

Conocimientos Fundamentales para la Enseñanza Media Superior

Una propuesta de
la UNAM para su
bachillerato



Universidad Nacional Autónoma de México

Secretaría General

Secretaría de Desarrollo Institucional

Consejo Académico del Bachillerato

Escuela Nacional Preparatoria

Colegio de Ciencias y Humanidades

Conocimientos fundamentales de computación

Dr. Sergio Rajsbaum
(coordinador)

Dr. Ernesto Bribiesca
Dr. José Galaviz Casas
Lic. Francisco Solsona

Presentación

Es cada vez más evidente en el mundo moderno la ubicuidad de los dispositivos de cómputo. Nos encontramos rodeados de diversos sistemas sin cuya asistencia nuestras actividades cotidianas son ya impensables y que abarcan casi todos los ámbitos de nuestra vida. Nuestros medios de transporte y de comunicación son controlados haciendo uso de tales sistemas y dispositivos; la exploración de otros planetas o de regiones remotas del nuestro la llevan a cabo robots; sistemas que involucran satélites y sensores predicen el clima cada vez con mayor exactitud; la investigación científica, la operación de nuestros sistemas financieros y nuestras transacciones comerciales son inconcebibles sin el uso de computadoras; el acceso a bibliotecas digitales y acervos de información diversos se simplifica y extiende constantemente, y es creciente el número de actividades que día con día se incorporan a esta lista que ya se antoja interminable. Ya no es ciencia ficción que cirujanos realicen operaciones quirúrgicas a distancia o imprimir objetos tridimensionales en nuestro hogar.

La omnipresencia de los sistemas de cómputo en el mundo moderno hace indispensable que se eduque a nuestros niños y jóvenes de tal forma que sean capaces de adaptarse al entorno tecnológico que los rodea. No sólo en el sentido evidente de ser capaces de operar e interactuar con la tecnología —algo que por sí mismos logran sin mucha ayuda de los adultos— sino también en el de comprender los principios fundamentales y las ideas detrás de aquélla. Es ésta una labor que va mucho más allá de enseñar al estudiante a operar con diversas plataformas y programas de cómputo. Es comparable a la labor realizada en otras áreas científicas y de humanidades: mostrarle al estudiante el mundo a la luz de los principios fundamentales de una disciplina.

Estado actual de la disciplina

La naturaleza del conocimiento de la computación

Los ejemplos que incluimos en la presentación hablan no de una computadora, sino de sistemas complejos que incluyen redes de diversos dispositivos de cómputo, almacenamiento, comunicación, sensores y otros, donde no solamente se almacena, organiza y procesa información, sino que a través de dispositivos de entrada se obtiene información del medio ambiente, ya sea humana (voz, música, imágenes, textos) o de la naturaleza (temperatura, humedad, movimiento, etc.), y se produce información que puede ser de diferentes tipos o que controla robots y otras máquinas. Claramente, los mismos seres humanos forman parte de estos sistemas complejos. Podemos pensar en un partido de ajedrez entre una computadora y un ser humano, o en un sistema de compras en internet en el cual las recomendaciones y patrones de uso de seres humanos son integradas al sistema y la mercancía se entrega usando robots.

Enfatizamos que el cómputo existe y ha existido sin computadoras, en tanto que se procesa información en la naturaleza y desde luego en la imaginación del ser humano, el procesador (y sistema de almacenamiento) de información por excelencia. Volviendo al sistema que consiste en una computadora jugando ajedrez con un ser humano, es claro que ambos interactúan a través de un tablero, de manera simétrica, y haciendo el mismo procesamiento de información: decidir un movimiento de una ficha a partir de la configuración actual del tablero, con el mismo objetivo. Usamos la palabra “cómputo” en este muy amplio sentido y nos referimos al computólogo como una persona que estudia el cómputo, ya sea natural, artificial o imaginario, en este mismo sentido. Evitamos así confusiones que surgen de los diversos términos que se usan en distintos contextos, épocas y países de diferentes maneras, en ocasiones para destacar aspectos particulares de lo que llamamos cómputo; algunos de tales términos son: tecnologías de la información, informática, ciencias de la computación, cibernética, sistemas, ingeniería de computación, redes e internet, entre otros.

Al igual que en otras disciplinas, el objetivo final es llegar a un mejor entendimiento de nosotros mismos y de nuestro entorno por medio de una perspectiva particular. Sólo que, en el caso de la computación, se trata de un mundo que nos involucra de una manera especialmente cercana: ¡es un mundo del cual nuestras mentes forman parte! De una manera u otra, nuestros procesos mentales, la forma en que almacenamos recuerdos y los utilizamos mediante asociaciones y otras búsquedas, resolvemos problemas, entendemos lo que otra persona nos dice,

escribimos y leemos, jugamos ajedrez, son todos procesos de cómputo, en el sentido amplio de la palabra al que antes nos referimos.

Insistimos una vez más. La computación *no* es el estudio de las computadoras, de la misma manera que la medicina no se dedica a estudiar bisturís, ni la astronomía al pulido de cristales para telescopios; en clases de física no se enseña carpintería ni a armar un radio. En computación no necesariamente están involucradas las computadoras de manera directa. De hecho, muchos de los conocimientos de cómputo tendrían relevancia aun cuando no existieran las computadoras; el ajedrez es el ejemplo clásico.

Por otro lado, estos conceptos nos permiten entender los principios subyacentes a las tecnologías de cómputo que nos rodean, independientemente de marcas, modelos y plataformas particulares. La comprensión de los conceptos fundamentales permitirá aprovechar las *tecnologías de la información* con mayor eficacia y responsabilidad, entender sus limitaciones y poseer los conocimientos indispensables para poder abordar nuevos desarrollos tecnológicos.

Es claro entonces que la computación tiene su lado de ciencia y su lado de ingeniería. Pretende entender y explicar el mundo que nos rodea, por un lado, y por otro, contribuye a que los conocimientos adquiridos deriven en la construcción de mecanismos útiles que lleven a la expansión de las capacidades del ser humano. En este sentido se asemeja a la física, en tanto que es una disciplina teórico-experimental en constante cambio y crecimiento; es decir, sus teorías y modelos para comprender, explicar y predecir los fenómenos computacionales se van revisando conforme aparecen nuevas tecnologías y contribuyen a la creación de éstas, que, además, deben explicar el comportamiento de los sistemas de cómputo que componen el mundo circundante y pueden ser verificados experimentalmente: el laboratorio es la computadora misma. Al igual que en otras disciplinas, se utilizan múltiples niveles de abstracción, que van desde el cotidiano hasta el abstracto de las matemáticas, pasando por programas que corren en sistemas de cómputo concretos.

El empleo de las matemáticas en la computación es fundamental; en cierto sentido, la computación es matemática puesta en marcha mediante máquinas que manipulan símbolos, máquinas de lógica. La primera computadora fue inventada en 1936 por un matemático, Alan Turing, años antes de ser construida físicamente. Desde el siglo XIX, Ada Lovelace anticipó en sus observaciones acerca de la máquina analítica de Babbage: "Al permitir a un mecanismo combinar símbolos *generales*, en sucesiones de variedad y extensión ilimitada, una liga única queda establecida entre operaciones de la materia y procesos mentales de la rama *más abstracta* de las ciencias matemáticas". Todo cómputo se puede entender como transformaciones de *bits*; como bien dice Nicholas Negroponte en *Being Digital*, "un *bit* no tiene color, tamaño, o peso, y puede viajar a la velocidad de la luz. Es el elemento más pequeño en el ADN de la información. Es un estado de ser: prendido o apagado, verdadero o falso, arriba o abajo, adentro o afuera, blanco o negro. El significado del uno o el cero es un asunto independiente".

Los grandes temas y enfoques

Nunca deja uno de maravillarse de que toda la amplia variedad de cosas almacenadas en una computadora —como pueden ser una canción, una fotografía, una película, un programa para jugar ajedrez, un diccionario de español, correos electrónicos, dibujos y programas para hacerlos, listas de clientes, la contabilidad de una empresa, y tantas otras cosas— no son más que secuencias de ceros y unos, llamados *bits*. Más aun, por supuesto que no hay ceros y unos dentro de una computadora. ¿Qué cosa es un cero y un uno, que podría estar adentro de algo? No es un circulito y un palito; éstos son sólo los símbolos que usamos para representar cada uno de los dos estados en los que puede estar un *bit*. Además, de alguna manera, dentro de nuestro cerebro también tenemos todas esas cosas: poemas, canciones, reglas de multiplicación, y todo lo demás; es decir, todos esos datos están representados de alguna manera en la computadora y en nuestro cerebro. La computación estudia cómo se pueden representar diversos tipos de datos, y cómo hacerlo de manera *eficiente*. Pero también es importante hacerlo de manera *robusta*, ya que no queremos que si hay una pequeña falla, un error en un solo cambio de cero a uno en un *bit*, se cambie el significado del dato. A veces deseamos representar datos de manera *segura*; que nadie, excepto las personas designadas para ello, los puedan ver.

Eficiencia, tolerancia a fallas, seguridad, son grandes temas de la computación. Pero si la materia prima del cómputo son secuencias de ceros y unos, ¿cómo representar conocimiento, cómo asociar significado a los *bits*? T. S. Eliot se pregunta en su famoso poema: “¿Dónde está la sabiduría que hemos perdido en conocimiento? ¿Dónde el conocimiento que hemos perdido en información?”. En computación estudiamos maneras de estructurar los datos de muy diversas formas, para su manipulación eficiente, y para representar distintos niveles de *abstracción*. Las tablas nos sirven para representar relaciones entre distintos datos. Cada columna o cada fila de una tabla se relaciona con las otras de alguna manera. Lo realmente importante en una hoja de cálculo es que, más allá de los datos concretos individuales que aparecen en cada celda, nos permite representar algo más abstracto: una relación, un vínculo entre ellos. Manipular la hoja de cálculo y aplicar operaciones sobre su contenido permite transformar los datos en información útil que, a pesar de haber estado siempre allí en estado latente, sólo puede extraerse explotando la relación que existe entre los datos. En una base de datos de control escolar de una institución educativa, por ejemplo, podría existir una tabla en la que estén contenidos los datos personales de los alumnos: nombre, número de identificación, dirección, número telefónico, asignaturas en las que está inscrito, etc., y otra para las asignaturas mismas: nombre de la materia, clave, nombre del profesor y lista de alumnos inscritos. Ambas tablas están, por supuesto vinculadas: a través de la primera se hace referencia a la segunda y viceversa. Una base de datos permite establecer varios niveles de relación y por tanto se potencia la capacidad de extraer información útil de ella, con respecto a una simple hoja de cálculo.

Probablemente hoy más que nunca es evidente el poder que se puede obtener mediante representaciones adecuadas de datos. Internet existía mucho antes de que se inventara la

web, esa telaraña mundial donde se está integrando poco a poco todo el conocimiento de la humanidad, de manera incremental, descentralizada, dinámica y sin autoridades. Su increíble magnitud actual y vertiginoso crecimiento, la versatilidad de sus aplicaciones y el volumen de información que contiene sólo pueden explicarse con base en las relaciones entre los datos que el *web* permite; esto representa un cambio esencial debido a la forma en que éstos se han vuelto fácilmente accesibles y modificables para un público mundial.

La *web* nos ilustra claramente grandes temas de la computación que se requieren para lograr construir la tecnología más grande, dinámica, compleja e interactiva que el ser humano jamás haya soñado. Parte de microprocesadores con millones de componentes, pasando por redes de comunicación, y una serie de capas de diseño que permiten mantener esta complejidad manejable. Es así como el entendimiento de los *sistemas distribuidos* es un tema fundamental, las herramientas de abstracción que permiten *diseñar sistemas complejos* por capas, los protocolos de comunicación y, en general, *algoritmos* para resolver problemas específicos, las técnicas de diseño y análisis de soluciones, los *lenguajes* que se requieren para describir y analizar estas soluciones, así como para permitir que diversos subsistemas se intercomuniquen, son todos grandes temas de la computación.

Avances, problemas y trascendencia social

Es claro, según lo antes expresado, que los avances en las tecnologías de la computación son enormes. El ejemplo de la *web* es sólo uno, entre muchos; otro es el de los sistemas que permiten a usuarios no especializados, distribuidos en todo el mundo, y que ni siquiera se conocen, compartir canciones, películas, programas mediante los llamados mecanismos P2P; uno más es el de la red de mensajes SMS, por medio de la cual de un teléfono celular a otro se pueden enviar mensajes de texto, y además, interactuar de manera automática con servicios como obtener tarifas, el estado del tiempo, o enviar una cadena de búsqueda a un servidor como Google y obtener la respuesta. Para convencerse de que la trascendencia social de estos y otros ejemplos representa una gran revolución —de las dimensiones de la Revolución Industrial— no hace falta más que observar los mecanismos de comunicación social de los jóvenes, la transformación de la industria disquera y las polémicas de derechos de autor de canciones, el comercio en línea a través de internet, o los cambios en las democracias modernas en los que la comunicación es casi instantánea y generalizada a través de diversos medios, como el *e-mail*, las páginas *web*, los foros de discusión, etcétera.

La disciplina de la computación, con sus fundamentos teóricos, sus herramientas de análisis y diseño, ha permitido construir los enormes y complejos sistemas mencionados. El uso de las matemáticas es cada vez más sofisticado. Pero la diversidad de conocimientos necesarios para entender estas tecnologías y cómo nos afectan en nuestras vidas es cada vez más intimidante. Los sistemas toman una vida propia al crecer a velocidades vertiginosas e integrarse unos con

otros a la vez que con las actividades diarias de las personas. Hoy en día es usual que los grandes aviones comerciales vuelen todo su recorrido, inclusive el aterrizaje, de manera automática, con computadoras como pilotos. Investigadores en computación están en una carrera desesperada por llevar el *estado del arte* de los fundamentos teóricos de la disciplina a permitir que los sistemas sean seguros, eficientes y escalables; a poder estudiarlos, entenderlos.

Las preguntas fundamentales que siguen sin respuesta son muchas. No sabemos qué funciones se pueden computar eficientemente; creemos que hay problemas que son más fáciles de verificar que de resolver; creemos que existen sistemas criptográficos que son seguros pero no sabemos cómo demostrarlo. Las preguntas teóricas más importantes de la computación son consideradas por los matemáticos entre las más importantes de las matemáticas mismas.

Importancia de la disciplina en el bachillerato

Articulación de los contenidos con otras disciplinas

Hoy en día es de vital importancia enseñar la computación de manera que concuerde en método, naturaleza y objetivos con la mayoría de las otras disciplinas científicas. La búsqueda de la verdad y la belleza es la esencia de la civilización. Desde el Renacimiento, la búsqueda de la verdad se realiza a través de la ciencia. La tecnología es un subproducto de ésta, que evoluciona, principalmente, gracias a científicos aplicados e ingenieros que utilizan su conocimiento y su creatividad para el desarrollo de aplicaciones específicas. La educación de ingenieros y otros profesionistas no se reduce a la adquisición de información. Lo más importante es el desarrollo de habilidades de análisis, de abstracción, conceptualización y resolución de problemas.

En un mundo en el que cada quien tiene una tarjeta que incorpora sofisticados protocolos criptográficos, donde nuestras operaciones comerciales, patrones de movimiento y acceso a la información son fácilmente monitorizados, tenemos que entender acerca de cuestiones complejas de seguridad y privacidad, de la naturaleza de la información y los datos, de la posibilidad de errores en sistemas que usamos y que procesan y manipulan todos los datos de la cotidianidad. Un mundo en el que el éxito de una empresa puede depender de su portal *web*, en el cual un adolescente se pregunta acerca de la naturaleza de la *identidad* al ver que puede “crear” distintas personalidades en el mundo virtual del internet, en el cual una abuelita se cuestiona acerca de lo que es la *información* al notar que cuando envía una hoja de papel por fax, la hoja se queda en sus manos. La computación es imprescindible al permitirnos tener bibliotecas enormes a nuestra disposición a través de internet, programas para publicar documentos, presentaciones y hojas de cálculo, por mencionar algunos ejemplos.

La computación encaja perfectamente en lo que llamamos disciplinas científicas. De hecho, es la reina de la interdisciplina, ya que el procesamiento de información está presente en todas las ciencias. Son de especial cercanía las matemáticas, como ya se ha explicado antes, aunque se relaciona también con la física, en tanto que las computadoras y redes se construyen mediante dispositivos electromecánicos, pero también en otros rubros, como el de los sistemas complejos. Se ha descubierto la naturaleza computacional de la biología, con los códigos genéticos y los demás procesos celulares y metabólicos. De hecho, han nacido nuevas disciplinas llamadas biología computacional, geometría computacional, física computacional, y otras, que se han combinado con la computación como redes sociales y biológicas. En economía y teoría de juegos la interacción con la computación es cada vez más estrecha. Entre las interacciones más interesan-

tes y estimulantes están las que ocurren con las artes, en las que hoy, mediante la relación con la computación, tenemos nuevas maneras de hacer música, pintura, cine y literatura. Sin embargo, reiteramos que no nos referimos aquí a la computación como una herramienta para otras ciencias, sino a la interacción *conceptual* de la computación con otras disciplinas.

La perspectiva del computólogo ha hecho que las otras disciplinas se vean a sí mismas bajo una nueva luz. Pensemos, por ejemplo, en el uso de sofisticadas herramientas de cómputo combinadas con habilidades conceptuales de computación, que en literatura permiten al artista encontrar un nuevo universo para expresarse por medio de novelas no lineales, interactivas y dinámicas usando hipertexto y multimedia.

Recomendaciones para la enseñanza de la computación

La enseñanza de la computación tiene varias peculiaridades con respecto a otras disciplinas. En primer lugar, es la más nueva de todas, y estamos inmersos en una revolución que no alcanzamos aún a entender. Los profesores no sabemos qué hacer con las tareas que les dejamos a nuestros estudiantes de manera que internet no sea un estorbo, un mecanismo para copiar las ideas, sino todo lo contrario, una maravillosa herramienta de trabajo para el alumno. Internet es sólo uno de los productos de la computación que son útiles en todas las disciplinas y un ejemplo de los enormes retos que estas nuevas tecnologías implican para la enseñanza. ¿Qué hacer con las calculadoras, con los programas para corregir ortografía, con los diccionarios en línea, con los programas para dibujar por computadora, para que sean un beneficio y no un obstáculo para la enseñanza? Es de fundamental importancia que el alumno domine el uso de las herramientas computacionales, pero las clases de computación *no* son el lugar para enseñar a usar estas herramientas; lo son en cambio los laboratorios de computación, al igual que existen laboratorios y prácticas asociados a otras materias en las que se utilizan las herramientas. La enseñanza de los paquetes de *software* no debe suplantar la enseñanza de la disciplina de la computación.

Otra peculiaridad de esta disciplina es que el estudiante se familiariza con el uso de computadoras, dispositivos de cómputo, juegos y navegación en internet, herramientas de comunicación, entre otros, desde muy pequeño. Un niño hoy en día crece inmerso en un mundo tecnológico que se refleja incluso en su vocabulario. Los juegos electrónicos logran sofisticadas interacciones y elevan el nivel de abstracción en jóvenes de todas edades. No es raro que un estudiante tenga más experiencia que el profesor en algún tema computacional. Esto implica una gran motivación en los jóvenes para el manejo de las tecnologías computacionales, lo que debe facilitar el desarrollo de las habilidades fundamentales que ya hemos mencionado, como la abstracción, la solución de problemas, la eficiencia, la tolerancia a fallas, etc. La enseñanza de la computación debe capitalizar esta motivación y práctica natural de los estudiantes.

La atención que hoy en día se dirige a la educación relacionada con el cómputo es mucho más fuerte que en el caso de ninguna otra disciplina. Cualquier jardín de niños para preescolares

se precia de ofrecer clases de computación, al igual que lo hacen escuelas de todos los niveles. Imaginémosnos cuán enorme sería la oportunidad para los químicos, por ejemplo, si cualquier jardín de niños se enorgulleciera de sus clases y laboratorios de química. Ésta es, por tanto, una gran oportunidad para elevar la computación al nivel de cualquier otra disciplina científica.

Al igual que en otras disciplinas, un objetivo central es promover un proceso intelectual por el cual se vaya desarrollando la capacidad de comprensión, análisis y crítica en los estudiantes. La computación tiene una función formativa importante que por su naturaleza interdisciplinaria se asocia de manera natural con las demás disciplinas que se cubren en el bachillerato. La enseñanza básica de la computación debe ser universal para los estudiantes de dicho nivel y, en el caso de los estudiantes que en su último año opten por el área de físico-matemáticas, es necesario adoptar una estrategia de enseñanza de la computación un poco más formal y rigurosa.

Estamos convencidos de que México requiere de más profesionistas en las áreas relacionadas con la computación y, por lo tanto, la enseñanza de la computación en el bachillerato debe motivar a los estudiantes, permitirles apreciar la belleza de la disciplina y mostrarles que su alcance y utilidad van más allá del uso de procesadores de palabras y hojas de cálculo.

Consideramos que los temas propuestos se deben plantear al alumnado a través de situaciones cotidianas que partan de la realidad e inquietudes que están viviendo. En computación hay multitud de ejemplos que se pueden obtener de periódicos, cine y literatura. Proponemos escuchar las noticias en la radio con una perspectiva de computación, ayudar al alumno a entender la problemática del conteo de votos en una elección nacional, los problemas de congestión de tráfico en una gran ciudad, el crecimiento poblacional, o un videojuego electrónico, ya que todos estos ejemplos tienen aspectos fundamentales de computación en sus comportamientos, posibilidades y limitaciones.

El enfoque debe ser teórico y práctico. Por un lado, se deben enseñar los principios subyacentes a los procesos computacionales y, por otro, realizar ejercicios de distintos tipos que incluyan actividades de programación, juegos, análisis de problemas y soluciones, debates, etc. En resumen, se debe privilegiar la enseñanza activa y usar tanto técnicas motrices como abstractas para adecuarse a las necesidades de los alumnos. Por ejemplo, se pueden diseñar diversas actividades alrededor de acertijos como las torres de Hanoi, el cubo de Rubik, coloración de mapas, etc. Tomar un juego de moda, digamos el Sudoku, y analizarlo desde el punto de vista computacional, acompañado de actividades relacionadas. Retar al alumno a diseñar códigos secretos para comunicarse con sus amigos, o laberintos muy difíciles de resolver; observar en una esquina de la calle los movimientos de vendedores ambulantes para identificar los algoritmos que utilizan para maximizar sus ganancias; estudiar los sistemas de filas que se usan en un banco y reflexionar acerca de los tiempos de servicio; considerar los requerimientos de tolerancia a fallas de sistemas de envío de mensajes de texto en celulares o correo electrónico y realizar experimentos; diseñar un sistema de votaciones en el bachillerato; motivar a los alumnos a pensar en lo que significa que alguno de estos problemas sea *difícil* de resolver, o exactamente qué quiere decir *resolverlos*, así como qué se espera de la *eficiencia* y *tolerancia a fallas* de una solución. Estas nociones fundamentales de computación son útiles para cualquier persona; la preparan para

resolver problemas con o sin computadoras de por medio. Estas técnicas van en concordancia con la etapa concreto-operacional, discutida por Jean Piaget, en la cual el estudiante necesita manipular material didáctico para lograr obtener aprendizaje; por tanto, su acercamiento a la computación debe ser más empírico que formal.

En resumen, la enseñanza de la computación en el bachillerato debe girar en torno a los siguientes propósitos generales:

- que el alumno esté informado sobre los grandes campos temáticos de la computación, desde el pensamiento algorítmico y la solución de problemas hasta las herramientas de abstracción, lógica y análisis de situaciones complejas, y desarrolle las habilidades respectivas;
- que el alumno adquiera una perspectiva computacional del mundo y que aprecie que ésta es una parte esencial de la cultura de todo individuo; que los grandes campos temáticos son relevantes a su vida cotidiana y a todo el funcionamiento de la sociedad y la naturaleza;
- que perciba la relevancia que tiene la computación en el desarrollo cultural, económico científico y tecnológico del país; por diversos medios se insiste en que el futuro de los países es la información y el conocimiento, y la globalización es cada vez más intensa;
- que domine de manera adecuada diversas herramientas computacionales, ello aunado a un conocimiento de sus principios de funcionamiento, de modo que pueda plantearse y resolver problemas prácticos en el hogar, en el trabajo y en otros aspectos de su vida cotidiana, y
- que sea capaz de tomar decisiones informadas acerca de las aplicaciones sociales de la ciencia, la tecnología y, en general, de las diferentes propuestas de política que con ellas se relaciona.

Se enfatiza que el objetivo *no* es crear computólogos desde el bachillerato, ni dirigirse solamente a alumnos interesados en áreas físico-matemáticas. Solamente en el último año del nivel, para los estudiantes que se preparan para su ingreso a carreras científicas, la enseñanza de la computación hace un uso más intenso de matemáticas, en especial de combinatoria y lógica, y se insiste además con mayor ahínco en programación y en la solución y análisis de problemas de un nivel de complicación y abstracción superior.

La computación en la formación académica, cívica y profesional del alumno

Un entendimiento profundo de la computación como una disciplina es fundamental en la formación de los estudiantes, hoy en día, en un mundo globalizado donde el futuro de una nación depende del uso y aprovechamiento de la información y el conocimiento, las actividades cotidianas de todos están inmersas ya en procesos con un fuerte componente computacional, ya sea que se trate de actividades artísticas, recreativas, comerciales, políticas o simplemente sociales y de la vida cotidiana. En la actualidad es imprescindible para cualquier profesionista un dominio del uso de las tecnologías de computación que incluya un entendimiento de los principios subyacentes a su funcionamiento, así como sus capacidades y limitaciones. La computación debe contribuir a formar estudiantes como ciudadanos y a incorporarlos a la vida productiva, y para esto debe tener las siguientes características:

- debe ser formativa y propiciar el desarrollo y ejercicio de habilidades de abstracción, solución eficiente de problemas y razonamiento algorítmico que sean de utilidad en otras disciplinas, e incluso más allá del ámbito académico; es decir, en el ejercicio de su ciudadanía;
- debe mostrar el valor de la búsqueda de la verdad y el conocimiento a través de la curiosidad y creatividad fomentada por el pensamiento científico;
- debe ser incluyente y explicar el papel de la computación en los procesos artísticos, biológicos, físicos, sociales, mentales y económicos desde distintas perspectivas, como son la eficiencia, la tolerancia a fallas, la comunicación y abstracción;
- debe ayudar a que el alumno sea capaz de emitir juicios bien fundamentados e informados en relación con tecnologías de la información y situaciones donde aspectos computacionales tengan un papel relevante.

Conocimientos fundamentales de la disciplina

Temas centrales

Los conocimientos fundamentales de la computación abarcan una variedad de aspectos que están íntimamente relacionados entre sí. Ideas de un tema son utilizadas para construir soluciones en otro; las matemáticas discretas, en particular la combinatoria y la lógica, son utilizadas en todos; el estilo de pensamiento y técnicas de análisis y solución de problemas son similares. Los temas centrales de computación que proponemos se aborden en el bachillerato son los siguientes.

- La disciplina de la computación.
- Pensamiento algorítmico.
- Programación.
- Información.
- Abstracción.
- Computadoras.
- Sistemas distribuidos.
- Multimedia.
- Aplicaciones.

Habilidades

El aprendizaje de la computación se basa en el razonamiento abstracto y, al igual que las matemáticas básicas, contribuye al desarrollo de capacidades para analizar problemas y traducirlos a lenguajes precisos, en nuestro caso a instrucciones para un sistema de cómputo o a un lenguaje de programación. En general, el estudiante de computación desarrollará su curiosidad, intuición y creatividad, habilidades que con la enseñanza y práctica adecuadas lo llevarán a nuevos descubrimientos y que le serán de utilidad en todos los aspectos de su vida.

Por otro lado, el estudiante de computación adquirirá un entendimiento con cierta profundidad de los principios de la disciplina y de lo que hay detrás de las tecnologías computacionales, de cómo funcionan, lo cual se traducirá en una mejor utilización de éstas. Las habilidades para el manejo de las tecnologías se potenciarán; es decir, en talleres de cómputo del bachillerato y de niveles anteriores a éste el estudiante aprenderá a usar la computadora, paquetes básicos de

software, y programas de internet y *web*. La comprensión profunda de estas tecnologías permitirá manejar las herramientas de manera mucho más eficaz, informada y responsable.

Formulación de aprendizajes

Con anterioridad se plantearon nueve temas de computación que se considera deben ser abordados en el bachillerato. De estos temas, a continuación se destacan los que se consideran los aprendizajes esenciales en este nivel educativo.

La disciplina de la computación

- Reconocer la importancia de la computación;
- conocer a la computación en el contexto histórico de otras disciplinas;
- comprender qué es un problema, cómo se especifica con precisión, por qué es importante hacer esto, qué significa resolver un problema y cómo se evalúa la calidad de una solución;
- conocer las posibilidades y limitaciones del cómputo en cuanto a resolver problemas. Reflexionar y discutir la existencia de problemas tan difíciles que no existe manera de resolverlos en tiempo polinomial mediante una computadora; conocer la existencia de problemas NP, para los que no se sabe si existen algoritmos polinomiales, y de problemas para los que no existe ningún algoritmo, que son imposibles de resolver y que, por desgracia, son la mayoría.

Pensamiento algorítmico

- Desarrollar habilidades para resolver problemas algorítmicamente;
- reconocer y valorar la algorítmica como el núcleo central de la computación y de relevancia para la mayor parte de las ciencias, los negocios y la tecnología;
- conocer y aplicar los algoritmos como herramienta de propósito general para la solución de problemas; comprender que al formalizar algo como un algoritmo, se llega a un entendimiento más profundo del problema;
- conocer y aplicar los elementos básicos para el análisis y diseño de algoritmos a través de problemas familiares para el estudiante;
- conocer algunos paradigmas de diseño que son mecanismos generales de solución de problemas, como “divide y vencerás” y la recursividad, útiles en muchas disciplinas del conocimiento humano, y

- aprender a evaluar el costo de una solución en términos de la cantidad de recursos (tiempo, espacio, etc.) utilizados; conocer la noción fundamental de *orden de crecimiento*, destacando la importancia de analizar cómo crece el tiempo requerido para encontrar una solución como función del tamaño de la entrada; comprender el significado preciso de crecimiento exponencial y de crecimiento polinomial, como contraparte al exponencial; comprender la importancia de que el algoritmo no sólo sea eficiente sino también correcto.

Programación

- Aprender a programar;
- conocer las diferencias y relaciones entre algoritmos y programas;
- conocer los fundamentos de un lenguaje de programación, incluyendo técnicas para armar los bloques que componen al programa, de manera que se logre una construcción sólida, correcta y eficiente del programa. La elección del lenguaje a usar no es lo más importante, más bien, su uso para el desarrollo de habilidades de solución de problemas en el estudiante es fundamental;
- reconocer la programación como una habilidad necesaria, al igual que las matemáticas, y
- valorar la programación como una actividad divertida y un medio excelente para el desarrollo de habilidades creativas, de pensamiento cuidadoso, de abstracción y de solución de problemas, habilidades básicas para muchas disciplinas.

Información

- Comprender las nociones: símbolos, codificación, mensajes; apreciar que estas aparecen en muchísimas situaciones, ya sean cotidianas, profesionales, naturales, sociales, artísticas, etcétera;
- comprender qué es la información, qué es un dato; cómo se puede reducir el tamaño de un dato sin perder su información; cómo se pueden organizar grandes cantidades de datos para su uso eficiente; cómo buscar datos;
- conocer la noción de *bit*, y reconocer su papel central en la computación;
- reconocer que la materia prima de las computadoras y de otros dispositivos de cómputo son los datos, que éstos se representan mediante *bits* y por qué;
- conocer la representación de datos numéricos, texto, música, etcétera;
- conocer la criptografía: cómo mantener la privacidad de los datos y cómo firmar electrónicamente un documento, y

- entender cómo se pasa de *bits* a datos, a información, a conocimiento, así como el papel de las hojas de cálculo, las bases de datos, el *web* en la creación y administración de conocimiento.

Abstracción

- Comprender qué es la abstracción y cuál es su papel en la computación;
- valorar la abstracción, junto con el pensamiento algorítmico, como herramienta fundamental del computólogo y de gran importancia para cualquier profesionalista;
- saber qué es un modelo de cómputo; describir y entender el significado y relación de distintos modelos de cómputo (las reglas del juego, las herramientas disponibles, el uso que podemos hacer de éstas, las operaciones básicas y su costo); modelos simples de menor poder de cómputo, como autómatas finitos;
- conocer modelos generales de cómputo, máquinas de Turing y equivalentes como el modelo RAM; conocer la tesis de Church-Turing y entender que no hay modelos de cómputo más poderosos que la máquina de Turing y sus equivalentes; entender por qué esto implica que existen problemas que no se pueden resolver;
- comprender y aplicar nociones básicas de lógica matemática: la relación de la lógica matemática con computación, computadoras y circuitos booleanos; lógica de primer orden; lógica y conocimiento, y
- analizar problemas mediante lógica y abstracción; abstracción en programación.

Computadoras

- Comprender qué es una computadora, su arquitectura y organización;
- entender las nociones de *software* y *hardware* y su interacción;
- comprender que el *hardware* de una computadora está hecho de circuitos lógicos, y conocer su relación con lógica matemática;
- entender qué es un procesador, el núcleo de trabajo de una computadora;
- aprender el papel y funcionamiento de la memoria de una computadora y la organización de la memoria en una jerarquía que incluye componentes de RAM, disco, cache, etcétera, y
- comprender la operación básica de un sistema operativo, la noción de sistema de archivos; funcionamiento e implicaciones de tolerancia a fallas.

Sistemas distribuidos

- Entender la noción de sistema distribuido, y sus problemas fundamentales: coordinación, comunicación, tolerancia a fallas, etcétera;
- coordinación: acceso exclusivo a recursos compartidos. Llegando a acuerdos;
- comunicación: punto a punto, por difusión. Garantías y tolerancia a fallas;
- conocer y valorar las redes;
- conocer y valorar las redes y sus usos a fin de comprender sistemas sociales y biológicos; aprender acerca de los movimientos de coordinación de aves al volar en hermosos patrones, la manera en que las hormigas se organizan y la organización de complejas redes sociales que utilizamos todos los días;
- protocolos de comunicación;
- redes de computadoras; topologías de interconexión; comunicación por paquetes; enrutamiento; congestión; direccionamiento;
- internet; abstracción en redes;
- *web*; motores de búsqueda;
- correo electrónico; el problema del *spam*;
- mensajería instantánea, pizarrones de noticias, foros de discusión, herramientas de creación de contenido colaborativo, y
- seguridad; problemas de derechos.

Multimedia

- Entender los fundamentos del manejo de texto, sonido, imágenes y video en la computadora;
- qué son las imágenes digitales: nociones de píxel, y representación de color; representación, segmentación y adquisición de imágenes.
- aprender acerca de representaciones de objetos gráficos y del papel de la codificación en la representación y manejo de curvas, superficies y sólidos;
- cómo se hace para lograr el reconocimiento de objetos en una computadora;
- cómo se hace para lograr la animación en una computadora;
- qué es la realidad virtual y cómo se logra en una computadora; cómo se hacen simulaciones de situaciones y procesos de la vida real en una computadora; el mundo virtual vs. el mundo real.

Aplicaciones

- Conocer y valorar los alcances de la computación en áreas como ciencias de la tierra, geografía, medicina, economía y finanzas, sin perder de vista el papel de la computación como una disciplina ni lo que hay detrás de estas tecnologías, y lograr un entendimiento básico de su funcionamiento, y
- conocer y motivar al estudiante a que se interese por los avances en áreas como la robótica, la inteligencia artificial, la bioinformática y la medicina, el sistema global de navegación GPS, etcétera.

Consideraciones finales

Procedimientos y etapas del trabajo realizado

Al inicio del proyecto, en múltiples reuniones de trabajo, todos los actuales autores del libro *Conocimientos fundamentales de computación* trabajamos en la definición de los objetivos y metas. Como debe ser claro a este punto, nuestro principal objetivo fue identificar los conocimientos fundamentales, aquellos que dan sustento a las herramientas y sistemas de información modernos. Este enfoque ocasionó, de manera natural, cierto conflicto con la visión estándar y la práctica de enseñanza en el bachillerato universitario y quizá —aunque no tenemos toda la información para afirmarlo— a nivel nacional.

Entrevistamos a distintos profesores del Colegio de Ciencias y Humanidades, así como de la Escuela Nacional Preparatoria, tomamos en cuenta sus inquietudes y comentarios y, con nuestro enfoque y esta información, definimos el esquema general, los módulos y un primer contenido temático de muy alto nivel. También consultamos a otros expertos de la UNAM, en especial de la Facultad de Ingeniería y del Instituto de Investigaciones Filosóficas, así como a otros fuera de la UNAM. Más aún, discutimos las ideas con estudiantes de bachillerato y escuchamos sus inquietudes y opiniones. De esta manera pretendíamos lograr la más amplia perspectiva del tema.

Grosso modo, puede decirse que el trabajo se dividió en tres etapas: la primera consistió en afinar los temas, después las ideas que consideramos más relevantes para cada tema y, por último, realizamos la identificación inicial de las habilidades y aprendizajes que consideramos que deben alcanzar los alumnos de este nivel.

Esfuerzos para el establecimiento de los conocimientos fundamentales

La selección de los temas que incluimos en esta propuesta se realizó con base en un intenso proceso de exploración de la bibliografía existente y en múltiples discusiones al respecto con profesores de bachillerato y de licenciatura, con estudiantes de bachillerato y con investigadores y técnicos de la computación; ésta se podría categorizar en varias clases.

En primer lugar están los planes de estudio de la Nacional Preparatoria, del CCH, y de otras instituciones de nivel medio superior del país y del extranjero. Notamos que ya se ha gestado un esfuerzo, similar al nuestro, orientado a presentar a la computación como una disciplina, y sobre todo, a transmitir al estudiante habilidades, creatividad y curiosidad, además de la mera

información y la instrucción sobre el uso de paquetes de *software*, especialmente en la visión del CCH. Intentamos aprovechar al máximo esta experiencia e identificar un primer conjunto de conceptos fundamentales.

En segundo lugar están las publicaciones de libros de texto de las distintas materias que conforman lo que llamamos computación, que en su mayoría son de nivel licenciatura y posgrado. En este caso nuestra labor consistió en complementar y depurar la lista de conceptos fundamentales, identificando las ideas clave que trascienden los temas, no sólo dentro de un libro, sino también de un libro a otro; éstas debían ser de interés tanto para un estudiante de nivel bachillerato como para un profesionista y un ciudadano en general, independientemente de sus otros intereses y, por otra parte, deberían proveer al estudiante de una nueva luz bajo la cual mirar situaciones cotidianas y del mundo que nos rodea, y no sólo a las computadoras. Además, debimos identificar ideas que fueran formativas y capaces de contribuir a desarrollar habilidades de solución de problemas y análisis en los estudiantes.

En tercer lugar, para llegar a la lista final de temas aquí propuestos fue de enorme utilidad la revisión de los esfuerzos similares a los nuestros que ya se han hecho para presentar a la computación como una disciplina. Fue muy estimulante encontrarlos en libros y artículos de todos los niveles, desde primaria hasta licenciatura; algunos ejemplos se pueden encontrar al final de este documento en la sección bibliográfica. Vale la pena destacar el libro de Bell, Witten, y Fellows en el que, mediante divertidas actividades manuales, el estudiante resuelve una variedad de problemas de criptografía, códigos, información, algoritmos, etc. que lo llevan a comprender ideas fundamentales de computación.

Conclusiones

Los conocimientos fundamentales de cómputo no sólo nos permiten entender el mundo en el que vivimos desde una nueva perspectiva sino que nos proveen de habilidades importantes, muy útiles en una variedad de entornos: definir con claridad y precisión un problema, crear métodos para diseñar soluciones y para evaluarlas, así como para organizar sistemas complejos que incluyen a empresas, cadenas de producción y sistemas de distribución, lo mismo que para estudiar la consistencia de un sistema de leyes, la validez de un sistema de votaciones, el crecimiento demográfico, el transporte público en una gran ciudad, el comportamiento de la bolsa de valores y muchas otras situaciones cotidianas.

Es necesario promover la visión de la computación como una disciplina con el alcance, profundidad y nivel de otras como la física, la química y la biología. Los cursos de computación en el bachillerato demandan una adecuación en contenidos y formas de enseñanza acordes con esta visión. En México, y en el caso particular del bachillerato de la UNAM, se ha buscado promover aprendizajes que contribuyan a la cultura básica del estudiante, pero el caso de la computación es demasiado nuevo y dinámico, y aún no se ha comprendido la enorme relevancia de esta

disciplina tanto en el ámbito profesional como en el personal, el social y el económico de los ciudadanos.

La computación debe ser incluida en las discusiones del bachillerato acerca de lo que es una cultura científica, de sus limitaciones y posibilidades, así como de su íntima relación con áreas de humanidades. Si se presenta a la ciencia como el método por excelencia para la búsqueda de la verdad y de la belleza, del cual derivan los imponentes desarrollos tecnológicos de los que todos somos testigos, se ha de situar a la computación en el centro de la ciencia, por su intrínseco carácter interdisciplinario, abstracto, y su capacidad de facilitar la interacción y comunicación computadora-computadora, hombre-computadora y hombre-hombre, con una muy larga tradición.

Este lugar privilegiado de la computación se remonta al siglo XIV, a los trabajos de Ramon Llull, quien en su *Ars Magna* presenta los primeros intentos por automatizar todo el razonamiento, quizás el primer intento de usar un dispositivo mecánico para facilitar el razonamiento, y darnos así el origen de la noción general de computadora. Con esta obra, Llull pretendía apoyar la comunicación intercultural entre cristianos, judíos y musulmanes y proveer una herramienta para discusión mediante comunicación, en lugar de mediante la fuerza. La verdad no puede ser hallada mediante un dispositivo de cómputo aislado, hace falta comunicación. La historia continúa alrededor de 1700 con Leibnitz y su descubrimiento del sistema binario. Su sueño era encontrar un alfabeto simbólico para representar todo el pensamiento humano, así como un cálculo para manipular estos símbolos; compartió la pasión de Llull por la coexistencia pacífica entre personas de diferentes culturas, religiones y nacionalidades. Cuando en 1858 las redes telegráficas de Europa y Norteamérica se conectaron por primera vez mediante un cable submarino, las celebraciones llegaban al borde de la histeria: "Es imposible que viejos prejuicios y hostilidades sigan existiendo, ahora que este instrumento ha sido creado para el intercambio de pensamientos entre todas las naciones del mundo", decía un titular de la época. El entusiasmo continúa en 1997: "El lazo común alcanzado a través de la proximidad electrónica puede ayudar a evitar erupciones futuras de odio étnico y rupturas nacionales" decía Michael Dertouzos cuando era jefe del Laboratorio de Computación del MIT. Ahora estamos presenciando la nueva era del *web*; su inventor, Tim Barners-Lee dice: "Si logramos producir una estructura en el hiperespacio que nos permita trabajar juntos armoniosamente, eso sería una metamorfosis. Una sociedad que avanzara mediante intercreatividad e intuición de grupo más que a través del conflicto como mecanismo básico, mirando hacia el futuro". No sólo entender, sino contribuir a este futuro, es lo que deseamos lograr mediante una educación sólida en computación.

Bibliografía

- Bell, Tim, Ian Witten, y Mike Fellows, *Computer Science Unplugged... off-line activities and games for all ages*, 1998.
- Dewdney, A. K., *The New Turing Omnibus: Sixty-Six Excursions in Computer Science*, Holt Paperbacks, paperback - jul. 15, 1993.
- Felleisen, Matthias, Robert Bruce Findler, Matthew Flatt, y Shriram Krishnamurthi, *How to Design Programs. An Introduction to Computing and Programming*, MIT Press, Cambridge, 2003.
- Graham, Paul, *Hackers and Painters: Big Ideas from the Computer Age*, O'Reilly Media, Inc., 2004.
- Harel, David, *Computers Ltd.: What They Really Can't Do* (Popular Science), paperback, 2003.
- Harel, David y Yishai Feldman, *Algorithmics: The Spirit of Computing*, 3ª ed., paperback, 2004.
- Neville, Holmes, *The Computing Profession and Higher Education*, IEEE Computer, vol. 40, núm. 1, 2007, pp. 114-116.
- Nisan, Noam, y Shimon Schocken, *The Elements of Computing Systems, Building a Modern Computer from First Principles*, MIT Press, 2005.