; 1 punt):** es fan durant la sessió i el lliurament es fa al finalitzar la classe (2 entregues).

**Problemes resolts en grup (Prb2; 1 punt):** es fan durant la sessió i el lliurament es fa al finalitzar la classe (2 entregues).

**Pràctiques de Laboratori (Lab; 1 punt):** amb discussió i ajuda del professor. Cal entregar documents de resultats, respostes i conclusions a cadascuna de les entregues.

**Treball Pràctic en grup (TrbPract; 4-6 punts):** anàlisi, disseny i realització de l'optimització d'una aplicació seleccionada pels alumnes. Cal fer presentacions orals i entregues durant el curs per fer el seguiment del treball, una defensa oral i un document final on s'exposi tot el treball realitzat. S'avaluarà el grau de dificultat dels reptes proposats, l'assoliment dels objectius, l'exposició i defensa oral, i els documents escrits. La comunicació oral i escrita s'avalua amb un 30% de la nota.

**Prova Individual (I; 3 punts):** una prova d'avaluació de conceptes i problemes, sense apunts.

**Nota FINAL = Prb1 + Prb2 + Lab + TrbLab + I**

Cal una nota igual o superior a 5 punts a Nota FINAL, i a 1,2 punts a la Prova Individual (I) per aprovar l'assignatura (límit estricte i innegociable)

En cas de no superar l'avaluació regular existirà una avaluació de recuperació per a la prova individual (I) i per a la presentació final del Treball Pràctic (TrbLAB). Aquesta recuperació es farà en la data marcada per l'Escola.

Si l'alumne no assoleix la nota mínima en alguna de les proves d'avaluació, la qualificació numèrica a l'expedient serà el mínim entre 4,5 punts i la nota FINAL que surt del càlcul anterior.

No hi ha cap tracte especial pels estudiants repetidors.

**NOTA:** Sense perjudici d'altres mesures disciplinàries que s'estimin oportunes, i d'acord amb la normativa acadèmica vigent, les irregularitats comeses per un estudiant que puguin conduir a una variació de la qualificació en una activitat avaluable es qualificaran amb un zero (0). Les activitats d'avaluació qualificades d'aquesta forma i per aquest procediment no seran recuperables. Si és necessari superar qualsevol d'aquestes activitats d'avaluació per aprovar l'assignatura, aquesta assignatura quedarà suspesa directament, sense oportunitat de recuperar-la en el mateix curs. Aquestes irregularitats inclouen, entre d'altres:

- la còpia total o parcial d'una pràctica, informe, o qualsevol altra activitat d'avaluació;
- deixar copiar;
- presentar un treball de grup no fet íntegrament pels membres del grup (aplicat a tots els membres, no solament els que no han treballat);
- presentar com a propis materials elaborats per un tercer, encara que siguin traduccions o adaptacions, i en general treballs amb elements no originals i exclusius de l'estudiant;
- tenir dispositius de comunicació (com telèfons mòbils, smart watches, bolígrafs amb càmera, etc.) accessibles durant les proves d'avaluació teórico-pràctiques individuals (exàmens);
- parlar amb companys durant les proves d'avaluació teórico-pràctiques individuals (exàmens);
- copiar o intentar copiar d'altres alumnes durant les proves d'avaluació teórico-pràctiques (exàmens);
- usar o intentar usar escrits relacionats amb la matèria durant la realització de les proves d'avaluació teórico-pràctiques (exàmens), quan aquests no hagin estat explícitament permesos.

En cas de no superar l'assignatura degut a que alguna de les activitats d'avaluació no arriba a la nota mínima requerida, la nota numèrica de l'expedient serà el valor menor entre 4.5 i la mitjana ponderada de les notes. Amb les excepcions de que s'atorgarà la qualificació de "no avaluable" als estudiants que no participin en cap de les activitats d'avaluació (o casos excepcionals), i de que la nota numèrica de l'expedient serà el valor menor entre 3.0 i la mitjana ponderada de les notes en cas que l'estudiant hagi comès irregularitats en un acte d'avaluació (i per tant no serà possible l'aprovat per compensació). En edicions futures d'aquesta assignatura, a l'estudiant que hagi comès irregularitats en un acte d'avaluació no se li convalidaran cap de les activitats d'avaluació realitzades.

En resum: copiar, deixar copiar o plagiar (o l'intent de) en qualsevol de les activitats d'avaluació equival a un SUSPENS, no compensable i sense convalidacions de parts de l'assignatura en cursos posteriors.

## Activitats d'avaluació

Títol	Pes	Hores	ECTS	Resultats d'aprenentatge
Laboratori	10%	0	0	1, 2, 3, 4, 8, 9, 10
Pràctiques: presentacions i discussió per grups	40%	3	0,12	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12
Proves Individuals de Problemes i Teoria	30%	2	0,08	1, 2, 3, 4, 5, 9, 11

Resolució de Problemes en Grup (I)	10%	2	0,08	1, 2, 3, 4, 5, 8, 9, 11, 12
Resolució de Problemes en Grup (II)	10%	2	0,08	1, 2, 3, 4, 8, 9, 11

## **Bibliografia**

Computer Architecture: A Quantitative Approach. 5th Edition  
 John Hennessy, David Patterson, Morgan Kaufmann (Elsevier) 2012 (Cap. 4 i 5)

Structured Parallel Programming: Patterns for efficient computation  
 M. McCool, J. Reinders, A. Robison, Elsevier, 2012

Parallel Programming for Multicore and Cluster Systems  
 T. Rauber, G. Runger, Springer (Elsevier), 2010

Programming Massively Parallel Processors: A Hands-on Approach  
 D. Kirk, & W.M. Hwu, Morgan Kaufmann (Elsevier), 2010