



# Guia docent

## 270020 - PAR - Paral·lelisme

Última modificació: 11/07/2024

**Unitat responsable:** Facultat d'Informàtica de Barcelona  
**Unitat que imparteix:** 701 - DAC - Departament d'Arquitectura de Computadors.  
**Titulació:** GRAU EN ENGINYERIA INFORMÀTICA (Pla 2010). (Assignatura obligatòria).  
**Curs:** 2024      **Crèdits ECTS:** 6.0      **Idiomes:** Català, Castellà, Anglès

### PROFESSORAT

---

**Professorat responsable:** - Daniel Jimenez Gonzalez (djimenez@ac.upc.edu)

**Altres:**

- Eduard Ayguadé Parra (eduard@ac.upc.edu)
- Gladys Miriam Utrera Iglesias (gutrrera@ac.upc.edu)
- Jesus Jose Labarta Mancho (jesus.labarta@ac.upc.edu)
- Jordi Tubella Murgadas (jordit@ac.upc.edu)
- Josep Ramon Herrero Zaragoza (josepr@ac.upc.edu)
- Mario Cesar Acosta Cobos (mario.cesar.acosta@upc.edu)
- Pedro José Martínez Ferrer (pedro.martinez.ferrer@upc.edu)
- Rosa Maria Badia Sala (rosab@ac.upc.edu)

### CAPACITATS PRÈVIES

---

Les capacitats prèvies són les definides pels pre-requisits de l'assignatura.

### REQUISITS

---

- Pre-requisit AC

### COMPETÈNCIES DE LA TITULACIÓ A LES QUALS CONTRIBUEIX L'ASSIGNATURA

---

#### Específiques:

CT1.1B. Demostrar coneixement i comprensió dels conceptes fonamentals de la programació i de l'estructura bàsica d'un computador.  
CEFB5. Coneixement de l'estructura, funcionament i interconnexió dels sistemes informàtics, i dels fonaments de la seva programació.  
CT5.1. Triar, combinar i explotar diferents paradigmes de programació, en el moment de construir software, tenint en compte criteris com la facilitat de desenvolupament, l'eficiència, la portabilitat i la mantenibilitat.  
CT5.3. Dissenyar, escriure, provar, depurar, documentar i mantenir codi en un llenguatge d'alt nivell per a resoldre problemes de programació aplicant esquemes algorísmics i utilitzant estructures de dades.  
CT5.6. Demostrar coneixement i capacitat d'aplicació dels principis fonamentals i de les tècniques bàsiques de la programació paral·lela, concurrent, distribuïda i en temps real.  
CT6.2. Demostrar coneixement, comprensió i capacitat d'avaluar l'estructura i l'arquitectura dels computadors, i els components bàsics que els componen.  
CT7.2. Avaluar sistemes hardware/software en funció d'un criteri de qualitat determinat.  
CT8.1. Identificar tecnologies actuals i emergents i avaluar si són aplicables, i en quina mesura, per a satisfer les necessitats dels usuaris.

#### Genèriques:

G3. Conèixer l'idioma anglès amb un nivell adequat de forma oral i escrita, i en consonància amb les necessitats que tindran els graduats i les graduades en Enginyeria Informàtica. Capacitat de treballar en un grup multidisciplinar i en un entorn multilingüe i de comunicar, tant per escrit com de forma oral, coneixements, procediments, resultats i idees relacionats amb la professió d'enginyer tècnic en informàtica.

## METODOLOGIES DOCENTS

Les classes de teoria introdueixen tots els coneixements, les tècniques, els conceptes necessaris que es posen en pràctica en les hores dedicades a problemes i de laboratori, així com amb treball personal utilitzant una col·lecció de problemes. Les dues hores de classes de teoria/problemes es fan setmanalment. Les dues hores de classes de laboratori també es fan setmanalment, i es valorarà la participació activa i rendiment durant les sessions de laboratori (treball en la pràctica, avançant en la mesura de lo possible per tal d'assolir els objectius de cada sessió). El curs utilitza el llenguatge de programació C i el model de programació paral·lela OpenMP.

## OBJECTIUS D'APRENTATGE DE L'ASSIGNATURA

- 1.Capacitat de formular models senzills de rendiment donada una estratègia de paral·lelització per una aplicació, que permetin estimar la influència dels principals aspectes arquitectònics: numero d'elements de proces, cost d'accés a les dades, cost de la interacció entre elements de procés, entre d'altres.
- 2.Capacitat de mesurar, emprant eines de instrumentació, visualització i anàlisi, el rendiment assolit amb l'execució paral·lela d'una aplicació i detectar els factors que limiten aquest rendiment: granularitat de tasques, distribució equitativa de càrrega de treball, interacció entre tasques, entre d'altres.
- 3.Capacitat de compilar i executar un programa paral·lel, utilitzant les eines bàsiques a nivell de línia de comandes per mesurar el temps d'execució.
- 4.Capacitat d'aplicar optimitzacions senzilles en fragments de codi paral·lel per tal de millorar el seu rendiment en arquitectures paral·leles, atacant els factors que limiten el seu rendiment.
- 5.Capacitat d'escollir l'estratègia de descomposició més apropiada per expressar el paral·lelisme en una aplicació (tasques, dades).
- 6.Capacitat d'aplicar les tècniques bàsiques que permeten sincronitzar l'execució paral·lela, evitant les condicions de carrera i abraçada mortal, i afavorint el solapament entre càlcul i interacció, entre d'altres.
- 7.Capacitat d'implementar en OpenMP la versió paral·lela d'una aplicació seqüencial.
- 8.Capacitat d'identificar els diferents tipus de paral·lelisme que es poden explotar en una arquitectura de computador (ILP, DLP i TLP dins d'un processador, multiprocessador i multicomputador) i descriure els seus principis bàsics de funcionament.
- 9.Capacitat d'entendre els mecanismes bàsics que permeten la compartició coherent de dades en una arquitectura paral·lela de memòria compartida, amb accés uniforme i no uniforme a memòria.
- 10.Capacitat de seguir l'assignatura emprant els materials proporcionats en anglès (transparències, enunciats de pràctiques, problemes, ...) així com realitzar els actes d'avaluació (controls i exàmen final) amb l'enunciat escrit en anglès.
- 11.En cas d'optar per la competència transversal Tercera Llengua, capacitat d'elaborar els entregables de les pràctiques de laboratori (parcial o totalment) en anglès.

## HORES TOTALES DE DEDICACIÓ DE L'ESTUDIANTAT

Tipus	Hores	Percentatge
Hores aprenentatge autònom	84,0	56.00
Hores activitats dirigides	6,0	4.00
Hores grup petit	30,0	20.00
Hores grup gran	30,0	20.00

**Dedicació total:** 150 h

## CONTINGUTS

### Introducció i motivació

#### Descripció:

Necessitat del paral·lelisme, paral·lelisme vs. concurrència, possibles problemes en l'us concurrència: deadlock, lifelock, starvation, fairness, data races



### Anàlisi d'aplicacions paral·leles

**Descripció:**

Mètriques bàsiques: paral·lelisme, temps d'execució, speedup i escalabilitat. Anàlisi de l'impacte dels overheads associats a la creació de tasques i la seva sincronització i la compartició de dades. Eines per la predicció i l'anàlisi de paral·lelisme i visualització de comportament: Paraver i Tareador

### Programació amb memòria compartida: OpenMP

**Descripció:**

Regions paral·leles, threads i tasques. Mecanismes de sincronització entre tasques i threads. Distribució de feina estàtica/dinàmica, granularitat.

### Introducció a les arquitectures paral·leles

**Descripció:**

Paral·lelisme dins d'un processador (ILP, DLP i TLP) i entre els processadors que formen els multiprocessadors de memòria compartida SMP i ccNUMA (coherència de cache, consistència de memòria, sincronització).

### Principis de programació paralela: descomposició en tasques

**Descripció:**

Task decomposition vs. data decomposition. Descomposició en tasques, granularitat i anàlisi de dependències. Identificació de patrons de paral·lelisme: iterative vs. divide and conquer task decompositions. Mecanismes per implementar la descomposició en tasques: creació de regions paral·leles i tasques; mecanismes per garantir task ordering i data sharing.

### Principis de programació paralela: descomposició de dades

**Descripció:**

Descomposició de dades (descomposició geomètrica vs. estructures recursives) per arquitectures amb memòria compartida. Localitat en l'accés a les dades en arquitectures paral·leles de memòria compartida. Generació de codi en funció de la descomposició de dades. Breu introducció a les arquitectures de memòria distribuïda i la seva programació (cas concret: MPI).

## ACTIVITATS

### Assimilació del conceptes fonamentals i eines per modelar i analitzar el comportament d'aplicacions paral.leles

**Descripció:**

Participar activament en les sessions de teoria/problemes. Estudiar els continguts del temes 1 i 2 i realitzar els exercicis proposats. Resolució de les pràctiques proposades en les sessions de laboratori i extracció de conclusions dels resultats obtinguts.

**Objectius específics:**

1, 2, 3, 10

**Competències relacionades:**

G3. Conèixer l'idioma anglès amb un nivell adequat de forma oral i escrita, i en consonància amb les necessitats que tindran els graduats i les graduades en Enginyeria Informàtica. Capacitat de treballar en un grup multidisciplinar i en un entorn multilingüe i de comunicar, tant per escrit com de forma oral, coneixements, procediments, resultats i idees relacionats amb la professió d'enginyer tècnic en informàtica.

**Dedicació:** 22h

Aprenentatge autònom: 10h

Grup gran/Teoria: 6h

Grup petit/Laboratori: 6h

### Ús d'OpenMP per l'expressió de paral.lelisme en memòria compartida

**Descripció:**

Participar activament en les sessions de laboratori. Fer els treballs/lectures prèvies proposades, resoldre els exercicis durant les sessions de laboratori, analitzar resultats, extreure conclusions dels experiments i elaboració dels lliuraments corresponents.

**Objectius específics:**

4, 7, 10, 11

**Competències relacionades:**

G3. Conèixer l'idioma anglès amb un nivell adequat de forma oral i escrita, i en consonància amb les necessitats que tindran els graduats i les graduades en Enginyeria Informàtica. Capacitat de treballar en un grup multidisciplinar i en un entorn multilingüe i de comunicar, tant per escrit com de forma oral, coneixements, procediments, resultats i idees relacionats amb la professió d'enginyer tècnic en informàtica.

**Dedicació:** 9h

Aprenentatge autònom: 4h

Grup gran/Teoria: 1h

Grup petit/Laboratori: 4h

### Assimilació dels aspectes fonamentals en les arquitectures paral.leles

**Descripció:**

Participar activament en les sessions de teoria/problemes. Estudiar els continguts del tema 5 i realitzar els exercicis proposats.

**Objectius específics:**

8, 10

**Competències relacionades:**

G3. Conèixer l'idioma anglès amb un nivell adequat de forma oral i escrita, i en consonància amb les necessitats que tindran els graduats i les graduades en Enginyeria Informàtica. Capacitat de treballar en un grup multidisciplinar i en un entorn multilingüe i de comunicar, tant per escrit com de forma oral, coneixements, procediments, resultats i idees relacionats amb la professió d'enginyer tècnic en informàtica.

**Dedicació:** 12h

Aprenentatge autònom: 6h

Grup gran/Teoria: 6h



### Assimilació dels principis de descomposició en tasques

**Descripció:**

Participar activament en les sessions de teoria/problemes. Estudiar els continguts del tema 4 i realitzar els exercicis proposats. Aplicar els nous coneixements per la resolució de les pràctiques de laboratori associades.

**Objectius específics:**

5, 6, 10

**Competències relacionades:**

G3. Conèixer l'idioma anglès amb un nivell adequat de forma oral i escrita, i en consonància amb les necessitats que tindran els graduats i les graduades en Enginyeria Informàtica. Capacitat de treballar en un grup multidisciplinari i en un entorn multilingüe i de comunicar, tant per escrit com de forma oral, coneixements, procediments, resultats i idees relacionats amb la professió d'enginyer tècnic en informàtica.

**Dedicació:** 36h

Aprenentatge autònom: 20h

Grup gran/Teoria: 6h

Grup petit/Laboratori: 10h

### Sessió extra de dubtes per l'examen parcial

**Descripció:**

L'estudiant podrà fer la petició dels problemes que vulgui repassar per avançat, però també podrà realitzar peticions durant la sessió.

**Objectius específics:**

1, 2, 3, 4, 8, 9, 10

**Competències relacionades:**

G3. Conèixer l'idioma anglès amb un nivell adequat de forma oral i escrita, i en consonància amb les necessitats que tindran els graduats i les graduades en Enginyeria Informàtica. Capacitat de treballar en un grup multidisciplinari i en un entorn multilingüe i de comunicar, tant per escrit com de forma oral, coneixements, procediments, resultats i idees relacionats amb la professió d'enginyer tècnic en informàtica.

**Dedicació:** 2h

Activitats dirigides: 2h

### Examen parcial

**Objectius específics:**

1, 5, 6, 7, 9, 10

**Competències relacionades:**

G3. Conèixer l'idioma anglès amb un nivell adequat de forma oral i escrita, i en consonància amb les necessitats que tindran els graduats i les graduades en Enginyeria Informàtica. Capacitat de treballar en un grup multidisciplinari i en un entorn multilingüe i de comunicar, tant per escrit com de forma oral, coneixements, procediments, resultats i idees relacionats amb la professió d'enginyer tècnic en informàtica.

**Dedicació:** 12h

Aprenentatge autònom: 10h

Activitats dirigides: 2h



### Sessió formativa: repàs de les solucions dels problemes de l'examen parcial i retroacció general dels errors trobats.

**Descripció:**

Amb aquesta sessió formativa l'estudiantat podrà acabar d'assimilar conceptes de la primera meitat del quadrimestre.

**Objectius específics:**

1, 2, 3, 8, 9, 10

**Competències relacionades:**

G3. Conèixer l'idioma anglès amb un nivell adequat de forma oral i escrita, i en consonància amb les necessitats que tindran els graduats i les graduades en Enginyeria Informàtica. Capacitat de treballar en un grup multidisciplinar i en un entorn multilingüe i de comunicar, tant per escrit com de forma oral, coneixements, procediments, resultats i idees relacionats amb la professió d'enginyer tècnic en informàtica.

**Dedicació:** 2h

Activitats dirigides: 2h

### Assimilació dels principis de descomposició de dades

**Descripció:**

Participar activament en les sessions de teoria/problemes. Estudiar els continguts del tema 6 i realitzar els exercicis proposats. Aplicar els nous coneixements per la resolució de les pràctiques de laboratori associades.

**Objectius específics:**

5, 6, 10

**Competències relacionades:**

G3. Conèixer l'idioma anglès amb un nivell adequat de forma oral i escrita, i en consonància amb les necessitats que tindran els graduats i les graduades en Enginyeria Informàtica. Capacitat de treballar en un grup multidisciplinar i en un entorn multilingüe i de comunicar, tant per escrit com de forma oral, coneixements, procediments, resultats i idees relacionats amb la professió d'enginyer tècnic en informàtica.

**Dedicació:** 30h

Aprenentatge autònom: 14h

Grup gran/Teoria: 6h

Grup petit/Laboratori: 10h

### Sessió extra de dubtes per l'examen final

**Descripció:**

L'estudiant podrà fer la petició dels problemes que vulgui repassar per avançat, però també podrà realitzar peticions durant la sessió.

**Objectius específics:**

1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10

**Competències relacionades:**

G3. Conèixer l'idioma anglès amb un nivell adequat de forma oral i escrita, i en consonància amb les necessitats que tindran els graduats i les graduades en Enginyeria Informàtica. Capacitat de treballar en un grup multidisciplinar i en un entorn multilingüe i de comunicar, tant per escrit com de forma oral, coneixements, procediments, resultats i idees relacionats amb la professió d'enginyer tècnic en informàtica.

**Dedicació:** 2h

Activitats dirigides: 2h



### Examen final (Teoria i Laboratori)

**Descripció:**

La part de laboratori estarà diferenciada de la part de teoria i serà una prova escrita sobre paper, relacionada amb el que l'estudiantat ha treballat durant el curs.

**Objectius específics:**

1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10

**Competències relacionades:**

G3. Conèixer l'idioma anglès amb un nivell adequat de forma oral i escrita, i en consonància amb les necessitats que tindran els graduats i les graduades en Enginyeria Informàtica. Capacitat de treballar en un grup multidisciplinar i en un entorn multilingüe i de comunicar, tant per escrit com de forma oral, coneixements, procediments, resultats i idees relacionats amb la professió d'enginyer tècnic en informàtica.

**Dedicació:** 23h

Aprenentatge autònom: 20h

Activitats dirigides: 3h

## SISTEMA DE QUALIFICACIÓ

La nota de l'assignatura (NF) es calcula a partir dels components següents (tots avaluats sobre 10):

- P: nota de l'examen parcial (inclou temes 1 a 3)
- FT: nota de l'examen final de la part de teoria (temes 1 a 5)
- FL: nota de l'examen final de la part de laboratori (25%)

Adicionalment, s'avaluaran de forma continua:

- SL: informes de seguiment del laboratori (10%) que també servirà per avaluar la competència transversal de la tercera llengua. IMPORTANT: La realització i presentació de tots els informes de seguiment del laboratori és condició necessària per superar l'assignatura. Només es considera informe elaborat i presentat aquell informe amb un mínim de contingut. Informes buits o amb només les preguntes, per exemple, no es consideren realitzats ni presentats.
- AA: nota de les activitats online via Atenea realitzades dins del període establert

aplicant la ponderació indicada a continuació:

$$N = 0,65 \cdot \max(FT, 0,35 \cdot P + 0,65 \cdot FT) + 0,25 \cdot FL + 0,10 \cdot SL$$

Si  $N > 5,0$  llavors  $NF = \text{MIN}(10, N \cdot (1 + AA/100))$ ; si no  $NF = N$ .

L'examen final de laboratori serà un examen escrit (sobre paper) que es realitzarà el mateix dia que l'examen final.

La competència en llengua estrangera s'avaluarà a partir dels informes lliurats per als treballs de laboratori. Aquests informes han d'estar escrits en anglès i requeriran la lectura de la descripció de l'assignació del laboratori (també en anglès) i les especificacions d'OpenMP. Tant l'estructura del document escrit com la capacitat de transmetre els resultats i les conclusions del treball s'utilitzaran per avaluar la competència. La qualificació de la competència serà A (excel·lent), B (bo), C (satisfactori), D (suspens) o NA (No avaluat).

## BIBLIOGRAFIA

**Bàsica:**

- Grama, A.; Karypis, G.; Kumar, V.; Gupta, A. Introduction to parallel computing. 2nd ed. Harlow, England: Pearson Education, 2003. ISBN 0201648652.
- OpenMP application programming interface: version 5.0. OpenMP, 2018.

**Complementària:**

- Ayguade, E.; Ramon Herrero, J.R.; Jimenez, D.; Utrera, G. Parallelism - Unit 1: Why Parallel Computing. Departament



d'Arquitectura de Computadors, 2022.

- Ayguade, E.; Ramon Herrero, J.R.; Jimenez, D.; Utrera, G. Parallelism - Unit 2: Understanding Parallelism. Departament d'Arquitectura de Computadors, 2022.

- Ayguade, E.; Ramon Herrero, J.R.; Jimenez, D.; Utrera, G. Parallelism - Unit 3: Introduction to parallel architectures. Departament d'Arquitectura de Computadors, 2022.

- Ayguade, E.; Ramon Herrero, J.R.; Jimenez, D.; Utrera, G. Parallelism - Unit 4: Mastering your task decomposition strategies: going some steps further. Departament d'Arquitectura de Computadors, 2022.

- Ayguade, E.; Ramon Herrero, J.R.; Jimenez, D.; Utrera, G. Parallelism - Unit 5: Data-aware task decomposition strategies. Departament d'Arquitectura de Computadors, 2022.

- Ayguade, E.; Ramon Herrero, J.R.; Jimenez, D.; Utrera, G. Parallelism: Collection of Exercises. Departament d'Arquitectura de Computadors, 2022.

- Ayguade, E.; Ramon Herrero, J.R.; Jimenez, D.; Utrera, G. Parallelism: Selection of Exams (with Solutions). Departament d'Arquitectura de Computadors, 2022.

- Ayguadé, E... [et al.]. Parallelism Laboratory Assignments. Departament d'Arquitectura de Computadors, 2022.

- Hennessy, J.L.; Patterson, D.A. Computer architecture: a quantitative approach. 6th ed. Elsevier, Morgan Kaufmann, 2019. ISBN 9780128119051.

- Culler, D.E.; Singh, J.P.; Gupta, A. Parallel computer architecture: a hardware/software approach. Morgan Kaufmann Publishers, 1999. ISBN 9781558603431.