

Los fundamentos computacionales como parte de las ciencias básicas en las terminales de la disciplina Informática

Guillermo R. Simari

Departamento de Ciencias e Ingeniería de la Computación (DCIC)
Universidad Nacional del Sur en Bahía Blanca
Alem 1253, (8000) Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina
{svr, grs}@cs.uns.edu.ar

Resumen

Este trabajo comienza explorando someramente la evolución moderna de la innovación tecnológica y la aceleración reciente de este proceso que es provocada por el uso de la Informática como motor fundamental de este fenómeno. Esta observación nos lleva a discutir el proceso educativo y el lugar de la Informática en el conocimiento humano reconociendo al pensamiento computacional como un objetivo necesario de la educación actual. Nuestra premisa central es que, por su aporte a las herramientas mentales disponibles, resulta imperiosa la inclusión de los fundamentos computacionales de la Informática entre las ciencias básicas en todos los niveles educativos. El pensamiento computacional representa así un componente irremplazable de las habilidades necesarias para comprender y desempeñarse en el mundo.

Palabras clave: Pensamiento computacional, informática y educación, ciencias básicas.

Introducción

A lo largo de la historia, los seres humanos han construido dispositivos que han permitido desarrollar tareas que estaban fuera del alcance sus capacidades de físicas naturales. Esto permitió la expansión de las actividades humanas empujadas por el avance tecnológico creciente. El descubrimiento de principios científicos básicos dio impulso a la exploración de sus aplicaciones, dando nacimiento a la ingeniería como disciplina encargada de hacer concreto este nuevo conocimiento. Sería imposible reseñar en este trabajo la historia de este proceso

creativo; sin embargo, es útil remarcar algunos de los hitos fundamentales que promovieron el crecimiento en las capacidades humanas desde el punto de vista cognitivo, por su relación directa con la situación que nos ocupa en este trabajo.

Estos hitos representaron la introducción de lo que en nuestro lenguaje moderno se describen como *tecnologías disruptivas*, *i.e.*, tecnologías que producen cambios significativos y novedosos en el estado del mundo, alterándolo de manera que nuevas entidades quedan a disposición de los que la utilizarán [Bower et al., 1995].

La aparición del lenguaje como medio de comunicación fue sin duda el comienzo del camino que todavía hoy estamos recorriendo. El desarrollo de la escritura en correspondencia con el lenguaje hablado comenzó en tiempos de los que no se guarda registro factual, pero quizás fueron las pinturas rupestres su primera expresión reconocible. La evolución de esta *tecnología* fue lenta en términos humanos, pero procedió sin pausa a lo largo de los milenios hasta llegar al punto donde las civilizaciones comenzaron a dejar huellas de sus actividades en forma de registros históricos.

Pero la fuerza del lenguaje escrito estuvo limitada por su escasa diseminación. Por ejemplo, el código de leyes promulgado por el rey Hammurabi de Babilonia (aprox. 1760 AC) se hizo público grabando su texto sobre bloques cilíndricos de basalto de unos 2,50 m de altura por 1,90 m de base, distribuidos en el territorio del reino. Solo es posible imaginar la dificultad para reproducirlas y la logística inherente a

semejante forma de esparcir las estelas conteniendo ley. Además de estas complicaciones, era necesario disponer localmente de un *intérprete*, es decir, un agente capaz de entender los signos cuneiformes contenidos en la estela, es decir, alguien que pudiera leer lo escrito.

La introducción innovadora, también disruptiva, de una forma de papel en Egipto y China como medio de soporte para la escritura, mejoró la situación, aunque el problema de la reproducción persistía. Solo era posible producir una copia por vez, de manera artesanal por medio de personas especializadas que habían adquirido el conocimiento de la *tecnología* de lecto-escritura. Notemos aquí que subsistía la necesidad de poseer la capacidad de interpretar lo escrito. En este punto es interesante destacar que en esos momentos de la historia puede reconocerse el nacimiento de la educación formal en forma diferenciada al entrenamiento en diferentes artesanías, el objeto de conocimiento se transformaba en algo abstracto, que no necesariamente tenía una connotación física. Pero aun así, el conocimiento se transmitía de forma severamente limitada.

Otro punto de inflexión en la historia humana se produce cuando se elimina al copista, o quizás esto se describa mejor como la *automatización* de la copia del texto escrito. Una nueva innovación disruptiva aparece con la imprenta. Este dispositivo aparentemente fue creado, al menos en parte, en China, pero el evento que llevo al cambio tecnológico ocurrió en Alemania cuando Johannes Gutenberg en 1450 construye la primera imprenta digna de ese nombre. Las consecuencias de este acontecimiento fueron de una trascendencia inconmensurable; la humanidad dio en ese momento un paso enorme hacia la acumulación y explotación del conocimiento producido en cada una de las actividades humanas. El mismo Renacimiento se potenció por la existencia de este dispositivo. A partir de ese momento el agente que produce conocimiento puede ponerlo a consideración de la comunidad apropiada, pudiendo esta aceptarlo, modificarlo, revisarlo, ampliarlo, perfeccionarlo, y en general, explotarlo como un recurso común, creando un repositorio accesible de manera más simple.

Si bien las primeras bibliotecas creadas como repositorios de libros penosamente copiados existieron casi desde el comienzo del lenguaje escrito, ahora nacen las primeras bibliotecas con múltiples copias; el poseer un libro deja de ser un hecho extraordinario.

Al llegar a este punto del relato, es interesante y pertinente observar la aceleración en el proceso de desarrollo del conocimiento humano, seguramente empujado por la nueva tecnología de impresión de libros. Esto a su vez impulsó la diseminación de la capacidad de lectura y escritura en un proceso de retroalimentación.

Es difícil de conmensurar cuanto tiempo pasó hasta que surgió el lenguaje, pero se estima que los primeros homínidos aparecieron hace unos veinte millones de años. También es imposible establecer cuando la información comenzó a pasar de un miembro de la especie a otro de manera oral, pero los primeros homínidos que usaron herramientas aparecieron hace unos dos millones de años. Se puede especular que alguna forma de lenguaje oral primitivo debe haber sido contemporáneo al uso de estas herramientas, sobre todo en aquellas actividades comunitarias, tales como la caza y la recolección, que exigían coordinación. Las primeras bandas de cazadores/recolectores necesitaron poder realizar actividades en común; esto les dio una ventaja evolutiva estratégica para su supervivencia perpetuando la práctica y haciéndola transmisible. Algunas de estas características se hallan presentes en las especies no humanas que cazan en grupos, pero no de la forma extensiva que se encuentra en los primeros grupos humanos.

Colocando un punto en el gráfico de la evolución que corresponda a la introducción del lenguaje escrito hace algo más de cinco mil años, y conociendo que el punto correspondiente a la imprenta se ubica en el año 1450, se reconoce que estamos en presencia de una aceleración que no es sorprendente cuando se reconoce que el proceso se realimenta. Más aun cuando consideramos el próximo punto lo podemos situar aproximadamente alrededor de 1940 y que representa el momento de la introducción de la computadora, cuya definición teórica publicada por Turing en 1937 corres-

ponde a la Máquina de Turing Universal [Turing, 1937]. Luego al colocar el punto que corresponde a la disponibilidad comercial de computadoras personales en los años 1970s, el correspondiente a la aparición de Internet unos pocos años después, y el de la creación de la *World Wide Web* (WWW) en el comienzo de los años 1990s [Berners-Lee et al. 1999], es claro observar que estamos en presencia de un proceso que se acelera exponencialmente.

La sucinta descripción que hemos dado muestra como la utilización del lenguaje contenido en soporte accesible por diversos utilizadores, ha ido creciendo en forma cada vez más acelerada. También es dable observar que el número de *utilizadores* también ha crecido de manera similar. Al principio, muy pocos podían leer y escribir, luego a medida que el soporte del lenguaje escrito cambió, y el recurso se hizo más accesible, la educación hizo que esta habilidad se hiciera más común. Repitiendo el patrón, la información cambió nuevamente de soporte de mantenimiento y transmisión, pasando al medio digital. El número de usuarios de una computadora pasó de unos pocos en los 1940s, a los miles de millones actuales. Este acceso dio lugar a un entorno en el que la información disponible es (literalmente) incommensurable.

Este entorno es un mundo virtual al que cualquiera puede acceder, al que todos contribuimos de diversas maneras, pero que pocos pueden explotar (computacionalmente). Sin embargo, para ser un ciudadano de primera categoría de esta virtualidad, es necesario algo más. Repitiendo nuevamente la triquiñuela, la educación es otra vez central a este proceso.

Innovación

Trataremos brevemente en esta sección de describir el proceso de cambio en el conocimiento a través de la actividad innovadora. Esto motiva la necesidad de innovar paralelamente en los contenidos educativos y en la forma de impartir la educación.

En la terminología usual esta actividad se representa como *i* en expresión I+D+i que trata de sintetizar las tres actividades fundamentales para el desarrollo científico-tecnológico. Expresa la necesidad de integrar (I)investigación,

(D)esarrollo e (*i*)nnovación. Sin embargo, como veremos más abajo, es difícil separarlas nítidamente; al menos resulta poco claro como separar la innovación de la investigación y del desarrollo. Quizás sería más correcto decir que tanto la investigación como el desarrollo producen innovación, aunque es posible innovar sin realizar ninguna de estas dos actividades. A veces, la simple integración de elementos conocidos produce algo completamente nuevo.

Investigación Básica: Este es el tipo de trabajo innovador que se lleva a cabo en las universidades y laboratorios de investigación. No se busca un resultado definido precisamente, el trabajo se orienta al descubrimiento. Se ha avanzado en la idea de que la investigación básica no es innovación porque no necesariamente deviene en un producto o servicio nuevo. Sin embargo, los grandes descubrimientos científicos resultan en avances que han cambiado al mundo repetidamente: por ejemplo el trabajo de Turing o Shannon.

Innovación Disruptiva: En este caso el problema está bien definido pero la solución no es evidente. La innovación disruptiva es aquella que crea un mercado nuevo con nuevos parámetros, desplazando tecnología existente. En términos de mercado, esta terminología describe innovaciones que mejoran un producto o servicio en una forma inesperada, usualmente apelando a usuarios nuevos que aprecian el producto a pesar del costo y luego capturan al resto del mercado existente: Cámaras digitales vs. Kodak, iPhone vs. otros modelos previos de celular. Ford modelo T.

Innovación Sostenida o Evolutiva: Este es el tipo de innovación donde hoy Apple se muestra preeminente. El problema está bien definido y se entiende cómo resolverlo aunque la solución no esté disponible. La visión de Steve Jobs de un dispositivo capaz de mantener “1000 canciones en el bolsillo” significaba que era necesario disponer de cierta cantidad de memoria dentro de ciertas restricciones de tamaño. El problema era difícil y tomó tiempo resolverlo, pero estaba claro lo que se necesitaba para producir el iPod.

Innovación Radical: Thomas Kuhn describió este tipo de innovación como ciencia revolu-

cionaria porque lleva un cambio o desplazamiento del paradigma particular que se encuentra vigente. Aquí vemos que el problema está bien definido pero no es claro cómo obtener una solución. El descubrimiento de la estructura del DNA o la introducción de la computadora personal son buenos ejemplos. Aquí también el iPhone es un buen ejemplo.

Educación y el lugar de la Informática en el conocimiento

En el año 2006, el equipo de trabajo curricular de la Red Universidades Nacionales con Carreras de Informática (RedUNCI) completó la preparación de un documento que caracterizaba cuidadosa y minuciosamente las terminales de las licenciaturas e ingenierías de la disciplina Informática. El documento comenzaba con una traducción de la definición de la Informática contenida en un número de la revista *Communications of the Association for Computing Machinery* (ACM), texto elaborado por encargo de la misma ACM y la *Computer Society* del *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE-Computer Society) y que fue tomado por la Task Force de estas sociedades dedicadas a elaborar contenidos para todas las terminales de la disciplina. Incluimos parte de esa introducción dada su relevancia para este trabajo:

“La Informática como disciplina comprende el estudio de procesos algorítmicos que describen y transforman a la información; estudian su teoría, análisis, diseño, eficiencia, implementación y aplicación. La pregunta fundamental subyacente en toda la computación es: ¿qué puede ser automatizado (en forma eficiente)? Esta disciplina nació en la primera parte de la década de 1940 con la conjunción de la teoría de los algoritmos, lógica matemática y la invención de la computadora electrónica con programa almacenado¹.”

La computación extiende sus raíces profundamente en la matemática y en la ingeniería. La matemática aporta análisis al área, mientras que la ingeniería aporta di-

seño. La disciplina posee su propia teoría, su método experimental y su ingeniería. Por otro lado, esto no se da en la mayoría de las ciencias físicas que son distintas a las disciplinas de ingeniería que aplican sus descubrimientos (por ejemplo, la química y los principios de ingeniería química). La ciencia y la ingeniería son inseparables debido a la relación fundamental entre los paradigmas de ciencia e ingeniería dentro de la disciplina.”[ACM-IEEE]

Es interesante destacar que los auspiciantes mismos de este esfuerzo para definir los contenidos curriculares representan una instancia de esta sinergia entre ciencia e ingeniería.

La Informática como disciplina introduce una herramienta esencial para poder comprender el enfoque moderno en las diferentes áreas científico-tecnológicas. Así como el desarrollo del Análisis Matemático aportó los instrumentos necesarios para poder estructurar formalmente la Física, los conocimientos computacionales se han transformado en elementos imprescindibles para el desarrollo de las tecnologías y para el avance de la ciencia, al aportar, por ejemplo, capacidades de simulación y visualización de fenómenos que no podrían comprenderse de otra manera.

Actualmente, cada ciencia recibe el creciente influjo de la informática, que contribuye al manejo de cantidades masivas de datos (Big Data) permitiendo extraer conclusiones escondidas en ellos. Este fenómeno se observa aún en ciencias que hasta hace pocos años se habían mantenido al margen de estos desarrollos tecnológicos, *i.e.* las ciencias sociales están teniendo un desarrollo creciente pudiendo estudiar experimentos con grandes masas de población.

Un ejemplo interesante es el uso de la minería de datos y la simulación para determinar la distribución y recorrido de las patrullas policiales en Los Angeles, EEUU. Esta aplicación ha producido una disminución de 11% en el crimen callejero. El *New York Times* (15/08/2011) tituló este artículo “*Sending the police before there is a crime*” (*Enviando a la policía antes de que se cometa un crimen*), refiriéndose a las capacidades predictivas de

¹ Encarnando en hardware la máquina universal definida algunos años antes por Alan Turing.

este algoritmo de distribución de patrullas. Estos algoritmos son una extensión natural de los usados para predecir los hábitos de compra en los supermercados; ambas aplicaciones descansan en la capacidad computacional disponible y en repositorios masivos de datos.

Otro ejemplo remarcable es la secuenciación de los genomas biológicos. Este avance nunca podría haberse producido sin la utilización de la informática. Tal es así, que hoy ha nacido una nueva disciplina denominada Bioinformática. Algo similar, aunque menos dramático está sucediendo en cada actividad científica, donde el uso de la computadora aporta nuevas posibilidades de exploración y explotación.

La interacción de la Informática con todas las áreas del conocimiento, establece la necesidad de introducir los conocimientos computacionales fundamentales en la formación básica profesional. La realidad del mundo moderno se complementa con un espacio virtual del que es imprescindible conocer los principios elementales para poder comprenderlo y desarrollar tareas en él.

Debe quedar claro en este punto que no se está afirmando que todo el mundo debe ser capaz de crear código. Pero, si se está aseverando que un profesional debe adquirir la capacidad de poder pensar en soluciones computacionales *factibles*. Para ello, debe conocer las capacidades y limitaciones fundamentales del recurso computacional a nivel intuitivo. Solo la educación temprana y continua puede hacer este objetivo posible.

Pensamiento computacional y educación

En el año 2006 [Wing, 2006], Jeannette Wing publicó un artículo que abrió un debate muy interesante sobre el rol de la perspectiva computacional como herramienta general del pensamiento. Su argumento básico pone al pensamiento computacional a la par con la lectura, la escritura y la aritmética como conocimientos elementales que se deben adquirir desde los primeros pasos educacionales.

Wing, coincidiendo con la definición ya introducida, describe esta forma de pensamiento como una combinación de las formas de pen-

samiento matemático e ingenieril. Toma sus fundamentos de la matemática *pero* considerando las restricciones de las capacidades computacionales disponibles, y trae de la ingeniería la interacción con el mundo real, *pero* contando con posibilidad de construir mundos virtuales en los que la realidad física no introduce restricciones.

La presencia ubicua de los medios computacionales no será lo que cambiará nuestra vida, sino que serán los conceptos computacionales los nos permitirá evolucionar en un mundo en el que realidad no será solo física. Este cambio afectará a toda la humanidad de manera impredecible, pero solo la educación podrá promover que la situación tenga un alcance igualitario. Para comprender la situación con más claridad, solo hace falta imaginar un mundo en el que unos pocos pudieran leer, el resultado sería impensable.

El siguiente párrafo ha sido extraído y traducido de [CunySnyderWing10] y expresa de manera concisa las ideas discutidas hasta ahora²:

“El pensamiento computacional está integrado por los procesos mentales necesarios para formular un problema y encontrar su solución, de manera tal que esta pueda efectivizarse por un conjunto de agentes con la capacidad de procesar información.”

Es interesante observar que el problema en cuestión puede encontrarse tanto en el mundo físico como en el virtual, y cuando se menciona que la solución se efectiviza por un conjunto de agentes, estos pueden ser tanto humanos como computacionales.

El pensamiento computacional se compone por una parte por el pensamiento crítico que permite reconocer, entender y resolver problemas y, por otro lado, utiliza el procesamiento computacional en la colaboración, comunicación de los agentes participantes, siempre considerando la complejidad computacional relacionada con el espacio y con el tiempo necesario para obtener tal solución.

² Aunque se ha hecho un esfuerzo para mantener el sentido del texto original en inglés, las traducciones son naturalmente aproximadas.

Otra definición sugestiva y acertada contenida en [AhoUllman, 1994] es la siguiente:

“La Informática es la ciencia de la abstracción, creando el modelo justo y descubriendo técnicas automatizables apropiadas para resolver los problemas.”

La abstracción mencionada es esencialmente dinámica y la automatización es computacional. La habilidad de crear el “*modelo justo*” es otra de las características distintivas del pensamiento computacional. Aho y Ullman continúan diciendo:

“Cada una de las otras ciencias considera al universo tal como es. Por ejemplo, el trabajo del físico es comprender como funciona el mundo, no inventar un mundo en el que las leyes de la Física sean más simples o más sencillas de satisfacer. Por otra parte, los científicos de la Informática deben crear abstracciones que correspondan a problemas del mundo real, que puedan ser comprendidas por los utilizadores de la computadora, y al mismo tiempo que puedan ser representados y procesados en el medio computacional.”

Esta necesidad de usar abstracciones lleva a la creación de diferentes abordajes para definir las clasificarlas y medirlas. Es necesario definir e introducir medidas de eficiencia en tiempo y espacio, además de considerar el consumo de recursos tales como la energía necesaria para computar. Esta última faceta ha dado lugar a lo que se conoce en inglés como *Green Computing*, considerando el problema de mantener los enormes repositorios de información que hoy necesitan tanta energía como una ciudad pequeña.

Es también importante determinar si el proceso computacional es correcto, comparando las soluciones que encuentra con las esperadas, y aún evaluar si es posible encontrar una respuesta (problema de la detención). Existen otras medidas importantes tales como: la simplicidad y elegancia del proceso, la usabilidad del sistema, la facilidad para modificarlo y mantenerlo, y el costo de producción, ejecución y mantenimiento. Estos ejes de definición caracterizan los fundamentos de la Informática que discutiremos a continuación.

Ciencias básicas y los fundamentos de la Informática

Los párrafos anteriores proveen evidencia suficiente y un argumento convincente para ubicar a los fundamentos de la Informática en el área correspondiente a las ciencias básicas. Claramente, esta necesidad se acentúa aún más en su propio ámbito disciplinar. Si bien internacionalmente³ ha sido reconocida la importancia de los temas fundacionales, en nuestro país, la definición de los estándares⁴ de acreditación para terminales de ingeniería de la propia disciplina actualmente comete la equivocación de incluir la temática de los fundamentos de la Informática no en el área de las *ciencias básicas*, sino que requiere su inclusión en el área de las *tecnologías básicas* en ambas terminales. Desde nuestra disciplina es difícil entender como es que esto ha sido posible y solo es dable esperar que tal contradicción se resuelva al elaborar el próximo estándar. La confusión entre principios científicos y tecnología es incomprensible.

Discutiremos ahora en forma general estos fundamentos, mencionando cuales son las capacidades que es necesario desarrollar. Wing [Wing, 2006] menciona la comprensión del proceso de abstracción y descomposición, el manejo de restricciones, la habilidad para representar y construir modelos utilizando herramientas computacionalmente tratables, la capacidad de utilizar invariantes sucinta y declarativamente, la habilidad para caracterizar sistemas complejos, la capacidad de utilizar, modificar e influenciar estos sistemas, la aptitud para utilizar la modularización anticipando usos futuros.

La profundidad y complejidad en el cambio de perspectiva hacen necesario abordar la enseñanza de estas capacidades de manera temprana para dar el tiempo suficiente para la comprensión y maduración cognitiva imprescindible. Su característica fundacional obliga a comenzar su desarrollo en el primer año de las

³ Por ejemplo, ver documentos producidos por la Joint Task Force on Computing Curricula Association for Computing Machinery and IEEE-Computer Society.

⁴ Ver Resolución 786/2009 del Ministerio de Educación de la República Argentina

carreras responsables de llevar adelante todas las terminales disciplinares. Al transformarse en herramientas mentales permanentes, resultará natural su uso en el trabajo diario, contribuyendo y facilitando, por otro lado, la actualización disciplinar del profesional informático en su educación continua. Esto solo puede lograrse haciendo hincapié en los fundamentos de nuestra disciplina desde el mismo comienzo de la formación del ingresante en las etapas iniciales de las carreras de informática, dado que las innovaciones naturales partirán desde estas bases.

Nuestros graduados deben tener la capacidad de pensar en diferentes niveles de abstracción y esta habilidad es difícil de adquirir requiriendo tiempo y ejercitación. Su comprensión de los problemas debe superar los detalles de implementación algorítmica para incluir la estructura de los sistemas computacionales disponibles, abarcando los procesos de construcción de las soluciones. Es por lo tanto necesario que puedan considerar en profundidad el contexto de aplicación tanto físico como humano [CS Curricula 2013].

Es necesario definir el núcleo fundamental de la disciplina, para ello hay que recordar que la Informática nació de la Lógica. También es importante reconocer que la explotación de estos principios lógicos al utilizar los principios de la ingeniería ha llevado a enormes desarrollos en ambas disciplinas, desarrollos que son fruto de esta interacción tales como el estudio de la algoritmia, el análisis de complejidad y eficiencia, los lenguajes formales, gramáticas y autómatas, los conceptos fundamentales de lenguajes de programación como la sintaxis y la semántica formal, las especificaciones formales y la corrección de programas. La formalización de las estructuras discretas nacidas de las necesidades de la programación dio lugar al estudio profundo de las estructuras de datos, los fundamentos de bases de datos, y la inteligencia artificial simbólica y no simbólica. Esta descripción somera representa el núcleo científico disciplinar.

Discusión y comentarios finales

La complejidad del problema que hemos encarado hace difícil concluir apropiadamente este

argumento. La razón más importante para esta circunstancia es que, aunque resulta obvio, es necesario reconocer que el proceso de cambio descrito solo está en sus etapas iniciales. Por este motivo sería en vano tratar de extrapolar donde nos llevará la revolución en la que estamos insertos. Hace algo más de dos décadas la Web comenzaba a desarrollarse, y salvo algunos pocos visionarios, era imposible conjeturar la situación presente donde, de manera simétrica, hoy es igualmente inverosímil imaginar el mundo sin ella. Hoy, la absorción de las comunicaciones en el mundo del procesamiento computacional de la información ha potenciado los cambios hasta el punto en el que lentamente incorporamos actividad los dispositivos computacionales que nos dan acceso a la virtualidad.

En los últimos años nos hemos acostumbrado a la presencia ubicua de los sistemas computacionales, al punto que ya no producen sorpresa; sin embargo, estamos solo en los instantes iniciales de lo que puede ser una explosión en nuestras capacidades humanas. El término “*explosión*” utilizado en la última frase no es casual, una explosión es una expansión a gran velocidad, y esto es exactamente lo que está sucediendo.

A. Sloman en [Sloman, 1978] en un apartado titulado “*Las computadoras como artefactos para expandir nuestra mente*” dice:

“Es posible argumentar que las computadoras, o para ser más preciso, combinaciones de computadoras y programas (hoy diríamos dispositivos computacionales), constituyen nuevos artefactos de importancia profunda que pueden darnos nuevos medios de expresión y comunicación, y que pueden ayudarnos a crear un nuevo capital de conceptos y metáforas, que se acrecienta continuamente, para pensar acerca de todo tipo de sistemas complejos, incluyéndonos a nosotros mismos como uno de estos sistemas.”

El contenido profético de este párrafo se puede percibir fácilmente. Hoy vivimos precisamente en ese mundo, en el que cada vez tenemos más herramientas que nos permiten llevar adelante tareas que serían imposibles de otra manera:

desde el descubrimiento de nuevos medicamentos diseñados por medios informáticos hasta el control por computadora del proceso de vuelo y aterrizaje aviones que fueron diseñados con la ayuda de modelos computacionales y que no podrían volar si la asistencia computacional, pasando por ejemplos intermedios tales como operaciones quirúrgicas realizadas desde otro continente con aparatología robótica, edificios inteligentes que se regulan a sí mismos y, por supuesto, nuestros inseparables teléfonos celulares que hoy contienen un dispositivo computacional de enorme capacidad.

El desafío que enfrentamos como educadores presenta múltiples facetas. Una de las más importantes es que es necesario preparar a las nuevas generaciones para vivir no solo en el mundo físico, sino que debemos darles la habilidad para comprender las herramientas que les permitirán manejarse en el mundo virtual. Debemos descubrir cómo perfeccionar el contenido del núcleo educativo fundacional reconociendo lo que es permanente separándolo de lo que es solo una novedad. Necesitamos tener el coraje de abandonar el dogmatismo y dejar de lado perspectivas ya obsoletas. Estas decisiones fueron útiles en el pasado, pero hoy la realidad que las motivo ya no existe, y debemos reemplazarlas con lo que resulta imprescindible para vivir no solo en el mundo presente, sino también en el mundo que se está creando continuamente.

Una observación final: existe una variedad creciente de formas de percibir el mundo computacionalmente, estas perspectivas nos ayudan a entenderlo y, lo que es más importante, nos permiten entendernos, por esta razón se imprescindible para definir los contenidos educacionales no centrarnos en aplicaciones particulares, debemos incluir los principios

fundamentales de la Informática entre las ciencias básicas.

Referencias

[ACM-IEEE] *Computing as a discipline*, D. E. Comer, David Gries, Michael C. Mulder, Allen Tucker, A. Joe Turner, Paul R. Young. Association for Computing Machinery (ACM) e IEEE-Computer Society. Communication of the ACM, Vol. 32, Nº 1, pp. 9-23, January 1989.

[AhoUllman, 1994] A. V. Aho, J. D. Ullman, *Foundations of Computer Science*. W. H. Freeman, 1994.

[Berners-Lee et al., 1999] Berners-Lee, T., Fischetti, M. *Weaving the Web: The Original Design and Ultimate Destiny of the World Wide Web by Its Inventor*, Harper San Francisco (1999).

[Bower et al., 1995] J. L. Bower, C. M. Christensen. *Disruptive Technologies: Catching the Wave*. Harvard Business Review, **73**, no 1. January-February 1995 Pp. 43-- 53.

[CS Curricula 2013] *Computer Science Curricula 2013*, (Ironman Draft Version 1.0) February 2013, The Joint Task Force on Computing Curricula Association for Computing Machinery/IEEE-Computer Society.

[CunySnyderWing10] J. Cuny, L. Snyder and J. M. Wing, "Demystifying Computational Thinking for Non-Computer Scientists," work in progress, 2010.

[Sloman, 1978] Sloman, A., "The Computer Revolution in Philosophy: Philosophy of Science and Models of Mind", (Harvester studies in cognitive science). Redwood Burn Limited, Trowbridge & Esher, England, 1978

[Turing, 1936] Turing, A. M. *On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungs problem*. Proceedings of the London Mathematical Society. 2 (1937) 42: 230–265.

[Wing, 2006] J. Wing. *Computational thinking*. Communications of the ACM, 49(3):33–35, 2006.