



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIA E INGENIERÍA DE LA COMPUTACIÓN

Tipo de proyecto:

- Creación de la Especialización en Cómputo de Alto Rendimiento, y su respectivo grado, para su adición al Posgrado en Ciencia e Ingeniería de la Computación.
- Modificación de las Normas Operativas del Programa.
- Incorporación en el Programa de cuatro entidades académicas participantes (Instituto de Geofísica, Instituto de Astronomía, Instituto de Física y Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación), exclusivamente para colaborar en la Especialización en Cómputo de Alto Rendimiento.

Grados que se otorgan:

- Especialista en Cómputo de Alto Rendimiento (**creación del grado**).
- Maestro(a) en Ciencia e Ingeniería de la Computación.
- Doctor(a) en Ciencia e Ingeniería de la Computación.

Entidades académicas participantes:

- Facultad de Ciencias (FC).
- Facultad de Ingeniería (FI).
- Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FES-Cuautitlán).
- Instituto de Ingeniería (II).
- Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas (IIMAS).
- Instituto de Matemáticas (IMATE).
- Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico (CCADET).

Entidades académicas que se incorporan de manera exclusiva a la especialización:

- Instituto de Geofísica (IG).
- Instituto de Astronomía (IA).
- Instituto de Física (IF).
- Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación (DGTIC).

Fecha de la aprobación del Comité Académico del Programa:

- Consejo Técnico de la Facultad de Ciencias: 16 de enero 2014.

- Consejo Técnico de la Investigación Científica: 29 de mayo de 2014.

Fecha de la opinión favorable de los Consejos Internos:

- Consejo Interno del Instituto de Geofísica: 17 de enero 2014.
- Consejo Interno del Instituto de Astronomía: 15 de enero 2014.
- Consejo Interno del Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas: 4 de diciembre 2013.

Fecha de la opinión favorable del Consejo de Estudios de Posgrado:

- Consejo de Estudios de Estudios de Posgrado: 19 de febrero 2015.

Fecha de opinión favorable del Consejo Académico del Área de las Ciencias Físico Matemáticas y de las Ingenierías: 22 de abril de 2015.

Fecha de aprobación del H. Consejo Universitario:

ÍNDICE

Tomo I

1. Presentación.....	5
1.1 Introducción.....	5
1.2 Objetivo del plan de estudios	5
1.3 Fundamentación académica.....	5
1.3.1 Demandas del contexto.....	5
1.3.2 Descripción del campo de conocimiento: Cómputo de Alto Rendimiento.....	12
1.4 Procedimiento empleado en el diseño del Programa y de su plan de estudios, y resultados más relevantes que justifican la creación de la Especialización en Cómputo de Alto Rendimiento	12
2. Plan de Estudios de la Especialización en Cómputo de Alto Rendimiento.....	14
2.1 Perfiles	14
2.1.1 De ingreso.....	14
2.1.2 De egreso	15
2.1.3 Del graduado	15
2.2 Duración de los estudios y el total de créditos	16
2.3 Estructura y organización del plan de estudios	16
2.3.1 Descripción general	16
2.3.2 Mecanismos de flexibilidad.....	18
2.3.3 Seriación	18
2.3.4 Actividades académicas.....	18
2.3.5 Mapa curricular.....	21
2.4 Requisitos	21
2.4.1 De ingreso.....	21
2.4.2 De permanencia	22
2.4.3 De egreso	23
2.4.4 Para obtener el grado	23
2.5 Certificado complementario	23
3. Implantación del Programa y de su plan de estudios	23
3.1 Condiciones para la implantación.....	23
3.2 Recursos humanos	24
3.3 Infraestructura y recursos materiales.....	25
4. Evaluación del Programa, en específico para el plan de estudios de la Especialización en Cómputo de Alto Rendimiento	26
4.1 Condiciones nacionales e internacionales que incidan en el Programa y su plan de estudios	27
4.2 Análisis de la pertinencia del perfil de ingreso.....	27
4.3 Desarrollo del cómputo de alto rendimiento y la emergencia de nuevos conocimientos relacionados	27
4.4 Evaluación de los fundamentos teóricos y orientación del Programa y de su plan de estudios	28

4.5 Análisis de las características del perfil del graduado.....	28
4.6 Ubicación de los graduados en el mercado laboral	28
4.7 Congruencia de los componentes del plan de estudios.....	29
4.8 Valoración de la programación y operación de las actividades académicas	29
4.9 Ponderación de las experiencias obtenidas durante la implantación.....	29
4.10 Mecanismos y actividades que se instrumentarán para la actualización permanente de la planta académica.....	30

1. Presentación

1.1 Introducción

El Proyecto que se presenta se enmarca y sustenta en el Posgrado en Ciencia e Ingeniería de la Computación vigente, que contiene dos planes de Estudios: Maestría en Ciencia e Ingeniería de la Computación y Doctorado en Ciencia e Ingeniería de la Computación, impartidos en la modalidad presencial. La Maestría se compone de actividades académicas que conforman los conocimientos básicos de la Ciencia e Ingeniería de la Computación. Por su parte, el Doctorado tiene una duración de ocho semestres, para los alumnos de tiempo completo y está centrado en actividades de investigación.

Además de estos dos planes de estudio, con la presente propuesta se adicionará un tercer plan de estudios al Programa: la Especialización en Cómputo en Alto Rendimiento, cual tendrá una duración de dos semestres para alumnos de tiempo completo, periodo en que el alumno deberá acreditar 48 créditos y obtener el grado. Dicho plan tendrá una carga académica obligatoria del 50% del valor total de sus créditos y el 50% restante será flexible. Cabe señalar que dentro de la carga obligatoria, a su vez el 50% de ésta, está orientada a la integración de los conocimientos y habilidades adquiridos durante los estudios, espacio académico en donde el alumno desarrollará el trabajo con el que se graduará.

Asimismo, se hicieron modificaciones a las normas operativas de los planes de estudio, a fin de incluir las pautas que guíen el buen funcionamiento de la Especialización en Cómputo de Alto Rendimiento, dentro de este Posgrado.

Cabe señalar que para el desarrollo e impartición de esta especialización se contará con la corresponsabilidad de cuatro entidades académicas más, las cuales participarán, exclusivamente, en este nivel de estudios:

- Instituto de Física.
- Instituto de Astronomía.
- Instituto de Geofísica.
- Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación.

1.2 Objetivo del plan de estudios

Formar especialistas en Cómputo de Alto Rendimiento, capaces de diseñar, implementar, analizar y evaluar aplicaciones en equipos de cómputo de multiprocesamiento, orientados hacia la resolución de problemas inherentes a su área de ejercicio profesional.

1.3 Fundamentación académica

1.3.1 Demandas del contexto

La Computación en México, y más aún el Cómputo de Alto Rendimiento, es un campo joven, tanto en su contexto académico como industrial en el ámbito de la innovación y desarrollo. En

ese sentido, es difícil establecer con precisión cuál es su estado actual en términos de inversiones, proyectos, números de profesionales involucrados, etcétera. Lo que sí es un hecho es la enorme necesidad del Cómputo de Alto Rendimiento; es decir, la tendencia a integrar las tecnologías para el manejo de grandes cantidades de información, para la programación de múltiples procesadores en diversos ambientes de comunicación, así como para el manejo de diversas formas de integrar mecanismos de almacenamiento dinámico. Sin embargo, a la fecha no se cuenta con un programa formal de estudios que permita que quienes se enfrentan al desarrollo y aplicación del Cómputo de Alto Rendimiento puedan realizar esta labor de una manera más adecuada, ya que normalmente enfrentan serias limitaciones conceptuales, metodológicas y tecnológicas en la producción de sistemas de *software* paralelo de alto rendimiento. Problemas que limitan de forma importante la calidad no sólo de los programas desarrollados, sino indirectamente también a todas aquellas investigaciones que requieren del Cómputo de Alto Rendimiento para la obtención de resultados.

La industria del *software* en general, y el Cómputo de Alto Rendimiento en particular, tienen muy poco tiempo de ser objeto de seguimiento por parte de las dependencias gubernamentales del país, encargadas de proveer cifras sobre su desarrollo en México. Ante la carencia de indicadores oficiales, se hace uso de cifras y datos locales dentro de la UNAM que de manera directa den una idea clara de las demandas actuales a nivel universitario, y de manera indirecta, una idea aproximada de las necesidades en otras instituciones académicas e industriales nacional e internacionalmente.

Centros de Cómputo de Alto Rendimiento en México

Aun cuando el cómputo de alto rendimiento puede considerarse como incipiente en el país, hay una serie de instituciones públicas y privadas que han establecido “Centros de Supercómputo”, donde se desarrollan aplicaciones de alto rendimiento, como se presenta en la siguiente tabla¹.

Centros	Equipo(s) más importantes	Número de procesadores
DGTIC-UNAM	<i>Cluster</i> Miztli	5504 + 16 GPUs
Centro Nacional de Supercómputo, SLP	<i>Cluster</i> Thubat-Kaal	2640 + 50 Coprocesadores Phi
Instituto Nacional de Medicina Genómica	<i>Cluster</i>	520
Universidad de Sonora	<i>Cluster</i> Mezquite	140
CINVESTAV-IPN	<i>Cluster</i> Xiuhcoatl	3480 + 36 GPUs
UAM-Iztapalapa	<i>Cluster</i> Aitzaloo <i>Cluster</i> Yoltla	1080 2160

Es de destacar el incremento de este tipo de sistemas en diversos sectores de la sociedad, desde el ámbito científico técnico hasta el de servicios, todos alrededor del manejo, análisis y transporte, entre otros, de grandes cantidades de información. Dichas necesidades han sido subsanadas a través de los centros de datos, manejo de tecnología compartida, grandes arreglos de discos; sin embargo, es necesario, bajo la concepción del cómputo de alto

¹Coordinación General de Servicios de Cómputo Académico. Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN. *El Supercómputo en México.*, México, 2008.

rendimiento, formar a aquellos profesionistas que llevan a cabo dichas tareas de administración, diseño, análisis, certificación y uso masivo de este tipo de tecnología.

Oferta educativa

El estado de la formación de recursos humanos para el área de Cómputo de Alto Rendimiento en México, muestra que los principales cursos en la materia se imparten en los centros de supercómputo, que dedican esfuerzos para la formación de recursos humanos particularmente para los equipos con que cuentan. Sin embargo, la mayoría presenta esta opción únicamente como formación especializada, o en el mejor de los casos un diplomado, dirigidos a estudiantes que se encuentran cursando licenciaturas o posgrados en áreas que hacen uso del Cómputo de Alto Rendimiento, y no como el estudio del cómputo en sí mismo.

Algunos de los planes de estudio de maestría y doctorado más relevantes se presentan en la siguiente tabla:

Planes de Estudio	Institución y Estado	Objetivo
Maestría y Doctorado en Ciencia e Ingeniería de la Computación.	UNAM, Distrito Federal.	Busca la formación de estudiantes con bases sólidas de computación y de su campo de conocimiento o línea de investigación, que sean capaces de aportar en términos tecnológicos y profesionales al desarrollo de la computación ² .
Ciencias de la Computación.	CINVESTAV-IPN, Distrito Federal.	Busca preparar especialistas en el área de la computación capaces de aplicar la teoría, metodologías y las técnicas de la disciplina ³ .
Doctorado en Ciencias Computacionales.	ITESM, Distrito Federal.	Busca la generación de conocimiento relacionado con las nuevas metodologías computacionales para la solución de problemas ⁴ .
Maestría en Ciencias Computacionales.	Instituto Tecnológico de Morelia, Michoacán.	Busca la formación de líderes, analíticos, críticos y creativos con visión estratégica, con la capacidad de diseñar, implementar y administrar infraestructura computacional para aportar soluciones innovadoras ⁵ .
Maestría en Ciencias de la Ingeniería.	UAEM, Estado de México.	Tiene la finalidad de preparar profesionales de alto nivel, capaces de solucionar problemas con la aplicación de las tecnologías de la información en un ambiente de redes de computadoras y comunicaciones ⁶ .
Maestría en Ciencias	UAGro, Guerrero	Busca realizar una programación de los

²UNAM, Plan de Estudios del Posgrado en Ciencia e Ingeniería de la Computación. México, 2013.

³Maestría en Ciencias de la Computación. Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. Disponible en: <http://www.cs.cinvestav.mx/posgmaestria.html>

⁴Doctorado en Ciencias Computacionales. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. Disponible en: http://www.itesm.mx/wps/portal?WCM_GLOBAL_CONTEXT=/migration/CVA2/Cuernavaca/Programas+educativos/Maestria+as/D+octorados/Programas+en+el+rea+de+Tecnolog+as+de+Informaci+n+y+Electr+nica/Doctorado+en+Ciencias+Computacionales

⁵Maestría en Ciencias Computacionales. Instituto Tecnológico de Morelia. Disponible en: http://www.emagister.com.mx/maestria/maestria_ciencias_computacionales-cursos-2291331.htm

⁶Maestría en Ciencias de la Ingeniería. Universidad Autónoma del Estado de México. Disponible en: http://www.uaemex.mx/pestud/mae_doc/ingenieria/MaeInf.html

Planes de Estudio	Institución y Estado	Objetivo
de la Computación.		modelos de representación de la información y de los procesos computacionales ⁷ .
Maestría en Ciencias Computacionales.	UAG, Jalisco.	Plantea la formación de maestros capaces de desarrollar robustos y avanzados sistemas de software, utilizando métodos y herramientas para diseñar, construir, analizar, probar, administrar y mantener sistemas de <i>software</i> mediante la mejora de técnicas y herramientas para producir software de alta calidad ⁸ .
Maestría en Ciencias de la Computación.	UAM, Distrito Federal.	Tiene como tarea contribuir a la solución de problemáticas generales y particulares a través del desarrollo e implementación de sistemas computacionales ⁹ .
Maestría en Ciencias de la Computación.	BUAP, Puebla.	Busca la formación de profesionales en las Ciencias de la Computación con énfasis en la investigación ¹⁰ .
Ciencias de la Computación.	CINVESTAV-IPN, Tamaulipas.	Tiene el propósito de preparar especialistas en ciencias de la computación que conozcan y sepan aplicar la teoría, metodologías y las técnicas más modernas de la disciplina ¹¹ .
Maestría y Doctorado en Ciencias Computacionales.	INAOE, Puebla.	Se plantea como objetivos la preparación de investigadores capaces de identificar y resolver problemas científicos fundamentales en Ciencias Computacionales, con capacidad de liderazgo y acción independiente; además formar recursos humanos de alto nivel con capacidad para participar en la generación de conocimientos científicos básicos y contribuir al desarrollo de nuevos campos de la investigación ¹² .

Puede observarse que la UNAM aparece como parte de esta lista de programas de posgrado. Sin embargo, ninguno de estos programas provee una especialización precisa en Cómputo de Alto Rendimiento, todos ellos lo consideran únicamente como una parte, curso, opciones terminales o materias relacionadas con temas más generales en computación. Como se detallará más adelante, esto es debido a que aun cuando varios de los posgrados que se

⁷Maestría en Ciencias de la Computación. Universidad Autónoma de Guerrero. Disponible en: <http://www.uacyti.uagro.net/Maestria/objetivo.html>

⁸Maestría en Ciencias Computacionales. Universidad Autónoma de Guadalajara. Disponible en: <http://www.uag.mx/maestria/maestria-ciencias-computacionales/>

⁹Maestría en Ciencias de la Computación. Universidad Autónoma Metropolitana. Disponible en: http://posgradoscbi.azc.uam.mx/descargas/pe_mcc.pdf

¹⁰Maestría en Ciencias de la Computación. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Disponible en: http://posgrado.cs.buap.mx/wordpress/?page_id=5

¹¹Maestría en Ciencias de la Computación. Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Tamaulipas. Disponible en: http://www.tamps.cinvestav.mx/posgrado_maestria_computacion_objetivos

¹²Maestría y Doctorado en Ciencias Computacionales. Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, Puebla. Disponible en: <http://posgrados.inaoep.mx/computacion/doctorado.php>

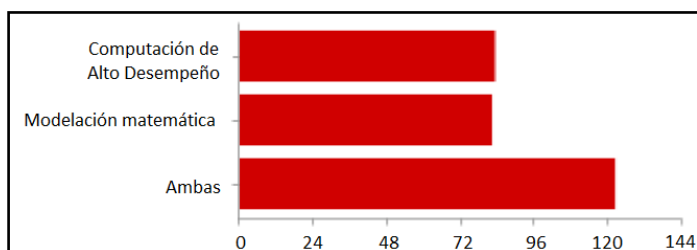
ofertan consideran al Cómputo de Alto Rendimiento, no cuentan explícitamente en sus planes de estudio con la formación específica de recursos humanos con el perfil que aquí se propone.

Algunas conclusiones del análisis de los planes de estudio de estos programas de posgrado son las siguientes:

- a. La formación de recursos humanos para el Cómputo de Alto Rendimiento, es un aspecto que crece rápidamente y se está haciendo prioritario en varias áreas de investigación y desarrollo, lo que contribuye a la demanda de recursos humanos preparados en el área;
- b. Es difícil definir un plan de estudios de posgrado que considere, al mismo tiempo, bases teóricas sólidas, conjuntamente con la experiencia práctica y los últimos desarrollos tecnológicos; y
- c. No es fácil hallar profesores del área.

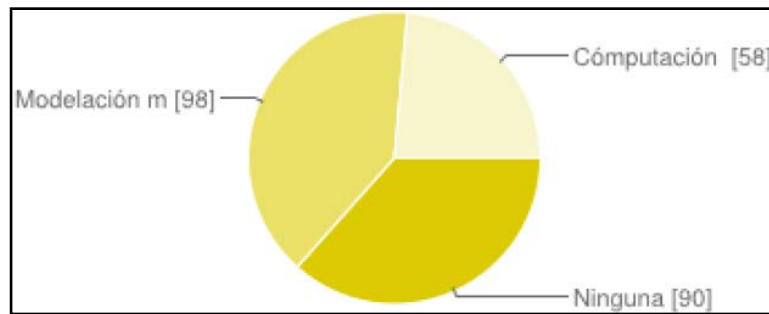
Demanda estimada

Para calcular la posible demanda de aspirantes a cursar la Especialización que se propone, se tiene como referencia el programa académico impulsado a finales del 2014 por el Instituto de Geofísica, denominado: Plan de Capacitación Intensivo en Cómputo de Alto Desempeño. Se recibieron más de 240 solicitudes en tan sólo siete días hábiles, provenientes de Ciencia e Ingeniería de la Computación, Física e Ingeniería de Sistemas. Las áreas de interés que manifestaron los aspirantes fueron Computación de Alto Desempeño y Modelación Matemática:



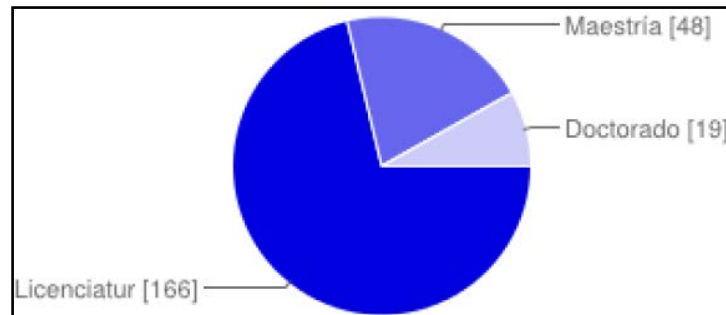
Área de interés	Número de alumnos	Porcentaje
Computación de Alto Desempeño	83	34%
Modelación Matemática	82	33%
Ambas	122	50%

Respecto a la experiencia que tienen los aspirantes en las áreas antes mencionadas, es:



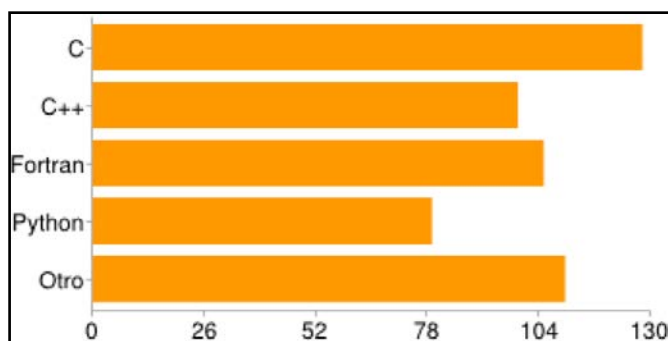
Área	Número de alumnos	Porcentaje
Ninguna	90	37%
Modelación Matemática	98	40%
Computación de Alto Desempeño	58	24%

La siguiente gráfica muestra el nivel de estudios de los alumnos interesados. Se observa que la mayoría son de licenciatura. También hubo aspirantes con estudios de maestría y doctorado.



Nivel de estudios	Número de alumnos	Porcentaje
Licenciatura	166	67%
Maestría	48	20%
Doctorado	19	8%

Los lenguajes de programación que manifestaron tener los aspirantes son:



Lenguaje de programación	Número de alumnos	Porcentaje
C	128	52%
C++	99	40%
Fortran	105	43%
Python	79	32%
Otro	110	45%

Otro referente para estimar la demanda, es la experiencia que tiene el Departamento de Supercómputo de la DGTIC, con el plan de becarios en Cómputo de Alto Rendimiento. Éste constó de 16 cursos intensivos de 10 horas a la semana, y dedicar a un proyecto final de cuatro a seis meses. Este plan fue dirigido a estudiantes de licenciaturas en ciencias e ingeniería con al menos 70% de créditos, en este plan se tuvieron poco más de 30 solicitudes.

Otra experiencia, a nivel nacional, es el informe de matrícula de inicio de curso 2014-2015 en los Posgrados de la Universidad de Guadalajara, en el área en ciencias en ingeniería electrónica y computación en la que está presente la maestría en cómputo paralelo, en él se menciona que tienen un total de 44 alumnos entre el primer y segundo año de la carrera, así como 26 egresados en el periodo. En los documentos de cobertura y oferta académica de la misma Universidad, se menciona que tienen un porcentaje de aceptación del 37%, con un promedio de 46 aspirantes.

Internacionalmente, también se cuenta con los datos del PlanetHPC, que proporciona un foro a los investigadores europeos, científicos e industriales para identificar los desafíos que enfrenta la computación de alto rendimiento (HPC), con especial énfasis en *software* y *hardware* para la simulación y el modelado. Está liderado por el Centro de Cómputo Paralelo de Edimburgo (EPCC), uno de los mayores centros de supercómputo de Europa con sede en la Universidad de Edimburgo.

El curso se ha llevado a cabo durante once años, con alrededor de entre 25 y 30 estudiantes cada año. Con una amplia gama de perfiles de ingreso, el principal objetivo es dar a cada estudiante una base sólida en la escritura de código real para resolver problemas reales, en cualquier área de interés personal.

1.3.2 Descripción del campo de conocimiento: Cómputo de Alto Rendimiento

El Cómputo de Alto Rendimiento se utiliza para resolver problemas cuya escala (en cantidad de datos o complejidad de operaciones), no es realista o costo/efectivo para otros sistemas de cómputo. Así, el Cómputo de Alto Rendimiento se refiere a la aplicación del procesamiento paralelo para ejecutar programas de aplicación avanzados eficientes, confiables y rápidamente. El término aplica especialmente a sistemas que funcionan por arriba de un *Teraflop* o un billón (10^{12}) de operaciones de punto flotante por segundo. Generalmente, se refiere a la práctica de agregar poder de cómputo de tal forma que proporcione un rendimiento mucho mayor de lo que podría lograr una computadora de escritorio, con el fin de resolver grandes problemas de las áreas de la ciencia, ingeniería o de negocios.

Aun cuando el Cómputo de Alto Rendimiento carece comúnmente de conceptos unificadores que lo definan plenamente, se puede afirmar que reside en la intersección de disciplinas tan diversas como las ciencias de la computación, las redes y telecomunicaciones, el diseño y programación de *software*, la arquitectura de computadoras y compiladores, y la tecnología de la información. De tal modo, y debido a los adelantos en los últimos años, el Cómputo de Alto Rendimiento, en su forma más amplia, progresivamente se extiende ya no solamente al ámbito de la investigación, sino que llega hasta la escena cotidiana con nuevos sistemas personales de cómputo *multi-core* y *multi-procesador*, que se encuentran en el mercado. El hecho del Cómputo de Alto Rendimiento evolucionará en tecnologías tales como *Big Data*, Cómputo en Nube o Cómputo Ubicuo. En el futuro a mediano plazo, se espera que los equipos empujados en teléfonos celulares o máquinas inteligentes tales como automóviles, cámaras o dispositivos de uso común, contengan elementos de procesamiento lo suficientemente poderosos que en conjunto con una capacidad de comunicación altamente flexible y rápida, constituirán redes de procesamiento enfocadas a objetivos a corto plazo para la toma de decisiones tales como seguridad, monitoreo de salud, detección temprana de epidemias, comportamientos sociales libres de escala entre tantos otros.

Es de relevancia hacer notar que se han hecho grandes esfuerzos desarrollados por varias naciones, así como por organismos multinacionales como la Unión Europea, la Unión Asia Pacífico, entre otras para adoptar como línea estratégica de desarrollo y estudio al Cómputo de Alto Rendimiento, buscando fortalecer sus redes tanto de comunicación como de procesamiento de datos a gran escala, así como la propiedad de su información pero sobre todo de su análisis.

1.4 Procedimiento empleado en el diseño del Programa y de su plan de estudios, y resultados más relevantes que justifican la creación de la Especialización en Cómputo de Alto Rendimiento

Desde 2007, un grupo de académicos provenientes de la Facultad de Ciencias, del Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas, del Instituto de Geofísica, del Instituto de Astronomía y del Instituto de Física, realiza un seminario semanal de los especialistas en el área de cómputo de alto rendimiento como parte del *Proyecto Cómputo de Alto Rendimiento en Tiempo Real con base en Elementos de Comunicación Media* del *Macroproyecto de Tecnologías para la Universidad de la Información y la Computación, UNAM*, donde se discuten, analizan, definen y proponen varios temas relativos al Cómputo de Alto Rendimiento. Asimismo, durante el 2008 en el marco de los 50 años de la computación en México, se celebró en la UNAM el congreso sobre reflexión y perspectivas

del área, de éste se obtuvieron conclusiones contundentes en lo referente a la formación de recursos humanos, surgiendo la necesidad de fortalecer la cantidad y calidad de la aplicación de la computación, así como de revisar el énfasis en la formación de fondo basada en conceptos computacionales sólidamente arraigados. En particular se identificó lo siguiente:

- La comunidad académica y científica dentro y fuera de la UNAM, manifiesta cada vez más la necesidad de utilizar recursos de Cómputo de Alto Rendimiento, pero no cuentan con la preparación suficiente ni con el tiempo para hacerlo de la manera más adecuada para sus intereses.
- Los sectores tanto productivo como de servicios han incorporado en sus modelos de innovación y desarrollo, herramientas metodológicas concernientes al Cómputo de Alto Rendimiento, presentando una oferta interesante de trabajo para varios universitarios con el conocimiento básico en áreas cercanas, pero con una preparación fundamental para el desarrollo de proyectos de cómputo.
- En este sentido se observó la falta de experiencia y práctica de programadores y desarrolladores de aplicaciones de alto rendimiento, así como la ausencia de conexión entre quienes se dedican al estudio formal del área y la práctica de quienes aplican CAR en sus proyectos de investigación.
- Pese a lo anterior se reconoce que el Cómputo de Alto Rendimiento ha alcanzado, a la fecha, un grado suficiente de madurez como una disciplina académica de estudio desarrollada por algunos académicos, lo que permite proponer y contar con planes de estudio de posgrado a nivel internacional. Propuestas similares existen en varios posgrados alrededor del país, sin embargo, dichas estrategias se encuentran inmersas en áreas de estudio donde el cómputo no es una materia central, dejando al estudiante con huecos importantes en términos metodológicos.
- Si bien el Posgrado en Ciencia e Ingeniería de la Computación de la UNAM, tiene como objetivo básico el estudio del cómputo, cualquier área cercana se convierte en optativa y no existe una liga concreta entre dichos estudios. Por este motivo, extender los alcances del Programa a través de la creación de la Especialización en Cómputo de Alto Rendimiento, permitirá dar cabida a la consolidación del área a la vez que generará un espacio de reflexión y estudio para diversos profesionales cercanos al tema. Cabe señalar que la especialización propuesta a su vez se articula con tres campos de conocimientos del Posgrado en Ciencia e Ingeniería en la Computación: Computación Científica, Ingeniería de *Software* y Bases de Datos, y Redes y Seguridad en Cómputo.
- La nueva especialización permitirá conjuntar el conocimiento y formalización de académicos dedicados al estudio del CAR, con la experiencia práctica de quienes aplican el CAR en sus proyectos de investigación, innovación y desarrollo. Así, se contará con un plan de estudios de posgrado, de especialización, que no sólo brinde conocimientos profundos y actualizados, sino que además estén adaptados a la aplicación en el contexto de un ambiente profesional cada vez más interdependiente, tanto del modelado como de la implementación de sistemas multiprocesador.
- La creciente demanda de estudiantes formados en un programa de estudios de posgrado que responda a las necesidades de especialización en un área altamente valorada, tanto en el ambiente académico como en el ambiente industrial.

Durante el diseño de esta especialización se tomaron en cuenta tres puntos fundamentales, las herramientas metodológicas con que se cuenta actualmente en la UNAM, como el *software* tanto de simulación como de implementación para sistemas enfocados al cómputo de alto rendimiento; el grupo de académicos comprometidos en formar parte de dicho

proyecto, los cuales se identifican en diversas entidades académicas de la propia universidad; así como la infraestructura sobre cómputo de alto rendimiento con que cuenta la universidad, que al igual que sus recursos humanos, se encuentran distribuidos en diversas entidades dentro del *campus* de Ciudad Universitaria. En este documento se dará una revisión a estos tres puntos, importantes para entender cómo se conformó este plan de estudios, además de las capacidades de formación de los académicos involucrados.

Por último, pero no menos importante, es el entendimiento del mercado de trabajo el cual, por su naturaleza multidisciplinaria, conlleva un alto reto dentro de las diversas avenidas de formación profesional que puede seguir el egresado de la especialización. En principio se definió que el egresado se incorporará al sector productivo con las habilidades adquiridas para poder competir con la demanda en el análisis de sistemas complejos de información. De hecho, como ya se ha mostrado en el presente documento, existe una alta demanda en áreas como ingeniería, de la salud, de la modelación, entre otras, que requieren de especialistas capaces de diseñar y analizar sistemas multi-procesador para el manejo de la información con base en diversas plataformas de procesamiento. Este último punto es lo que da fundamento inicial para plantear a la especialización como una opción multi-disciplinaria, dado que se busca formar a especialistas con capacidades de comunicación y trabajo en equipo, así como con las habilidades necesarias para el diseño de soluciones en el entorno de plataformas multi-procesador.

El procedimiento que se siguió fue, en principio, aglomerar a la comunidad académica del área para compartir las experiencias en la formación de recursos humanos en cómputo de alto rendimiento, desde la perspectiva propia de cada área. Una segunda etapa fue la identificación de los distintos programas de posgrado en donde se retomaron las ideas principales para el diseño del programa de alto rendimiento, encontrando un área de oportunidad en la formación de especialistas del cómputo sin perder su orientación profesional original. Dada esta revisión se concluyó establecer una especialización acorde a esta necesidad, dichos estudios se diseñaron a partir de los cursos del PCIC y la valiosa interacción con posgrados afines como: ciencias de la tierra, ingeniería, astrofísica, entre otros.

2. Plan de Estudios de la Especialización en Cómputo de Alto Rendimiento

2.1 Perfiles

2.1.1 De ingreso

Conocimientos:

- Básicos de matemáticas y cómputo (ecuaciones diferenciales y programación).

Habilidades:

- Plantear problemas complejos en su campo de estudio profesional, tales que demanden el manejo de grandes cantidades de datos y su procesamiento no pueda ser desarrollado bajo una única línea de cálculo.

- Discernir problemas que requieran un análisis exhaustivo de los datos en algún problema complejo de su campo de estudio profesional.
- Tener manejo matemático de los problemas de interés.
- Programar sistemas de cómputo básicos.

Actitudes:

- El aspirante deberá mostrar interés en realizar actividades relacionadas con el análisis, diseño e implementación de aplicaciones de cómputo, así como tener disposición para el trabajo en equipo.

2.1.2 De egreso

Conocimientos:

- Para el análisis, diseño, implementación y uso de los sistemas del CAR en un ambiente de varios procesadores y diversas formas de comunicación y del manejo de la memoria.
- De las diferentes tecnologías que conforman el campo del CAR.
- Dominará diferentes lenguajes de programación.

Habilidades:

- Discernir entre varios elementos de diseño sobre el CAR para establecer soluciones a la necesidad de procesamiento de información, con base en un conocimiento profundo de la arquitectura de cómputo a diseñar para resolver problemas complejos en su quehacer profesional.
- Identificar problemas de su área de trabajo que requieran de la aplicación del CAR.
- Colaborar en el diseño de esquemas de recolección de información propia de su actividad.
- Se brindará al estudiante una formación rigurosa que le permitirá desarrollar en equipo aplicaciones de CAR.
- En diferentes tecnologías que conforman el campo.
- Será capaz de coordinar un proyecto de desarrollo, además de asumir uno o varios de los diferentes papeles en el equipo de trabajo.

Actitudes:

- Actitud crítica ante los retos de procesar grandes cantidades de información.
- Disposición para trabajar en equipo.

2.1.3 Del graduado

El graduado de la especialización habrá adquirido el conocimiento formal y las habilidades prácticas en programación, para utilizar recursos de cómputo para resolver un problema complejo o de gran tamaño mediante una aplicación de CAR, además de poder seleccionar la tecnología más adecuada según su formación profesional, así como dominar diferentes lenguajes de programación.

2.2 Duración de los estudios y el total de créditos

El plan de estudios de la Especialización en Cómputo de Alto Rendimiento se cursará en dos semestres para alumnos de tiempo completo, excepcionalmente se aceptarán alumnos de tiempo parcial, en cuyo caso la duración será de tres semestres. En estos periodos deberán ser cubiertas las actividades académicas establecidas en el plan de estudios.

2.3 Estructura y organización del plan de estudios

2.3.1 Descripción general

El plan de estudios de la Especialización en Cómputo del Alto Rendimiento, contiene sólo el campo de conocimiento en CAR, con un total de 48 créditos organizados, dos actividades obligatorias orientadas al estudio de aspectos básicos del CAR, como por ejemplo en el manejo, estudio y diseño de los sistemas operativos, el diseño y manejo de redes de cómputo de alta fiabilidad; así como una formación teórico-práctica que le permita manejar ambientes complejos y heterogéneos desde el punto de vista distribuido con base en distintas arquitecturas de cómputo, por ende, diversos paradigmas de comunicación y procesamiento de la información. Cuatro actividades optativas enfocadas a la diversidad de elementos metodológicos necesarios para aproximarse a las posibles conjeturas a observar en su campo de estudio inicial. Dichas actividades serán tomadas de común acuerdo con el tutor en turno del estudiante y responderán a inquietudes específicas en el quehacer de estudio del propio estudiante en el marco de tres núcleos integradores. Se espera que estas actividades académicas sean seleccionadas con base en sus intereses profesionales. Asimismo, se debe acreditar un seminario de Cómputo de Alto Rendimiento, donde el alumno desarrollará un proyecto final que le permita usar todos los elementos metodológicos aprendidos en su formación para implantar soluciones innovadoras con base en el CAR en su campo de estudio inicial, y en su caso graduarse del producto realizado en dicho seminario.

Durante el primer semestre, el estudiante podrá seleccionar dos materias optativas del siguiente grupo, teniendo como objetivo la formación fundamental en el diseño, implementación, análisis, mantenimiento e identificación de problemas bajo la perspectiva del cómputo de alto rendimiento:

- Programación Concurrente y Distribuida.
- Sistemas Paralelos.
- Métricas de Alto Desempeño.
- Laboratorio de *Clusters* y *GRIDS*.
- Supercómputo.
- Sistemas Distribuidos

Durante el segundo semestre, el estudiante definirá sus intereses en el diseño, análisis, identificación, implementación o mantenimiento en sistemas de cómputo de alto rendimiento, con base al siguiente grupo de materias:

- Modelación Matemática y Computacional de Sistemas Continuos.
- Modelación Matemática y Computacional de Sistemas Terrestres.
- Computación Científica en Paralelo.

- Temas Selectos de Cómputo de Alto Rendimiento.
- Sistemas en Tiempo Real.
- Diseño de *Software* Paralelo.

Este manejo de las materias es indicativo para el estudiante en su formación considerando tres núcleos integradores:

- Modelado de sistemas dinámicos para el uso del cómputo de alto rendimiento,
Materias sugeridas :
 - Modelación Matemática y Computacional de Sistemas Continuos.
 - Modelación Matemática y Computacional de Sistemas Terrestres.
 - Temas Selectos de Cómputo de Alto Rendimiento
- Sistemas de cómputo de alto rendimiento con restricciones en el tiempo,
Materias sugeridas :
 - Computación Científica en Paralelo.
 - Temas Selectos de Cómputo de Alto Rendimiento.
 - Sistemas en Tiempo Real.
- Diseño e implementación en sistemas de cómputo de alto rendimiento heterogéneos en ambientes complejos.
Materias sugeridas :
 - Computación Científica en Paralelo.
 - Temas Selectos de Cómputo de Alto Rendimiento.
 - Sistemas en Tiempo Real.
 - Diseño de *Software* Paralelo.

Siendo estos los núcleos integradores de las asignaturas optativas para su formación.

No se excluye que, conforme la Especialidad avance, se generen nuevos núcleos integradores con académicos de otras entidades universitarias.

A continuación se presenta la estructura y organización académica, por semestre, del plan de estudios de la Especialización en Cómputo de Alto Rendimiento.

Primer Semestre	Dos actividades académicas obligatorias básicas , que conformarán los conocimientos fundamentales del cómputo de alto rendimiento.	<ul style="list-style-type: none"> • Fundamentos del Cómputo de Alto Rendimiento. • Programación Avanzada.
	Dos actividades académicas optativas , que complementarán la formación para el desarrollo del proyecto a realizar.	<ul style="list-style-type: none"> • Programación Concurrente y Distribuida. • Sistemas Paralelos. • Métricas de Alto Desempeño. • Laboratorio de <i>Clusters</i> y <i>GRIDS</i>. • Supercómputo. • Sistemas Distribuidos
Segundo Semestre	Dos actividades académicas optativas , que complementarán la formación para el desarrollo del	<ul style="list-style-type: none"> • Modelación Matemática y Computacional de Sistemas Continuos.

	proyecto a realizar.	<ul style="list-style-type: none"> • Modelación Matemática y Computacional de Sistemas Terrestres. • Computación Científica en Paralelo. • Temas Selectos de Cómputo de Alto Rendimiento. • Sistemas en Tiempo Real. • Diseño de <i>Software</i> Paralelo.
	Una actividad académica obligatoria , en donde se desarrollará una aplicación de Cómputo de Alto Rendimiento trabajando en equipo multidisciplinario.	<ul style="list-style-type: none"> • Seminario de Cómputo de Alto Desempeño.

2.3.2 Mecanismos de flexibilidad

Las actividades académicas del plan de estudios podrán ser sustituidas por actividades académicas de otros planes de estudio vigentes en la institución, de acuerdo con lo establecido en el Marco Institucional de Docencia, previa autorización del Comité Académico.

En el rubro de actividades optativas se cuenta con un tema selecto que promueva el abordaje de temas específicos o emergentes.

2.3.3 Seriación

Las actividades académicas del plan de estudios no tienen seriación exclusiva, únicamente existirá una indicación del seguimiento de materias optativas de acuerdo a los núcleos integradores.

2.3.4 Actividades académicas

CLAVE	DENOMINACIÓN	MODALIDAD	CARÁCTER	TIPO DE ACTIVIDAD		TOTAL DE HORAS POR SEMESTRE	CRÉDITOS
				HORAS TEÓRICAS	HORAS PRÁCTICAS		
PRIMER SEMESTRE							
	Fundamentos del Cómputo de Alto Rendimiento	Curso	Obligatorio	2	1	48	6
	Programación Avanzada	Curso	Obligatorio	2	1	48	6
	Optativa	Curso/ Laboratorio	Optativo	2	1	48	6
	Optativa	Curso/ Laboratorio	Optativo	2	1	48	6
SEGUNDO SEMESTRE							

CLAVE	DENOMINACIÓN	MODALIDAD	CARÁCTER	TIPO DE ACTIVIDAD		TOTAL DE HORAS POR SEMESTRE	CRÉDITOS
				HORAS/SEMANA			
				HORAS TEÓRICAS	HORAS PRÁCTICAS		
	Optativa	Curso/ Laboratorio	Optativo	2	1	48	6
	Optativa	Curso/ Laboratorio	Optativo	2	1	48	6
	Seminario de Cómputo de Alto Rendimiento	Seminario	Obligatorio	0	6	96	12

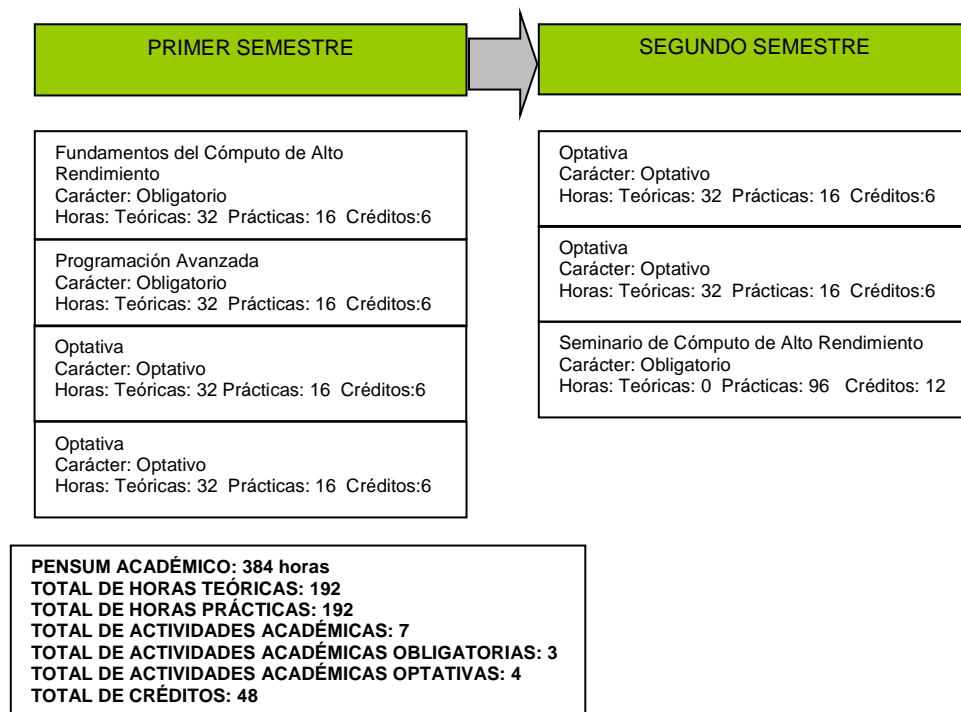
RESUMEN							
ACTIVIDADES ACADÉMICAS							
Obligatorias	Obligatorias de Elección	Optativas	Optativas de Elección	Teóricas	Prácticas	Teórico-Prácticas	TOTAL
3	0	4	0	0	1	6	7
CRÉDITOS							
Actividades Académicas Obligatorias	Actividades Académicas Obligatorias de Elección	Actividades Académicas Optativas	Actividades Académicas Optativas de Elección	Actividades Académicas Teóricas	Actividades Académicas Prácticas	Actividades Académicas Teórico-Prácticas	TOTAL
24	0	24	0	0	12	36	48
HORAS							
Teóricas				Prácticas		TOTAL	
192				192		384	

Actividades académicas optativas

CLAVE	DENOMINACIÓN	MODALIDAD	CARÁCTER	TIPO DE ACTIVIDAD		TOTAL DE HORAS POR SEMESTRE	CRÉDITOS
				HORAS/SEMANA			
				HORAS TEÓRICAS	HORAS PRÁCTICAS		
	Programación Concurrente y Distribuida	Curso	Optativo	2	1	48	6
	Sistemas Paralelos	Curso	Optativo	2	1	48	6
	Sistemas en Tiempo Real	Curso	Optativo	2	1	48	6
	Diseño de <i>Software</i> Paralelo	Curso	Optativo	2	1	48	6
	Métricas de Alto Desempeño	Curso	Optativo	2	1	48	6

CLAVE	DENOMINACIÓN	MODALIDAD	CARÁCTER	TIPO DE ACTIVIDAD		TOTAL DE HORAS POR SEMESTRE	CRÉDITOS
				HORAS/SEMANA			
				HORAS TEÓRICAS	HORAS PRÁCTICAS		
	Laboratorio de <i>Clusters y GRIDS</i>	Laboratorio	Optativo	2	1	48	6
	Supercómputo	Curso	Optativo	2	1	48	6
	Sistemas Distribuidos	Curso	Optativo	2	1	48	6
	Temas Selectos de Cómputo de Alto Rendimiento	Curso	Optativo	2	1	48	6
	Modelación Matemática y Computacional de Sistemas Continuos	Curso	Optativo	2	1	48	6
	Modelación Matemática y Computacional de Sistemas Terrestres	Curso	Optativo	2	1	48	6
	Computación Científica en Paralelo	Curso	Optativo	2	1	48	6

2.3.5 Mapa curricular



2.4 Requisitos

2.4.1 De ingreso

Los aspirantes a ingresar al plan de estudios de la Especialización en Cómputo de Alto Rendimiento, deberán obtener su carta de aceptación por parte del Comité Académico del Posgrado, para ello deberán presentar y cumplir con los siguientes requisitos, de acuerdo con lo estipulado en las Normas Operativas del Programa y en la convocatoria correspondiente:

1. Título, acta de examen o 100% de créditos de una licenciatura.
2. Contar con promedio igual o superior a 8.0 (ocho punto cero) en los estudios de licenciatura.
3. Presentar y, en su caso, aprobar los exámenes determinados por el Comité Académico.
4. Conocimientos del idioma inglés a nivel de traducción de textos técnicos.
5. Entrevista personalizada de acuerdo con el mecanismo establecido por el Comité Académico en la convocatoria correspondiente.
6. Entregar los documentos obligatorios de exigencia administrativa.
7. Otros requisitos y criterios académicos.

Adicional a lo anterior, y de acuerdo con lo estipulado en las Normas Operativas del Programa y en la convocatoria correspondiente, para el caso de aspirantes extranjeros o con estudios en el extranjero deberán contar con:

1. La equivalencia de promedio.
2. Para aspirantes cuya lengua materna sea diferente al español, deberán tener conocimientos de la lengua española.
3. Los aspirantes con estudios realizados en el extranjero, deberán presentar los documentos apostillados o legalizados, según corresponda.

Los aspirantes aceptados deberán formalizar su inscripción como alumnos del Programa siguiendo el procedimiento señalado en las normas operativas y en la convocatoria.

2.4.2 De permanencia

La permanencia de los alumnos en este plan de estudios está sujeta a lo dispuesto en los artículos 10, 11 y 17 del Reglamento General de Estudios de Posgrado, que a la letra dicen:

Artículo 10. Si el alumno se inscribe dos veces en una misma actividad académica sin acreditarla, causará baja del plan de estudios en que se encuentre inscrito. En ningún caso se concederán exámenes extraordinarios. El alumno que se vea afectado por esta disposición podrá solicitar al Comité Académico la reconsideración de su baja en los términos y plazos que señalen los Lineamientos Generales para el Funcionamiento del Posgrado.

Artículo 11. Los alumnos tienen derecho a:

- a) Suspender sus estudios hasta por un plazo máximo de dos semestres sin afectar su situación académica. La solicitud de suspensión deberá presentarse con anterioridad al inicio del semestre lectivo o a más tardar al término del primer mes del semestre. En casos debidamente justificados, el Comité Académico podrá autorizar la suspensión cuando la solicitud sea presentada fuera de los tiempos señalados, o bien podrá otorgar la suspensión por un plazo mayor. Se atenderán particularmente las especificidades de género, en especial los casos de embarazo de las alumnas;
- b) Solicitar su reincorporación al plan de estudios cuando suspendan los estudios sin autorización; el Comité Académico determinará la procedencia y los términos de la reincorporación. En este caso el tiempo total de inscripción efectiva no podrá exceder los límites establecidos en el plan de estudios;
- c) Solicitar autorización para realizar los exámenes o evaluaciones finales cuando por causas debidamente justificadas no hayan cumplido con este requisito. El Comité Académico estudiará el caso, y podrá establecer mecanismos alternos de evaluación, y
- d) Plantear por escrito al coordinador o Comité Académico solicitudes de aclaración respecto a decisiones académicas que les afecten y recibir la respuesta por el mismo medio en un plazo máximo de treinta días hábiles.

Artículo 17. Los requisitos de ingreso, permanencia y obtención del grado en los estudios de especialización se sujetarán a lo previsto en cada plan de estudios, el cual también definirá el otorgamiento de prórrogas, la duración de las mismas y las condiciones bajo las cuales éstas podrán ser concedidas.

Adicional a lo normativo para permanecer en la especialización el alumno deberá:

1. Entregar la documentación requerida para su reinscripción en los plazos establecidos.
2. Aprobar todas las actividades académicas correspondientes al semestre en el que se encuentra inscrito. En caso contrario el alumno requerirá autorización expresa por parte del Comité Académico para su reinscripción.
3. En el caso de no haber obtenido una evaluación favorable en alguna de las actividades académicas, el alumno podrá cursarla nuevamente por una sola vez.

2.4.3 De egreso

El alumno deberá haber cursado y aprobado el 100% de los créditos y el total de actividades académicas previstas en el plan de estudios, en los plazos establecidos por la normatividad correspondiente.

2.4.4 Para obtener el grado

Para obtener el grado, el alumno deberá cubrir los siguientes puntos:

1. Haber cubierto el 100% de los créditos, así como haber aprobado el total de actividades académicas establecidas en el plan de estudios.
2. Cumplir con los requisitos de permanencia y egreso previstos el plan de estudios.
3. Elegir y contar con la aprobación del Comité Académico para graduarse por alguna de las modalidades de graduación, así como seguir los procedimientos establecidos en las normas operativas y en el manual de operación respectivo:
 - a. Proyecto Final.
 - b. Examen General de Conocimientos.
4. Entregar los documentos obligatorios de exigencia administrativa y de los trámites respectivos, de acuerdo con lo señalado en las normas operativas y por la institución.

2.5 Certificado complementario

Este certificado complementario al grado lo expedirá la Coordinación de Estudios de Posgrado, a petición del alumno y deberá contener información relativa a:

- a) Datos generales sobre el graduado.
- b) Información general del grado que se otorga.
- c) Historia académica del graduado.

3. Implantación del Programa y de su plan de estudios

3.1 Condiciones para la implantación

El plan de estudios propuesto se efectuará en el semestre lectivo correspondiente, a partir de su aprobación por el Consejo Universitario. Las condiciones para la implantación del plan son muy favorables, ya que se cuenta con los recursos necesarios y con una planta

de tutores de alto nivel académico, conformada por profesores e investigadores de tiempo completo de las entidades participantes.

Las entidades académicas ponen a la disposición del Programa recursos humanos y materiales necesarios para el desarrollo del mismo. Además de los profesores e investigadores que fungen como tutores del Programa, las entidades participantes colaboran con personal de apoyo académico y administrativo; además, ponen a disposición del Programa, los laboratorios de docencia e investigación relacionados con el cómputo de alto rendimiento, así como los servicios de sus bibliotecas, salas de cómputo y aulas para impartir clases, mediante las bases de colaboración anexas a este documento, suscritas por los directores de las entidades participantes, en las que formalizan la infraestructura, los recursos humanos y los servicios que ponen a disposición del Programa y su plan de estudios.

La estructura académico-administrativa del Programa está encabezada por el Comité Académico, cuyas funciones se describen en las Normas Operativas del Programa y en la normatividad correspondiente.

Con base en estas consideraciones institucionales, para llevar a cabo la implantación del Programa de Especialización en Cómputo de Alto Rendimiento se llevarán a cabo las siguientes acciones:

- Una vez aprobado el proyecto se procederá a la formación del Comité Académico ampliado; es decir, se sumarán los representantes del Instituto de Geofísica, del Instituto de Astronomía, del Instituto de Física y de la Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación, quienes sólo participaran cuando se revisen asuntos de la especialización.
- Respecto a la superación de la planta de tutores y profesores, ésta obedece a los planes que tienen cada una de las entidades participantes. La manera en la que influye el Programa, es en el procedimiento de incorporación de nuevos tutores y profesores y en la revisión periódica de su desempeño, que sirve para dictaminar la permanencia de los mismos en el Programa.
- Con el afán de homologar la preparación previa de los aspirantes a esta especialización en materia de cómputo de alto rendimiento, se propone impartir un curso propedéutico con duración de 50 horas que no será vinculante con el ingreso, sólo será preparativo a la admisión.

3.2 Recursos humanos

El núcleo académico del Posgrado está formado por personal académico de tiempo completo. Actualmente, se cuenta con 68 tutores, de los cuales el 94% posee el grado de doctor, 62% son miembros del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) y el 36% de éstos con niveles II o superior. Particularmente, para la Especialización en Cómputo en Alto Rendimiento está formado por profesores e investigadores de tiempo completo. Se cuenta con 31 académicos, el 83.87% de éstos posee el grado de doctor, el 48.38% son miembros del SNI y el 40% son niveles II o superior. Las tablas siguientes, muestran el resumen de la planta académica para este plan de estudios, organizados por clase, tipo de contratación, categoría y nivel. También se muestran los niveles de estudios y estímulos:

PLANTA ACADÉMICA				
NOMBRAMIENTO	TIPO DE CONTRATACIÓN	CATEGORÍA	NIVEL	CANTIDAD
Profesor de Carrera o Investigador	Definitivo	Asociado	"C"	1
		Titular	"A"	9
			"B"	6
			"C"	3
	De Cátedra			1
Emérito			1	
Técnico Académico	Interino	Asociado	"C"	3
	Definitivo	Titular	"A"	4
			"B"	3
Total				31

NOMBRAMIENTO	NIVEL DE ESTUDIOS	TIPOS DE ESTÍMULOS	CANTIDAD
Profesor de carrera o Investigador	Doctorado	PRIDE: B, C, D SNI: I, II, III	21
Técnico Académico	Doctorado	PRIDE: B,C	5
	Maestría	PRIDE: C	3
	Licenciatura	PRIDE: C	2

3.3 Infraestructura y recursos materiales

Para la implantación de la Especialización en Cómputo de Alto Rendimiento, se cuenta con el equipamiento necesario en el Laboratorio de Sistemas Distribuidos del Posgrado en Ciencia e Ingeniería de la Computación, en el Taller de Sistemas Complejos, FC, en el Departamento de Ingeniería de Sistemas Computacionales y Automatización, IIMAS, en el Instituto de Geofísica, en el Instituto de Astronomía, en el Instituto de Física, así como los equipos de alto rendimiento de la DGTIC y de otras entidades académicas de la UNAM, que convengan en participar en el programa.

IIMAS

Biblioteca: Cuenta con alrededor de 30,800 volúmenes de libros, principalmente en matemáticas aplicadas, estadística, ciencia e ingeniería de la computación y sistemas sociales, así como 69,500 fascículos de revistas científicas especializadas, 689 tesis, entre otros, además de ofrecer acceso a más de 2,200 recursos digitales.

Descripción general del *cluster*: El número total de procesadores es 314, la cantidad de almacenamiento es de 16 TB y de memoria RAM es de 992 GB.

Posgrado en Ciencia e Ingeniería de la Computación

Características principales del *cluster*: El número total de procesadores es 140, la cantidad de almacenamiento es de 15 TB y de memoria RAM es de 448 GB.

Instituto de Física

Biblioteca: Cuenta con 20,300 volúmenes de libros, 193 títulos de revistas, 906 volúmenes de tesis, además de una biblioteca electrónica. Posee un laboratorio de Supercómputo.

Sus *clusters* principales, Ollin: Formado por 11 nodos, uno maestro y 10 esclavos, de los cuales 8 nodos son procesadores *Dual Core Intel Xeon* y 3 nodos con procesadores *Dual Core AMD Opteron*. Mingus: Formado por 5 nodos, un nodo maestro y esclavos, uno de ellos tiene un GPU de 512 *cores* y los nodos cuentan con arquitectura *x86_64*.

Instituto de Astronomía

Biblioteca: Cuenta con 11,352 títulos de libros y 14,593 ejemplares y 41 títulos de revistas, además de una biblioteca electrónica.

Su *cluster* principal, Atocatl: formado un total de 216 procesadores, 40mTB de almacenamiento y 312 GB de memoria RAM, además tiene un tarjeta GPU.

Instituto de Geofísica

Biblioteca: De manera general cuenta con un acervo impreso y electrónico de libros, revistas activas e históricas, mapas, tesis, obras de consulta, folletos (sólo impresos), sismogramas y mareogramas (sólo impresos).

Su *cluster* principal, Olintlali: integrado por un total de 108 procesadores, 10 TB de almacenamiento y 896 *cuda*cores.

Facultad de Ciencias

Biblioteca: Cuenta con un acervo impreso y electrónico de e libros, revistas y tesis, así como publicaciones del INEGI. La biblioteca permite accesos electrónicos a *CISnet* que contiene publicaciones del MIT en el área de computación; a *Springer link* que contiene las colecciones de Matemáticas, Cómputo y *Lecture Notes in Computer Science*. Además del servicio de biblioteca, la Facultad de Ciencias ofrece salones suficientes y áreas de estudio, *Google Apps* para la educación, que permite la comunicación eficiente entre los profesores y los alumnos, centro de cómputo e impresión con equipo *Windows* y *Linux* y una amplia gama de aplicaciones de *software*.

4. Evaluación del Programa, en específico para el plan de estudios de la Especialización en Cómputo de Alto Rendimiento

La evaluación del Programa y su plan de estudios considerará los siguientes aspectos, de conformidad con las Normas Operativas de este Programa, con el Reglamento General de Estudios de Posgrado y con los Lineamientos Generales para el Funcionamiento del Posgrado:

- a) Realizarse al menos cada cinco años;
- b) Será organizada por el Comité Académico del Programa, y
- c) Conducida por el Coordinador del Programa.

En términos generales, las evaluaciones deberán tomar en consideración los factores siguientes:

4.1 Condiciones nacionales e internacionales que incidan en el Programa y su plan de estudios

Entre los aspectos que se valorarán están:

Estado de desarrollo de los programas afines más prestigiados que se imparten en otros países, con el propósito de analizar sus características principales y compararlas con las del Programa. También se tomará en cuenta el estado de desarrollo del cómputo de alto rendimiento y de programas de estudios similares impartidos en México, en Instituciones de Educación Superior (IES) de reconocido prestigio.

Los efectos que tiene, en el Programa y en las prácticas profesionales de los alumnos y graduados, la emergencia de problemas que se presentan nacional e internacionalmente.

4.2 Análisis de la pertinencia del perfil de ingreso

Este análisis abordará cuestiones tales como:

- Relevancia de los conocimientos, habilidades, actitudes y valores que forman parte del perfil de ingreso.
- Evaluación de los mecanismos de selección de los aspirantes.

Indicador básico

- Análisis de la demanda de ingreso y tasa de aceptación durante los últimos cinco años.

4.3 Desarrollo del cómputo de alto rendimiento y la emergencia de nuevos conocimientos relacionados

Se analizarán los siguientes aspectos del cómputo de alto rendimiento:

- El estado actual y posibles desarrollos futuros del cómputo de alto rendimiento en las entidades participantes, la Universidad, en los sectores productivo y de servicio del país y del extranjero.
- Los efectos de las nuevas tecnologías en la generación de conocimientos en el cómputo de alto rendimiento.

Indicadores básicos

- Número de alumnos registrados durante los últimos cinco años.
- Número de tutores durante los últimos cinco años.
- Productividad académica de tutores y alumnos.
- Análisis de las reuniones de trabajo académico (por ejemplo: coloquios, seminarios, talleres, congresos) que se realicen cada año.

4.4 Evaluación de los fundamentos teóricos y orientación del Programa y de su plan de estudios

La evaluación de estos aspectos considerará:

- Los fines y orientación educativa del plan. Se promoverá la adopción de las técnicas educativas más avanzadas.
- Las necesidades sociales, económicas, políticas y culturales, presentes y futuras, previsibles a las que responde o deberá responder el Programa.
- Los rasgos que distinguen al Programa, en comparación con programas similares que se imparten en IES reconocidas del país y del extranjero.
- Las características comunes que comparte la estructura, organización y duración del plan de estudios con otros que se ofrecen nacional e internacionalmente. Se promoverá la colaboración con programas afines.
- El impacto que tienen en el Programa las características y demandas de la práctica profesional en términos regionales, nacionales e internacionales.
- Los efectos que tienen en el Programa los procesos de acreditación y certificación regionales, nacionales e internacionales.
- Los procesos de movilidad estudiantil y académica que posee el Programa en los niveles nacional, regional e internacional.
- La relevancia de los productos académicos de tutores y alumnos considerando la relación interdisciplinaria relacionada al seminario obligatorio de investigación.
- La relevancia de las actividades académicas de movilidad que realizan los alumnos, considerando la relación interdisciplinaria relacionada al seminario obligatorio de investigación.

4.5 Análisis de las características del perfil del graduado

El estudio de estas características permitirá obtener conclusiones sobre:

- Correspondencia entre los perfiles de egreso y de graduado, así como la estructura ocupacional.

Indicador básico

- Número y porcentaje de graduados por año en los últimos cinco años.

4.6 Ubicación de los graduados en el mercado laboral

El análisis de la situación laboral de los graduados requerirá conocer:

- El devenir histórico, estado actual y tendencias de desarrollo futuro de la práctica profesional de los graduados en los niveles regional, nacional e internacional.
- Las demandas sociales a las que ha respondido la formación de posgrado y las que se pueden prever en el futuro.

Indicadores básicos

- Número de graduados por año en los últimos cinco años.
- Número de graduados por generación en los últimos cinco años.
- Número y porcentaje de graduados, durante los últimos cinco años, por sector donde desarrollan su actividad laboral.

4.7 Congruencia de los componentes del plan de estudios

La evaluación de los componentes de los planes de estudio tendrá que considerar, entre otros:

- Los ejes articuladores de las actividades académicas que subyacen a la organización del plan.
- La relación entre la organización del Programa, sus objetivos generales y sus perfiles educativos.
- Los grados de flexibilidad de la organización del Programa y mecanismos de movilidad estudiantil.

4.8 Valoración de la programación y operación de las actividades académicas

Este ejercicio permitirá obtener información sobre la eficacia de la organización en el funcionamiento adecuado de las actividades de docencia e investigación que debe alcanzar la gestión del plan de estudios.

Indicador básico

- Documentación de sugerencias y quejas de alumnos y tutores realizadas durante los últimos cinco años.

4.9 Ponderación de las experiencias obtenidas durante la implantación

La exploración de estos aspectos de los planes de estudio arrojará elementos para ajustar lo que se requiera en el contenido de los mismos.

Indicadores básicos

- Eficiencia terminal por cohorte generacional.
- Grado de avance del trabajo de graduación a lo largo de los últimos semestres.
- Demanda de nuestros egresados en los sectores académico y profesional.
- Seguimiento de los egresados y correlación con las formas de graduación elegidas.
- Grado de interdisciplina de los trabajos de graduación.
- Participación de alumnos en eventos académicos.

4.10 Mecanismos y actividades que se instrumentarán para la actualización permanente de la planta académica

En este rubro se evaluarán los siguientes aspectos:

- Los criterios para determinar si las actividades de superación y actualización de la planta académica responden a los objetivos del Programa.
- Los efectos de las actividades de investigación de los académicos en el proceso educativo y en el diseño y la actualización del Programa.
- Los efectos de los mecanismos de actualización de la UNAM, tales como el Programa de Superación Académica (PASPA), los programas de estancias sabáticas y su incorporación a la planta académica de carrera (PROFIP). Así como los efectos de programas similares del CONACYT, los programas de intercambio académico y movilidad internacional, las estancias sabáticas para la realización de estudios e investigación para profesores e investigadores de carrera, y las contrataciones directas de jóvenes doctorados.

Indicadores básicos

- Número y relevancia de los productos académicos de tutores y alumnos durante los últimos cinco años.
- Organización y participación de tutores, y alumnos, en reuniones de trabajo académico, periódicas y sostenidas al menos durante un año.