



**Universidad de Ingeniería y Tecnología**  
**Escuela Profesional de**  
**Ciencia de la Computación**  
**Silabo del curso – Periodo Académico 2017-I**

**1. Código del curso y nombre:** CS3P1. Computación Paralela y Distribuída

**2. Créditos:** 4

**3. Horas de Teoría y Laboratorio:** 2 HT; 4 HP;

**4. Docente(s)**

Atención previa coordinación con el profesor

**5. Bibliografía**

[KH13] David B. Kirk and Wen-mei W. Hwu. *Programming Massively Parallel Processors: A Hands-on Approach*. 2nd. Morgan Kaufmann, 2013. ISBN: 978-0-12-415992-1.

[Mat14] Norm Matloff. *Programming on Parallel Machines*. University of California, Davis, 2014. URL: <http://heather.cs.ucdavis.edu/~matloff/158/PLN/ParProcBook.pdf>.

[Pac11] Peter S. Pacheco. *An Introduction to Parallel Programming*. 1st. Morgan Kaufmann, 2011. ISBN: 978-0-12-374260-5.

[Qui03] Michael J. Quinn. *Parallel Programming in C with MPI and OpenMP*. 1st. McGraw-Hill Education Group, 2003. ISBN: 0071232656.

[SK10] Jason Sanders and Edward Kandrot. *CUDA by Example: An Introduction to General-Purpose GPU Programming*. 1st. Addison-Wesley Professional, 2010. ISBN: 0131387685, 9780131387683.

**6. Información del curso**

(a) **Breve descripción del curso** La última década ha traído un crecimiento explosivo en computación con multiprocesadores, incluyendo los procesadores de varios núcleos y centros de datos distribuidos. Como resultado, la computación paralela y distribuida se ha convertido de ser un tema ampliamente electivo para ser uno de los principales componentes en la malla estudios en ciencia de la computación de pregrado. Tanto la computación paralela como la distribuida implica la ejecución simultánea de múltiples procesos, cuyas operaciones tienen el potencial para intercalarse de manera compleja. La computación paralela y distribuida construye sobre cimientos en muchas áreas, incluyendo la comprensión de los conceptos fundamentales de los sistemas, tales como: concurrencia y ejecución en paralelo, consistencia en el estado/manipulación de la memoria, y latencia. La comunicación y la coordinación entre los procesos tiene sus cimientos en el paso de mensajes y modelos de memoria compartida de la computación y conceptos algorítmicos como atomicidad, el consenso y espera condicional. El logro de aceleración en la práctica requiere una comprensión de algoritmos paralelos, estrategias para la descomposición problema, arquitectura de sistemas, estrategias de implementación y análisis de rendimiento. Los sistemas distribuidos destacan los problemas de la seguridad y tolerancia a fallos, hacen hincapié en el mantenimiento del estado replicado e introducen problemas adicionales en el campo de las redes de computadoras.

(b) **Prerrequisitos:** CS212. Análisis y Diseño de Algoritmos. (5<sup>to</sup> Sem) , CS231. Redes y Comunicaciones. (7<sup>mo</sup> Sem)

(c) **Tipo de Curso:** Obligatorio

**7. Competencias**

- Que el alumno sea capaz de crear aplicaciones paralelas de mediana complejidad aprovechando eficientemente máquinas con múltiples núcleos.
- Que el alumno sea capaz de comparar aplicaciones secuenciales y paralelas.
- Que el alumno sea capaz de convertir, cuando la situación lo amerite, aplicaciones secuenciales a paralelas de forma eficiente.

## 8. Contribución a los resultados (*Outcomes*)

- a) Aplicar conocimientos de computación y de matemáticas apropiadas para la disciplina. (**Usar**)
- b) Analizar problemas e identificar y definir los requerimientos computacionales apropiados para su solución. (**Usar**)
- i) Utilizar técnicas y herramientas actuales necesarias para la práctica de la computación. (**Usar**)
- j) Aplicar la base matemática, principios de algoritmos y la teoría de la Ciencia de la Computación en el modelamiento y diseño de sistemas computacionales de tal manera que demuestre comprensión de los puntos de equilibrio involucrados en la opción escogida. (**Usar**)

## 9. Competencias (IEEE)

- C2.** Capacidad para tener una perspectiva crítica y creativa para identificar y resolver problemas utilizando el pensamiento computacional.⇒ **Outcome a**
- C4.** Una comprensión del hardware de la computadora desde la perspectiva del software, por ejemplo, el uso del procesador, memoria, unidades de disco, pantalla, etc.⇒ **Outcome b**
- C16.** Capacidad para identificar temas avanzados de computación y de la comprensión de las fronteras de la disciplina.⇒ **Outcome i**
- CS2.** Identificar y analizar los criterios y especificaciones apropiadas a los problemas específicos, y planificar estrategias para su solución.⇒ **Outcome i**
- CS3.** Analizar el grado en que un sistema basado en el ordenador cumple con los criterios definidos para su uso actual y futuro desarrollo.⇒ **Outcome j**
- CS6.** Evaluar los sistemas en términos de atributos de calidad en general y las posibles ventajas y desventajas que se presentan en el problema dado.⇒ **Outcome j**

## 10. Lista de temas a estudiar en el curso

1. Fundamentos de paralelismo
2. Arquitecturas paralelas
3. Descomposición en paralelo
4. Comunicación y coordinación
5. Análisis y programación de algoritmos paralelos
6. Desempeño en paralelo

## 11. Metodología y Evaluación

### Metodología:

#### Sesiones Teóricas :

El desarrollo de las sesiones teóricas está focalizado en el estudiante, a través de su participación activa, resolviendo problemas relacionados al curso con los aportes individuales y discutiendo casos reales de la industria. Los alumnos desarrollarán a lo largo del curso un proyecto de aplicación de las herramientas recibidas en una empresa.

#### Sesiones de Laboratorio :

Las sesiones prácticas se desarrollan en laboratorio. Las prácticas de laboratorio se realizan en equipos para fortalecer su comunicación. Al inicio de cada laboratorio se explica el desarrollo de la práctica y al término se destaca las principales conclusiones de la actividad en forma grupal.

#### Exposiciones individuales o grupales :

Se fomenta la participación individual y en equipo para exponer sus ideas, motivándolos con puntos adicionales en las diferentes etapas de la evaluación del curso.

#### Lecturas:

A lo largo del curso se proporcionan diferentes lecturas, las cuales son evaluadas. El promedio de las notas de las lecturas

es considerado como la nota de una práctica calificada. El uso del campus virtual UTEC Online permite a cada estudiante acceder a la información del curso, e interactuar fuera de aula con el profesor y con los otros estudiantes.

**Sistema de Evaluación:**

**12. Contenido**

Unidad 1: Fundamentos de paralelismo (18)	
Competencias esperadas: C2	
Objetivos de Aprendizaje	Tópicos
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Distinguir el uso de recursos computacionales para una respuesta mas rápida para administrar el acceso eficiente a un recurso compartido [Familiarizarse]</li> <li>• Distinguir múltiples estructuras de programación suficientes para la sincronización que pueden ser inter-implementables pero tienen ventajas complementarias [Familiarizarse]</li> <li>• Distinguir datos de carrera (<i>data races</i>) a partir de carreras de mas alto nivel [Familiarizarse]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Procesamiento Simultáneo Múltiple.</li> <li>• Metas del Paralelismo (ej. rendimiento) frente a Concurrencia (ej. control de acceso a recursos compartidos)</li> <li>• Paralelismo, comunicación, y coordinación:               <ul style="list-style-type: none"> <li>– Paralelismo, comunicación, y coordinación</li> <li>– Necesidad de Sincronización</li> </ul> </li> <li>• Errores de Programación ausentes en programación secuencial:               <ul style="list-style-type: none"> <li>– Tipos de Datos (lectura/escritura simultánea o escritura/escritura compartida)</li> <li>– Tipos de Nivel más alto (interleavings violating program intention, no determinismo no deseado)</li> <li>– Falta de vida/progreso (deadlock, starvation)</li> </ul> </li> </ul>
<b>Lecturas :</b> [Pac11], [Mat14], [Qui03]	

<b>Unidad 2: Arquitecturas paralelas (12)</b>	
<b>Competencias esperadas: C4</b>	
<b>Objetivos de Aprendizaje</b>	<b>Tópicos</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Explicar las diferencias entre memoria distribuida y memoria compartida [Evaluar]</li> <li>• Describir la arquitectura SMP y observar sus principales características [Evaluar]</li> <li>• Distinguir los tipos de tareas que son adecuadas para máquinas SIMD [Usar]</li> <li>• Describir las ventajas y limitaciones de GPUs vs CPUs [Usar]</li> <li>• Explicar las características de cada clasificación en la taxonomía de Flynn [Usar]</li> <li>• Describir los desafíos para mantener la coherencia de la caché [Familiarizarse]</li> <li>• Describir los desafíos clave del desempeño en diferentes memorias y topologías de sistemas distribuidos [Familiarizarse]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Procesadores mutlinúcleo.</li> <li>• Memoria compartida vs memoria distribuida.</li> <li>• Multiprocesamiento simétrico.</li> <li>• SIMD, procesamiento de vectores.</li> <li>• GPU, coprocesamiento.</li> <li>• Taxonomía de Flynn.</li> <li>• Soporte a nivel de instrucciones para programación paralela. <ul style="list-style-type: none"> <li>– Instrucciones atómicas como Compare/Set (Comparar / Establecer)</li> </ul> </li> <li>• Problemas de Memoria: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Caches multiprocesador y coherencia de cache</li> <li>– Acceso a Memoria no uniforme (NUMA)</li> </ul> </li> <li>• Topologías. <ul style="list-style-type: none"> <li>– Interconexiones</li> <li>– Clusters</li> <li>– Compartir recursos (p.e., buses e interconexiones)</li> </ul> </li> </ul>
<b>Lecturas :</b> [Pac11], [KH13], [SK10]	

<b>Unidad 3: Descomposición en paralelo (18)</b>	
<b>Competencias esperadas: C16</b>	
<b>Objetivos de Aprendizaje</b>	<b>Tópicos</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Explicar por qué la sincronización es necesaria en un programa paralelo específico [Usar]</li> <li>• Identificar oportunidades para particionar un programa serial en módulos paralelos independientes [Familiarizarse]</li> <li>• Escribir un algoritmo paralelo correcto y escalable [Usar]</li> <li>• Paralelizar un algoritmo mediante la aplicación de descomposición basada en tareas [Usar]</li> <li>• Paralelizar un algoritmo mediante la aplicación de descomposición datos en paralelo [Usar]</li> <li>• Escribir un programa usando actores y/o procesos reactivos [Usar]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necesidad de Comunicación y coordinación/sincronización.</li> <li>• Independencia y Particionamiento.</li> <li>• Conocimiento Básico del Concepto de Descomposición Paralela.</li> <li>• Descomposición basada en tareas: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Implementación de estrategias como hebras</li> </ul> </li> <li>• Descomposición de Información Paralela <ul style="list-style-type: none"> <li>– Estrategias como SIMD y MapReduce</li> </ul> </li> <li>• Actores y Procesos Reactivos (solicitud de gestores)</li> </ul>
<b>Lecturas :</b> [Pac11], [Mat14], [Qui03]	

Unidad 4: Comunicación y coordinación (18)	
Competencias esperadas: C16	
Objetivos de Aprendizaje	Tópicos
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Usar exclusión mutua para evitar una condición de carrera [Usar]</li> <li>• Dar un ejemplo de una ordenación de accesos entre actividades concurrentes (por ejemplo, un programa con condición de carrera) que no son secuencialmente consistentes [Familiarizarse]</li> <li>• Dar un ejemplo de un escenario en el que el bloqueo de mensajes enviados pueden dar <i>deadlock</i> [Usar]</li> <li>• Explicar cuándo y por qué mensajes de multidifusión (<i>multicast</i>) o basado en eventos puede ser preferible a otras alternativas [Familiarizarse]</li> <li>• Escribir un programa que termine correctamente cuando todo el conjunto de procesos concurrentes hayan sido completados [Usar]</li> <li>• Dar un ejemplo de un escenario en el que un intento optimista de actualización puede nunca completarse [Familiarizarse]</li> <li>• Usar semaforos o variables de condición para bloquear hebras hasta una necesaria precondition de mantenga [Usar]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Memoria Compartida.</li> <li>• La consistencia, y su papel en los lenguaje de programación garantías para los programas de carrera libre.</li> <li>• Pasos de Mensaje: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Mensajes Punto a Punto versus multicast (o basados en eventos)</li> <li>– Estilos para enviar y recibir mensajes Blocking vs non-blocking</li> <li>– Buffering de mensajes</li> </ul> </li> <li>• Atomicidad: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Especificar y probar atomicidad y requerimientos de seguridad</li> <li>– Granularidad de accesos atómicos y actualizaciones, y uso de estructuras como secciones críticas o transacciones para describirlas</li> <li>– Exclusión mutua usando bloques, semáforos, monitores o estructuras relacionadas <ul style="list-style-type: none"> <li>* Potencial para fallas y bloqueos (<i>deadlock</i>) (causas, condiciones, prevención)</li> </ul> </li> <li>– Composición <ul style="list-style-type: none"> <li>* Componiendo acciones atómicas granulares más grandes usando sincronización</li> <li>* Transacciones, incluyendo enfoques optimistas y conservadores</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>• Consensos: <ul style="list-style-type: none"> <li>– (Ciclicos) barreras, contadores y estructuras relacionadas</li> </ul> </li> <li>• Acciones condicionales: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Espera condicional (p.e., empleando variables de condición)</li> </ul> </li> </ul>
<b>Lecturas :</b> [Pac11], [Mat14], [Qui03]	

Unidad 5: Análisis y programación de algoritmos paralelos (18)	
Competencias esperadas: CS2	
Objetivos de Aprendizaje	Tópicos
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definir: camino crítico, trabajo y <i>span</i> [Familiarizarse]</li> <li>• Calcular el trabajo y el <i>span</i> y determinar el camino crítico con respecto a un diagrama de ejecución paralela. [Usar]</li> <li>• Definir <i>speed-up</i> y explicar la noción de escalabilidad de un algoritmo en este sentido [Familiarizarse]</li> <li>• Identificar tareas independientes en un programa que debe ser paralelizado [Usar]</li> <li>• Representar características de una carga de trabajo que permita o evite que sea naturalmente paralelizable [Familiarizarse]</li> <li>• Implementar un algoritmo dividir y conquistar paralelo (y/o algoritmo de un grafo) y medir empíricamente su desempeño relativo a su analogo secuencial [Usar]</li> <li>• Descomponer un problema (por ejemplo, contar el número de ocurrencias de una palabra en un documento) via operaciones <i>map</i> y <i>reduce</i> [Usar]</li> <li>• Proporcionar un ejemplo de un problema que se corresponda con el paradigma productor-consumidor [Usar]</li> <li>• Dar ejemplos de problemas donde el uso de <i>pipelining</i> sería un medio eficaz para la paralelización [Usar]</li> <li>• Implementar un algoritmo de matriz paralela [Usar]</li> <li>• Identificar los problemas que surgen en los algoritmos del tipo productor-consumidor y los mecanismos que pueden utilizarse para superar dichos problemas [Usar]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Caminos críticos, el trabajo y la duración y la relación con la ley de Amdahl.</li> <li>• Aceleración y escalabilidad.</li> <li>• Naturalmente (vergonzosamente) algoritmos paralelos.</li> <li>• Patrones Algorítmicos paralelos (divide-y-conquista, map/reduce, amos-trabajadores, otros) <ul style="list-style-type: none"> <li>– Algoritmos específicos (p.e., MergeSort paralelo)</li> </ul> </li> <li>• Algoritmos de grafos paralelo (por ejemplo, la ruta más corta en paralelo, árbol de expansión paralela)</li> <li>• Cálculos de matriz paralelas.</li> <li>• Productor-consumidor y algoritmos paralelos segmentados.</li> <li>• Ejemplos de algoritmos paralelos no-escalables.</li> </ul>
<b>Lecturas :</b> [Mat14], [Qui03]	

Unidad 6: Desempeño en paralelo (18)	
Competencias esperadas: CS3	
Objetivos de Aprendizaje	Tópicos
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Detectar y corregir un desbalanceo de carga [Usar]</li> <li>• Calcular las implicaciones de la ley de Amdahl para un algoritmo paralelo particular [Usar]</li> <li>• Describir como la distribución/disposición de datos puede afectar a los costos de comunicación de un algoritmo [Familiarizarse]</li> <li>• Detectar y corregir una instancia de uso compartido falso (<i>false sharing</i>) [Usar]</li> <li>• Explicar el impacto de la planificación en el desempeño paralelo [Familiarizarse]</li> <li>• Explicar el impacto en el desempeño de la localidad de datos [Familiarizarse]</li> <li>• Explicar el impacto y los puntos de equilibrio relacionados al uso de energía en el desempeño paralelo [Familiarizarse]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Equilibrio de carga.</li> <li>• La medición del desempeño.</li> <li>• Programación y contención.</li> <li>• Evaluación de la comunicación de arriba.</li> <li>• Gestión de datos: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Costos de comunicación no uniforme debidos a proximidad</li> <li>– Efectos de Cache (p.e., false sharing)</li> <li>– Manteniendo localidad espacial</li> </ul> </li> <li>• Consumo de energía y gestión.</li> </ul>
<b>Lecturas :</b> [Pac11], [Mat14], [KH13], [SK10]	