

# Oferta Educativa en Tecnología de Cómputo: Propuesta de una Maestría en el IPN

**M. en C. Eduardo Rodríguez Escobar**  
Subdirector de Innovación y Desarrollo  
Tecnológico del CIDETEC-IPN

**E**l Centro de Innovación y Desarrollo Tecnológico en Cómputo (CIDETEC) surge de la transformación del Centro de Investigación Tecnológica en Computación (CINTEC), a partir del acuerdo tomado por el Consejo General Consultivo del Instituto Politécnico Nacional en su reunión ordinaria de mayo de 1997, con los objetivos de consolidar la operación de la infraestructura de cómputo del Instituto, de desarrollar nuevas aplicaciones de la misma, de aprovechar las ventajas tecnológicas para incidir en el proceso productivo de bienes y servicios y de impartir cursos de capacitación, actualización, especialización y superación académica y profesional en el campo de la ingeniería de cómputo.

Con el fin de promover la superación profesional de los recursos humanos en el área de la Computación, se determinó incluir en el plan de trabajo 1998-2000 del Centro la oferta de un programa de Maestría, para ser impartida a partir del semestre de primavera de 1999. Esta determinación se fundó tanto en la necesidad de complementar y fortalecer las actividades que el Centro realiza en materia educativa, de investigación científica, de innovación tecnológica y de operación y mantenimiento de los sistemas y equipos de cómputo con que cuentan las distintas áreas, es-

cuels y centros del Instituto, como en la de integrar a la oferta educativa del Instituto Politécnico Nacional aquellas áreas que no se desarrollan en la medida de lo deseable en las escuelas y centros que ofrecen programas de posgrado en computación. Este objetivo no se pudo realizar en su momento debido a diversos cambios en la dirección del Centro, y por la falta de recursos humanos calificados en medida suficiente para implantar un programa de posgrado.

En este momento, sin embargo, el CIDETEC ya se encuentra en posibilidades de concretar estos objetivos. La propuesta que actualmente se esta desarrollando retoma el objetivo antes citado, revisado y actualizado con base en las necesidades tecnológicas de los sectores productivo y de servicios, como del mismo Instituto.

## OBJETIVO

Formar recursos humanos en el área de la Ingeniería de Cómputo, así como especializar y actualizar a profesionales de la computación en esta área, que al egresar del programa contarán con los conocimientos y habilidades para desempeñar las siguientes actividades:

- Generar aplicaciones técnicas y científicas de la computación.
- Programar máquinas de alto rendimiento y aplicaciones de supercómputo.

- Implementar sistemas de medición y control computarizados para procesos industriales.
- Diseñar sistemas dedicados, tanto en lo que a hardware, como a software se refiere.
- Diseñar y programar sistemas de cómputo en el campo de la realidad virtual.
- Implementar sistemas de cómputo distribuido.

## JUSTIFICACIÓN

En el contexto de los países miembros del Tratado de Libre Comercio, así como en la Comunidad Europea, se distinguen las currícula de Informática, Ciencias de la Computación, Ingeniería de Software e Ingeniería de Cómputo como áreas determinadas para objeto de estudio. En particular, la *Association for Computing Machinery* (ACM) y la *Computer Society del Institute for Electrical and Electronic Engineers* (IEEE-CS) definen a esta última como el análisis, diseño, construcción y la aplicación de computadoras y de sistemas digitales para la generación tanto de nuevas máquinas, como de aplicaciones dedicadas de la computación. La disciplina involucra tanto el hardware como el software, así como la interacción entre ambos. Un estudio comparativo de los programas de posgrado ofrecidos en nuestro país, presentado por este Centro a la Secretaría Académica, muestra claramente que la oferta en esta área es sumamente

pobre. El diseño de sistemas de cómputo dedicados y/o de propósito específico prácticamente no es cubierto en forma sistemática e integral. Así, aunque existen programas académicos relacionados con el diseño de sistemas digitales por una parte, y otros que se ocupan de la programación de aplicaciones técnicas y científicas, no existe un programa que integre estas áreas para aplicaciones desde medición, control de procesos, automatización industrial etc., hasta la generación de sistemas integrales dedicados en, por ejemplo, el diagnóstico médico.

Por otra parte, el creciente impacto de la educación no presencial en todas sus formas genera nuevas necesidades en materia de infraestructura computacional y de comunicaciones, así como en materia de programación en áreas tan computacionalmente intensivas como la realidad virtual. Estas nuevas aplicaciones requieren soluciones propias, no sólo por la importancia económica del mercado, sino por necesidades de control y óptimo aprovechamiento de la infraestructura sobre una base de disponibilidad cercana al 100%.

La presente propuesta pretende, así, llenar un vacío de la oferta educativa no sólo del Instituto, sino del país, en este campo de creciente importancia.

---

### VINCULACIÓN CON LOS SECTORES SOCIAL, PRODUCTIVO Y DE SERVICIOS

---

El campo de acción de un egresado de esta maestría no se circunscribe a un conjunto pequeño y cerrado de aplicaciones, sino que incide en toda aquella actividad humana que haga uso de aplicaciones y sistemas computacionales. Como se mencionó en la justificación, prácticamente en cualquiera de los tres sectores

(social, productivo y de servicios) existen necesidades y aplicaciones que exigen para su solución y realización de profesionales que cumplan con el perfil propuesto. La relación del programa con estos aspectos no se limita únicamente al campo de acción del alumno como egresado, sino que como parte de su formación y en apoyo a las funciones propias de vinculación y desarrollo tecnológico que el Centro tiene, los alumnos que se encuentren en las etapas finales del programa serán incorporados a aquellos proyectos que el Centro genere con cualquiera de los sectores mencionados, proporcionando la experiencia práctica y real necesaria para un desarrollo integral de sus habilidades y capacidades.

---

### PERFIL DEL EGRESADO

---

Las características del egresado en términos de los conocimientos, habilidades académicas y aptitudes que alcanzará, son las siguientes:

- Poseer la habilidad de proyectar y diseñar aplicaciones específicas en materia de equipo de cómputo.
- Diseñar, integrar y operar sistemas de cómputo con base en subsistemas comercialmente disponibles, y componentes propietarias desarrolladas para el procesamiento de datos de propósito específico.
- Implementar sistemas de cómputo distribuido (redes).
- Capacidad para diseñar sistemas dedicados, tanto desde el punto de vista de hardware, como de software.
- Capacidad para desarrollar aplicaciones para equipos de cómputo de alto rendimiento, incluyendo la optimización de código, estimación y medición de rendimiento, evaluación del desempeño etc.).

---

### LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

---

El CIDETEC cuenta actualmente con dos líneas de investigación, ambas vinculadas en los diferentes aspectos y contenidos académicos y tecnológicos que conforman el programa de maestría propuesto. Los programas en cuestión, conjuntamente con la fundamentación de los mismos y sus proyectos integrantes son:

#### CÓMPUTO DE ALTO RENDIMIENTO PARA EL APOYO DE LA INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO EN EL IPN

Las computadoras paralelas de alto rendimiento computacional pueden clasificarse en dos grandes divisiones: máquinas de memoria compartida, en las que todos los procesadores tienen acceso a un solo espacio de direccionamiento común (compartido), y máquinas de memoria distribuida, en las cuales cada procesador accede únicamente a su memoria propia, y la interacción entre procesadores se obtiene mediante el intercambio de mensajes entre ellos. Esta categoría, que incluye los llamados "clusters", es efectiva para aquellos problemas computacionales que pueden ser resueltos con base en tareas independientes entre sí, que conlleven poco intercambio de información durante su ejecución, y que generan como resultado archivos grandes de información, requeridos por otros procesadores en etapas subsecuentes de ejecución (problemas de "granularidad gruesa"). Máquinas de memoria compartida, en cambio, aceptan modelos computacionales más flexibles, que requieren de mayores niveles de intercambio de información durante la ejecución de tareas individuales (problemas de "granularidad fina"). Una clase importante de computadoras paralelas de memoria compartida es la de acceso a memoria no uniforme, coherente a nivel de me-

memoria caché (cc-NUMA: *cache-coherent, non-uniform memory access*). Esta clase de máquinas incluye modelos comerciales tan importantes como la Origin 2000 y 3000 de Silicon Graphics, Inc. La tecnología de memorias actualmente disponible excluye la posibilidad de que el acceso a memoria requiera la misma cantidad de tiempo para todos los procesadores a cualquier dirección (acceso no uniforme), por lo que la necesaria consistencia de contenidos de memoria para los diferentes niveles jerárquicos de la realización física (memoria caché de primer y segundo nivel, memoria principal) se asegura, en este tipo de máquinas, mediante un complejo protocolo basado en directorios distribuidos en los nodos computacionales que conforman la máquina.

La línea de investigación que se propone pretende resolver una serie de problemas que, hasta la fecha, han impedido que procesadores de la clase de máquinas personales, en particular, la familias Pentium e Itanium de Intel, constituyan los elementos computacionales de máquinas paralelas tipo cc-NUMA. Con ello, se genera la posibilidad de construir máquinas grandes (de cientos y hasta miles de procesadores) a partir de componentes y subsistemas económicos, comercialmente disponibles, y un número reducido de componentes propietarios que conforman los nodos de interconexión entre estos subsistemas. Tecnológicamente, dos desarrollos relativamente recientes apoyan esta posibilidad. Por una parte, la existencia de dispositivos programables de muy alta capacidad (más de un millón de compuertas por dispositivo, operando a más de 400 MHz) y, por otra, la disponibilidad de enlaces punto a punto ópticos operando a 20 GHz, permitiendo, en principio, esquemas de interconexión con un ancho de banda de más de 1 Gbyte/s.

Desde un punto de vista conceptual, máquinas del tipo cc-NUMA se enfrentan a problemas prácticos de realización física derivados del estado del arte tecnológico del momento. Estos problemas se pueden sintetizar en dos grandes rubros, relacionados entre sí: consistencia de memoria, por una parte, y latencia de acceso, por otra. El problema de consistencia se resuelve, como ya se mencionó, por medio de directorios distribuidos que permiten conocer la ubicación del dato más recientemente modificado correspondiente a una dirección de memoria dada en todos los nodos y niveles jerárquicos de memoria de la máquina. Existen una serie de protocolos de manejo de directorios correspondientes a diversos niveles de consistencia, definidos formalmente y que establecen modelos de programación para estas máquinas. El esquema de directorios permite, sin embargo, diferentes realizaciones físicas de distintos costos de memoria adicional requerida y con diferentes posibilidades de expansión (escalabilidad de la máquina). Recientemente, se ha propuesto un esquema basado en apuntadores que constituye un "standard" de la IEEE. Ninguno de los esquemas existentes, sin embargo, es enteramente satisfactorio y en todos los casos introduce un costo de tiempo importante para accesos a memoria que no pueden satisfacerse desde las memorias caché asociadas a los procesadores. Este costo de tiempo es parte de la latencia de acceso (tiempo que transcurre entre que un procesador emite una solicitud de acceso a memoria, y que ésta devuelva el primer byte de información solicitada). La latencia de acceso, por otra parte, depende también del número de nodos computacionales de la máquina, de la topología de la red de interconexión y de la lógica asociada a los circuitos de conmutación. Esto es, la latencia de acceso crece conforme la máquina cuenta con más nodos computacionales, lo

que limita su escalabilidad y la vuelve menos efectiva para problemas computacionales de granularidad fina.

En términos de programación, existen lenguajes que ayudan en la paralelización de algoritmos escritos para ejecución secuencial, tales como el FORTRAN 95. Estos lenguajes suponen la existencia de determinada plataforma con características bien definidas, plataforma que es establecida por medio del sistema operativo y un programa de interfaz que, en conjunto, conforman el modelo de programación requerido. Actualmente, este *software* es, ya sea, propietario de una marca y para un tipo de equipo determinado, u obedece a alguna norma de uso generalizado, tal como puede ser el "cluster". También aquí, la relación entre el programa de aplicación y los dispositivos físicos establecida por varios niveles de programación introduce retardos en la ejecución y reduce el rendimiento de la máquina. Ello sugiere el empleo de un sistema operativo abierto, como el LINUX, y la generación de la interfaz requerida para el compilador a nivel de manejador de dispositivos, incorporados al sistema operativo. Con ello, se establece la posibilidad de optimizar, por diseño, el establecimiento de barreras, semáforos y la ejecución de algunos seudocomandos de sincronización, proporcionando determinados servicios en *hardware* y reduciendo el *software* de interfaz a un mínimo.

De lo anterior se desprende que el proyecto debe generar una solución al problema de cómputo de alto rendimiento, una necesidad de cuya satisfacción depende, en gran medida, la competitividad de la investigación y desarrollo tecnológico en muchas áreas del conocimiento que se cultivan en el IPN, involucra aspectos tanto formales, como tecnológicos de diseño de *hardware* y de *software*. Por otra parte, estos aspectos

están relacionados entre sí y los resultados obtenidos en una área afectan los objetivos y metas de las demás. Finalmente, la línea de trabajo que se propone constituiría un apoyo fundamental para un programa de maestría en ingeniería de cómputo. Este programa, a su vez, es una componente esencial en la relación entre oferta tecnológica, y aplicación de la misma en programas de investigación que requieren el apoyo computacional, pero no cuentan con los recursos humanos especializados en computación técnica y científica para aplicar estas herramientas.

### **DESARROLLO DE APLICACIONES DIGITALES Y SOPORTE DIDÁCTICO AL IPN**

El programa que se presenta es un integración de parte de algunas de las labores de investigación, desarrollo tecnológico y apoyo académico que desde sus inicios como CINTEC y ahora como CIDETEC ha venido desarrollando este centro. Por un lado, el desarrollo tecnológico en base a los sistemas digitales es uno de los motivos principales para la creación del Centro, y como tal, es una vocación de desarrollo firmemente respaldada por la evolución misma del Centro. Como respaldo de estos desarrollos puede recordarse simplemente el Programa de Autoequipamiento en materia de equipo de Cómputo, los

desarrollos de microcomputadoras en base a microprocesadores Intel 8088, 80188, 80386 y Pentium, proyectos vinculados en el instituto de Investigaciones eléctricas, metro, tecnovisión de América, etc., todos ellos desarrollados con éxito en el CIDETEC. Actualmente se presenta como línea colateral un programa de Cómputo de altas prestaciones, que no es más que la reafirmación de lo anterior.

Por otro lado, el soporte académico al Instituto se ha venido dado también desde sus inicios, desde la creación e impartición de una Maestría en Ingeniería de Cómputo, posteriormente transferida al CIC, la generación de cursos de capacitación en torno a arquitecturas de computadoras, el programa de capacitación de profesores de la DEMS en materia de cómputo, la presentación de sendas propuestas para el diseño y creación de una licenciatura en Ingeniería de Cómputo (ESCOM) y de un centro de Investigación en Cómputo (CIC), hasta la etapa actual de cursos y diplomados en el nivel superior y posgrado. Actualmente, las propuestas presentadas de apoyo académico se circunscriben al ámbito del apoyo por computadora, proponiendo esquemas interactivos alumno-sistema que puedan ser ejecutados en ambientes "stand alone", redes LAN Internet o Intranet.

---

### **COLABORACIÓN CON OTRAS INSTITUCIONES EDUCATIVAS, PRODUCTIVAS O DE SERVICIOS**

---

Las características del programa de maestría propuesto implican una interacción eficaz entre aquellas escuelas y centros del Instituto cuya labor académica gire alrededor de las Ciencias de la Computación. En particular, la presente propuesta plantea una colaboración inicial entre el CIDETEC, la UPIICSA, ESIME-CULHUACAN y el CIC, en los términos de establecer convenios específicos de colaboración e intercambio académico, permitiendo la participación de profesores visitantes en materias de especialización y electivas del programa propuesto, además de participar como asesores en proyectos y tesis de grado. Por otro lado, estos convenios permitirán a su vez la posibilidad de flexibilizar la currícula de la maestría, al homologar aquellas materias de especialidad y electivas cuyos contenidos sean equivalentes y que se impartan indistintamente en cualquiera de las escuelas y centros mencionados.