

El pensamiento bayesiano, un pensamiento computacional omnipresente

The bayesian thinking, a pervasive computational thinking

Miguel Zapata-Ros
Universidad de Murcia. Murcia. España.
mzapata@um.es

Yamil Buenaño Palacios
Universidad de San Buenaventura. Bogotá. Colombia.
ybuenaño@usbog.edu.co

Resumen

En su acepción más sencilla se considera el pensamiento computacional como una serie de habilidades específicas que sirven a los programadores para hacer su tarea, pero que también son útiles a la gente en su vida profesional y en su vida personal como una forma de organizar la resolución de sus problemas, y de representar la realidad que hay en torno a ellos.

En un esquema más elaborado este complejo de habilidades constituye una nueva alfabetización ---o la parte más sustancial de ella--- y una inculturación para manejarse en una nueva cultura, la cultura digital en la sociedad del conocimiento.

Hemos visto cómo se usa la probabilidad bayesiana, en modelos de epidemiología, para determinar modelos de evolución de datos sobre contagio y fallecimientos en el COVID y en el procesamiento del lenguaje natural.

Igualmente podríamos verlo en multitud de casos en los más variados campos científicos y de análisis de procesos. De esta forma, con la automatización de los métodos bayesianos y el uso de modelos gráficos probabilísticos es posible identificar patrones y anomalías en voluminosos conjuntos de datos en campos tan diversos como son los corpus lingüísticos, los mapas astronómicos, añadir funcionalidades a la práctica de la resonancia magnética, o a los hábitos de compra con tarjeta, online o smartphones.

En esta nueva forma de proceder, se asocian el análisis de grandes datos y la teoría bayesiana.

Si consideramos que el pensamiento bayesiano, esta forma de proceder, como un elemento más y relevante del pensamiento computacional, entonces a lo dicho en anteriores ocasiones hay que añadir ahora la idea de pensamiento computacional generalizado, que va más allá de la educación

Ya no se trata de aspectos puramente asociados a la práctica profesional o vital ordinaria para manejarse por la vida y el mundo del trabajo, como ha sido lo que hemos llamado pensamiento computacional hasta ahora, sino como una preparación para la investigación básica y para una metodología investigadora en casi todas las disciplinas. Porque, así definido, el pensamiento computacional está influyendo en la investigación en casi todas las áreas, tanto en las ciencias como en las humanidades.

Una instrucción centrada en esta componente de pensamiento computacional, el pensamiento bayesiano, o que lo incluyese en una fase temprana, en Secundaria (K-12), incluyendo la fórmula de la probabilidad inversa, permitiría, basándonos en los *First principles of learning* de Merrill, y en particular en el principio de activación, activar estos aprendizajes como componentes muy valiosos y muy complejos en una etapa posterior de la actividad profesional o investigadora, o en la fase de formación, grados y postgrados, de estas profesiones o que capacitan para estas actividades y profesiones.

Palabras clave

Pensamiento computacional, pensamiento bayesiano, pensamiento computacional omnipresente, ciencia tras la pandemia, educación tras la pandemia, Educación Tecnológica.

Abstract

In its simplest sense, computational thinking is considered as a series of specific skills that programmers use to do their homework. They are also useful to people in their professional and personal lives, as a way of organizing the resolution of their problems, and of representing the reality that surrounds them.

In a more elaborate scheme, this complex of skills constitutes a new literacy --- or the most substantial part of it --- and an inculturation to deal with a new culture: digital culture in the knowledge society.

We have seen how Bayesian Probability is used in epidemiology models to determine models of data evolution on contagion and deaths in COVID. We have also seen it in natural language processing.

We could also see it in many cases in the most varied scientific and process analysis fields. In this way, with the automation of Bayesian methods and the use of probabilistic graphical models, it is possible to identify patterns and anomalies in voluminous data sets in fields. Fields as diverse as linguistic corpus, astronomical maps, adding functionalities to the practice of magnetic resonance imaging, or to the habits of buying with cards, online or smartphones.

In this new way of proceeding, big data analysis and Bayesian theory are associated..

If we consider that Bayesian thinking (this way of proceeding) as one more element of computational thinking, then, to what has been said on previous occasions, we must now add the idea of generalized computational thinking, which goes beyond education

It is no longer about aspects purely associated with professional or vital practice to deal with life and the world of work, but as a preparation for basic research and for a research methodology in almost all disciplines. Thus defined, computational thinking is influencing research in almost all areas, both in the sciences and the humanities.

An instruction focused on this component of computational thinking, or including it, at an early stage, in Secondary, would allow to activate these learnings as very valuable and very complex components at a later stage. In professional or research activity, in the training phase, undergraduate and postgraduate degrees, of these professions. Those that train for these activities and professions.

Keywords

Computational thinking, bayesian thinking, pervasive computational thinking, post-pandemic science, post-pandemic education, Technology Education.

En este artículo queremos poner de relieve justificada y documentalmente una tendencia que se está produciendo en la ciencia con repercusiones en la educación, como siempre sucede, y con demandas para ella. Hasta ahora el pensamiento computacional se había concebido como algo vinculado principalmente a la educación y a las necesidades de aprendizaje que la actual sociedad plantea (Wing, 2006; Zapata Ros, 2015; Román González, 2016). Necesidades profesionales y necesidades sociales: Desenvolverse en una nueva cultura. Se concebía como una nueva alfabetización. Ahora, independientemente de la educación, pero fuertemente vinculado a ella, ha aparecido una nueva forma de pensamiento que no tendría sentido sin los computadores y las redes, sin la posibilidad de proceso y circulación masiva de datos. Por tanto, es una forma de pensamiento computacional que no se difiere para ser activado en la profesión o en la investigación, sino que surge en ellas. Es el pensamiento bayesiano. Esas ideas son las que pretendemos desarrollar en un trabajo que tiene naturales de Debate teórico y análisis de las relaciones entre el aprendizaje, enseñanza y tecnología y de Análisis de políticas y

estrategias a nivel institucional, regional, sectorial, nacional o internacional, en consonancia con los temas de RED. Como una contribución que participa de la naturaleza de revisión crítica de la literatura y de ensayo teórico.

Planteamiento

El 20 de marzo The Lancet publica el artículo *Estimates of the severity of coronavirus disease 2019: a model-based análisis* (Verity, Ret al, 2020).

La idea que plantea es simple y constituye el esquema más definido y puro de un caso de aplicación del Teorema de Bayes, con ayuda de analítica de datos: Se centra en Hubei (China), donde surge por primera vez la pandemia y desde allí se propaga, se sabe los contagiados por COVID19 que fallecieron, cómo se distribuyen por edad y el tiempo que transcurre desde la detección de la enfermedad hasta el fallecimiento. En el resto de los países no existían patrones todavía respecto de esta cuestión, cómo afectaría la pandemia en los casos más graves, de fallecimiento, en función de estas variables.

En estas condiciones es fácil por el Teorema de Bayes (aplicado con analítica de datos a un número muy grande de casos), a partir de los datos obtenidos en Hubei establecer la probabilidad de que alguien, que haya contraído la enfermedad, la curse en modalidad grave (con dificultades severas respiratorias) y su posible fallecimiento, así como el número de días que estará hospitalizado y en la UCI. Con estos datos es fácil hacer previsiones para evitar el colapso del sistema. También se dieron modelos para otras variables definidas a partir de situaciones de los enfermos en relación con la frecuencia de los viajes o los lugares de procedencia.

Esto constituye un ejemplo de cómo, con un resultado matemático simple, se pueden construir modelos complejos para obtener probabilísticamente el comportamiento de grupos, comunidades de individuos o de agregados de datos sujetos a una probabilidad o a un riesgo cuya *distribución a priori* se desconoce.

En la figura siguiente (Fig. 1) se puede ver la pirámide con el espectro de casos COVID19 a posteriori, la que se obtiene en los casos conocidos y estudiados y de igual manera se puede construir la pirámide a priori a partir de los datos de la base con la aplicación del Teorema de Bayes a ambos conjuntos de datos, los a posteriori y la base de la pirámide a priori.

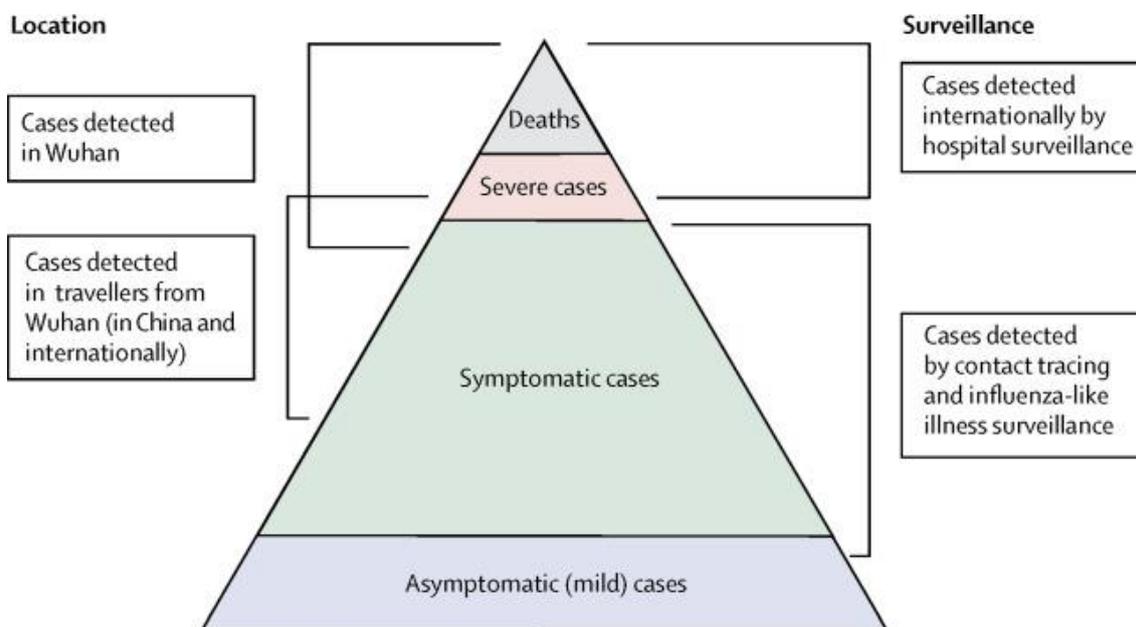


Fig. 1 Pirámide con el espectro de casos COVID19. *Estimates of the severity of coronavirus disease 2019: a model-based análisis*, de Robert Verity, PhD † et al (2020)

Esto, que pasó con relación a Hubei y su precedente con respecto al COVID y a su comportamiento que merced a la probabilidad bayesiana y a la analítica de datos, permitió establecer patrones predictivos para otras regiones del mundo, en las que no se sabían a priori las estadísticas de comportamiento de la pandemia o eran dudosas por los datos oficiales, sucede con frecuencia en la ciencia, en el transcurso de investigaciones con datos difusos, así como en la práctica profesional cuando se indagan datos sujetos a una dinámica similar a la descrita para Hubei y el COVID.

Veamos ahora otro campo: La lingüística, el aprendizaje automático de lenguajes naturales y el procesamiento del lenguaje natural (PNL). En él nos encontramos este libro de Shay Cohen (2019) titulado *Bayesian Analysis in Natural Language Processing*, y reseñado por Brett Drury (2019 Aug):

En él se sostiene que el análisis y razonamiento probabilístico es un subcampo del aprendizaje automático aplicado al procesamiento del lenguaje natural (PNL). Y, en su contexto, un campo de Probabilidad, la estadística bayesiana, puede ofrecer técnicas únicas para el PNL.

Como en el resto de la tradición bayesiana, pero ahora apoyada por el análisis de grandes conjuntos de datos, la asignación de probabilidad a un suceso se basa en la probabilidad de su inverso (probabilidad *a priori*), a través del resultado en experimentos conocidos (probabilidad inversa, probabilidad compuesta y teorema de Bayes). En contraposición a la otra gran escuela clásica, la asignación a través de la frecuencia (probabilidad determinista o frecuentista) (Drury, 2019 Aug):

Cohen afirma que el objetivo de la estimación puntual bayesiana es: "obtener la estimación a posteriori sobre algunos parámetros, en un conjunto fijo

de parámetros", y vincula este objetivo con **un enfoque frecuentista conocido como estimación de máxima verosimilitud**. Cohen afirma que la estimación bayesiana máxima a posterior (MAP, maximum a posterior en inglés) es una técnica adecuada. El resto de la sección describe los principios matemáticos de MAP, así como su capacidad para adherirse al principio de longitud mínima de mensaje, que es una encapsulación de la navaja de Occam. La sección también incluye subsecciones sobre suavizado (probabilidades predeterminadas para palabras que están ausentes de los datos de la muestra) y regularización, así como el cálculo de MAP con variables latentes.

En otro trabajo Barrow (2019 Apr), glosando el libro de Cohen dice:

El procesamiento del lenguaje natural (PNL) experimentó una profunda transformación a mediados de la década de 1980 cuando cambió para hacer un uso intensivo de corpora y de técnicas basadas en datos orientadas al análisis del lenguaje. Desde entonces, el uso de técnicas estadísticas en PNL ha evolucionado de varias formas. Un ejemplo de evolución tuvo lugar a finales de la década de 1990 o principios de la de 2000, cuando se introdujeron las herramientas bayesianas, en toda regla, en el PNL. Este enfoque bayesiano del PNL ha llegado a suplir resolviendo varias deficiencias en el enfoque frecuentista enriqueciéndolo, especialmente en el entorno no supervisado, donde el aprendizaje estadístico se realiza sin ejemplos de predicción de objetivos.

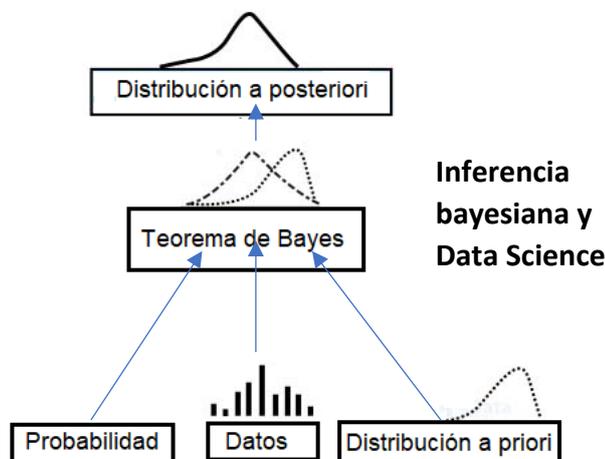


Fig. 2

En resumen: Hemos visto este uso de la probabilidad bayesiana (Fig. 2), en modelos de epidemiología, para determinar modelos de evolución de datos sobre contagio y fallecimientos en el COVID y en el procesamiento del lenguaje natural. Pero igualmente podríamos verlo en multitud de casos en los más variados campos científicos y de análisis de procesos. De esta forma, con la automatización de los métodos bayesianos y el uso de modelos gráficos probabilísticos es posible identificar patrones y anomalías en voluminosos conjuntos de datos en campos tan diversos como son los corpus lingüísticos, los mapas astronómicos, añadir funcionalidades a la práctica de la resonancia magnética,

o a los hábitos de compra con tarjeta, online o smartphones. Esto por señalar sólo algunos casos, como son los que se asocian con el análisis de grandes datos y la teoría bayesiana. Pero hay muchos más (Bundy, 2007; Wing, 2008 citados en Zapata-Ros, 2020 agosto).

Así pues, este esquema que hemos analizado en el artículo de The Lancet, está presente en multitud de casos. Así decíamos (Zapata Ros, Agosto 2020) que, si consideramos que el pensamiento bayesiano, esta forma de proceder, como una parte un elemento más y relevante, del pensamiento computacional, entonces a lo dicho en anteriores ocasiones hay que añadir ahora la idea de **pensamiento computacional omnipresente** (*pervasive computational thinking*) como avance y desarrollo de lo tratado en el pensamiento computacional simple, el que Wing (2006) plantea en su primera aproximación.

De esta forma se habla del “pensamiento computacional por todas partes” (*computational thinking everywhere*) (Wing, 2008). Se hace al considerar que **ya no se trata de aspectos puramente asociados a la práctica profesional o vital ordinaria para manejarse por la vida y el mundo del trabajo, como lo ha sido lo que hemos llamado pensamiento computacional hasta ahora, sino como una preparación para la investigación básica y para metodología investigadora en casi todas las disciplinas.** Así definido, el pensamiento computacional está influyendo en la investigación en casi todas las áreas, tanto en las ciencias como en las humanidades (Bundy, 2007). Abundan evidencias sobre la influencia del pensamiento computacional en otros campos: Está transformando las estadísticas, donde con el aprendizaje automático, la automatización de los métodos bayesianos y el uso de modelos gráficos probabilísticos es posible identificar patrones y anomalías en voluminosos conjuntos de datos.

A lo dicho anteriormente hay que añadir que la perspectiva de un "pensamiento bayesiano" viene de mucho más atrás y sólo se solapa parcialmente con la analítica de datos. De hecho, ésta se puede considerar como un elemento de una metodología muy amplia que cita Wing (2008) aplicada a una serie muy amplia de casos y procesos.

En los dos casos el esquema es el mismo. El Teorema de Bayes, en una versión para una gran cantidad de variables, toma como probabilidades inversas parciales las que suministran los procesos de análisis de datos. Por ejemplo, los fallecimientos en los casos de la pandemia en los países que primero la padecieron, obteniendo cual era la función de probabilidad de casos condicionada a la de fallecidos, asumiendo que aquellos pudieran estar sesgados o falseados. Esto permitió a algunos países a aprovisionarse. A otros no. Ese mismo mecanismo aparece en los casos complejos y diversos que Bundy (2007) señala como un caso particular en lo que llama *pervasive computational thinking*.

Como elemento de pensamiento computacional, el pensamiento de Bayes es muy sencillo, comprensible y adquirible como aprendizaje y su uso como habilidad desde los cursos de secundaria. La expresión más sencilla del Teorema de Bayes es el teorema y fórmula de la probabilidad inversa. Tiene todos los elementos del teorema de Bayes y su uso incluye todos los elementos y características de esta forma de pensamiento.

Su deducción es muy sencilla, pero no es cuestión de abordarla aquí (Fig. 3), y la fórmula es

$$P(A/B) = \frac{P(B/A) \cdot P(A)}{P(B)}$$

Fig. 3

Es preciso conocer previamente en concepto de probabilidad condicionada. Esa es una probabilidad que se asigna a un suceso A, condicionada a que suceda otro suceso B, y se escribe P(A/B).

De esta manera la fórmula nos permite obtener la probabilidad de A condicionada a B --- P(A/B) --- en función o conociendo la probabilidad de B condicionada a A --- P(B/A) --- o *probabilidad inversa*.

Un uso muy frecuente, y que permite hacerse una idea de su potencia, es el relativo a obtener la eficiencia de un test, como el PCR para el COVID19.

Así, por ejemplo, nos permite obtener la probabilidad de que alguien esté enfermo de COVID cuando la PCR da positiva, en función de la probabilidad del suceso inverso: La probabilidad de que el test PCR dé positivo estando el individuo al que se practica enfermo. Como se ve, la probabilidad en el segundo caso es muy fácil obtener pasando la prueba PCR a una población de la que sepamos positivamente que esté enferma porque se le ha diagnosticado. Sin embargo, la primera la desconocemos absolutamente.

De igual forma podemos conocer a priori la probabilidad de que alguien esté enfermo P(A), a partir de los datos empíricos y de la frecuencia con que aparece la enfermedad. También podemos calcular la probabilidad de que el test sea positivo, a partir de los datos empíricos sobre los casos en que en una población sin otros datos previos, elegidos al azar por ejemplo, dé positiva la prueba.

El teorema de Bayes en su versión clásica y completa se formula para el caso en que el suceso A se pueda descomponer en un conjunto completo y excluyente de casos elementales. Eso permite obtener la probabilidad de A, o de cualquiera de los sucesos en que se descompone, por la fórmula de la probabilidad compuesta a través de un conjunto de unos cuantos sucesos elementales. Cuando la población es muy grande y son muchos los sucesos elementales, es cuando se utiliza la analítica de datos para computar esas grandes masas de datos, procesarlos y obtener las frecuencias.

La fórmula de Bayes entonces es:

$$P[A_n/B] = \frac{P[B/A_n] \cdot P[A_n]}{\sum P[B/A_i] \cdot P[A_i]}$$

Fig. 3

Pensemos que el suceso A es tener el COVID, y que la descomposición en un conjunto de casos completos y excluyentes pueden determinarlos los intervalos de edad, las zonas de origen, los perfiles patológicos, etc. En este caso estaríamos en el supuesto que nos ofrece la revista *The Lancet*, cuyos resultados son potentísimos con un aparataje matemático muy simple.

Otra cuestión notable es que una instrucción centrada en esta componente de pensamiento computacional, o que la incluyese, en una fase temprana, en Secundaria con la fórmula de la probabilidad inversa, permitiría activar estos aprendizajes como componentes muy valiosos y complejos en una etapa posterior de la actividad profesional o investigadora, o en la fase de formación, grados y postgrados, de estas profesiones o que capacitan para estas actividades y profesiones.

La idea y la definición del pensamiento computacional hasta ahora

En lo que sigue hablaremos de la relevancia de los ecosistemas de investigación sobre pensamiento computacional y de su difusión. Hablaremos igualmente de la investigación y de la difusión de una concepción del pensamiento computacional. En concreto lo haremos teniendo en cuenta un esquema determinado y de una definición singular, la holística por componentes, de pensamiento computacional y de cómo se integra en ese esquema el pensamiento bayesiano.

En 2016, el informe de la UE *Developing computational thinking in compulsory education. European Commission, en JRC Science for Policy Report 68* (Bocconi et al, 2016) se hace eco del trabajo (Zapata-Ros, 2015) titulado “Pensamiento computacional: Una nueva alfabetización digital”, en particular de la definición holística por componentes.

Un trabajo con rigor sobre el tema es el publicado por Roig-Vila y Moreno-Isac (2020) *El pensamiento computacional en Educación. Análisis bibliométrico y temático*. En él se trata de analizar la literatura científica que hay sobre la aplicación del pensamiento computacional en Educación, tomando como referencia las colecciones principales de la base de datos *Web of Science*. Para ello se lleva a cabo una revisión sistemática en la que se han tenido en cuenta las variables año de publicación, países con más producciones, autorías más productivas en este campo y las fuentes documentales con mayor número de publicaciones, que es lo que a nuestro propósito interesa, pero

además los autores “han realizado una clasificación según los tipos de documentos y los métodos de investigación utilizados, así como las etapas educativas objeto de estudio y los lenguajes de programación utilizados”.

Para comprender el pensamiento bayesiano como una componente del pensamiento computacional es necesario antes conocer la conceptualización de éste que lo hace posible y donde se inserta.

En las líneas siguientes vamos a desarrollar, partiendo de un concepto general y de forma la más sencilla posible, esta conceptualización del pensamiento computacional como un conjunto de elementos que tienen de común no solo su carácter de habilidades básicas en una nueva inculturación sino su carácter de conjunto de habilidades que se unen y se combinan de forma armónica para la resolución de problemas vitales y profesionales. Es decir, es un saber orientado a la práctica y al desenvolvimiento cultural

En su acepción más sencilla se considera el pensamiento computacional como una serie de habilidades específicas que sirven a los programadores para hacer su tarea, pero que también son útiles a la gente en su vida profesional y en su vida personal como una forma de organizar la resolución de sus problemas, y de representar la realidad que hay en torno a ellos. En un esquema más elaborado este complejo de habilidades constituye una nueva alfabetización ---o la parte más sustancial de ella--- y una inculturación para manejarse en una nueva cultura, la cultura digital en la sociedad del conocimiento.

En sus inicios allá por 2012 (Stross, 31 de marzo de 2012) se otorgó gran importancia a este conjunto de habilidades como la base de una formación que era necesaria en el mundo de la producción, el comercio y los servicios, donde los ordenadores y las redes constituían el soporte y la vía por donde circulaban los flujos de todas las actividades, pero no solo en la producción y en el comercio, sino en su gestión y en su control.

En noviembre-diciembre de 2014 (Zapata-Ros, 2014) señalábamos que la sociedad, la economía demanda profesionales cualificados en las industrias de la información. Esto ha sensibilizado a políticos e instituciones a abordar el problema desde el punto de vista de la formación. Las sociedades más avanzadas han visto que se trata de una nueva alfabetización, la alfabetización digital, y que como tal hay que comenzar desde las primeras etapas del desarrollo individual, al igual como sucede con otras habilidades clave: la lectura, la escritura y las habilidades matemáticas. Se planteaba la disyuntiva de *“enseñar programación incluida en los contenidos básicos del curriculum o de aceptar que existe un pensamiento propio, al igual a como existe un pensamiento heurístico o un pensamiento divergente —al que ya se denomina pensamiento computacional, y al que algunos hemos llamado precoding (algoritmia, análisis descendente, análisis ascendente, modularización, recurrencia, backtracking, ...) — y que habría que empezar por un diseño que favorezca la adquisición de este pensamiento desde las primeras etapas de aprendizaje. En nuestra propuesta optamos por la segunda*

y establecimos la definición de pensamiento computacional por componentestest (cita) en el libro El pensamiento computacional, análisis de una competencia clave”.

Antes se formularon las que consideramos definiciones clásicas, las que se repiten en artículos y conferencias, las que de forman sintética como veremos y por tanto parcial los aspectos más llamativos del pensamiento computacional y que, como en el caso de Wing (2008) al poco fueron sustituidas por definiciones más complejas y por tanto más ajustadas a la complejidad del fenómeno.

La primera de la que tenemos noticia con este nombre y refiriéndose claramente a este concepto es la de la informática Tasneem Raja(2014) en el post *We Can Code It!* , de la revista-blog *Mother Jones* que utiliza la imagen de la realidad como un puzzle. E una forma intuitiva en la que una autora, que proviene del mundo computacional, aborda una serie de métodos ampliamente conocidos en el mundo de la psicología del aprendizaje, además del de la computación. Implícitamente está hablando de análisis descendente y de elaboración

Pero la definición más conocida es la de Wing (2006), a la que siempre se recurre. Es muy general y fácilmente comprensible y aceptable por el lector, pero no nos da pautas concretas para discernir lo que es pensamiento computacional de otras habilidades que no lo son y sobre todo para operativizar esas habilidades o dar referencias concretas:

El pensamiento computacional consiste en la resolución de problemas, el diseño de los sistemas, y la comprensión de la conducta humana haciendo uso de los conceptos fundamentales de la informática.

Ahí realmente cabría todo. De hecho, hoy ya es algo obvio e inevitable en cualquier disciplina o aprendizaje de una práctica profesional o científica. Pero carece de un sentido holístico que le dé sentido propio como una inculturación o alfabetización propia.

Posteriormente se producen otras definiciones, como la de Grover (2018, March 13), que constituye parte del objetivo de este trabajo, que hemos visto con detalle en el apartado anterior, y otras definiciones posteriores de la propia Wing (2008), una de las cuales hemos tomado precisamente para introducir el concepto de pensamiento bayesiano.

Finalmente, en un rápido resumen, no se puede soslayar la definición por componentes (holística).

Esta conceptualización y la definición correspondiente la venimos desarrollando desde junio de 2014 (Zapata-Ros, 2014) y, al día de hoy, su expresión más clara y definitiva está en el libro *El pensamiento computacional, análisis de una competencia clave* (Pérez-Paredes y Zapata-Ros, 2018), además de en posts académicos (Zapata-Ros, Diciembre 2018) (Zapata-Ros, 2014), en el artículo *Pensamiento computacional: Una nueva alfabetización digital* (Zapata-Ros, 2015) y en numerosos *preprints*.

El 13 de marzo de 2018 se publica el artículo: *The 5th ‘C’ of 21st Century Skills? Try Computational Thinking (Not Coding)*, de la profesora Shuchi Grover (2018, March 13), de Stanford, en el que por primera vez vi, y a falta de otra referencia el autor

encuentra en alguien distinto y lejano, sin contacto previo de ningún tipo, como no podría ser de otra forma, considerar el pensamiento computacional como una acumulación de habilidades y elementos de conocimiento necesarios para programar y para progresar en su vida profesional y personal, en la sociedad digital.

En el apartado dedicado a definir y delimitar el Pensamiento Computacional (PC), la autora dice que está constituido por[1]

“(…) los procesos de pensamiento involucrados en entender un problema y expresar sus soluciones de tal manera que una computadora pueda potencialmente llevar a cabo la solución. La TC se basa fundamentalmente en el uso de conceptos y estrategias analíticas y algorítmicas más estrechamente relacionadas con la informática para formular, analizar y resolver problemas.

Al igual que las habilidades de pensamiento general, la TC es un poco como el [concepto de] liderazgo: es difícil de definir, pero lo sabes cuando lo ves. Si bien muchas personas lo asocian con conceptos como la programación y la automatización, que son todas partes centrales de la informática, los educadores e investigadores han encontrado que es más fácil operacionalizarlo para los propósitos de la enseñanza, el currículo y el diseño de evaluaciones.

Eso significa desglosar las habilidades de TC en sus partes componentes, que incluyen conceptos como lógica, algoritmos, patrones, abstracción, generalización, evaluación y automatización. También significa enfoques como "descomponer" problemas en subproblemas para facilitar la resolución, creando artefactos computacionales (generalmente a través de codificación); reutilizando soluciones, probando y depurando; refinamiento iterativo.

¡Y sí, también implica colaboración y creatividad! Y además, no es necesario que involucre una computadora.

Veamos pues, de entrada señala la dificultad de definir PC, entonces adopta la posición de definir lo que es PC como, o a través de, un conjunto de cosas (Eso significa desglosar las habilidades de pensamiento computacional en sus partes componentes), la mayor parte de ellas implican o son habilidades, pero siempre son fáciles de operativizar (son todas partes centrales de la informática, los educadores e investigadores han encontrado que es más fácil **operacionalizarlo** (Shields & Rangarajan, 2013) para los propósitos de la enseñanza, el currículo y el diseño de evaluaciones) y sobre todo son posibles de incluir en un diseño educativo.

Son habilidades que incluyen facultades para operativizar la lógica (pensamiento lógico), los algoritmos (algoritmia), patrones, abstracción (pensamiento abstracto), generalización (pensamiento ascendente), evaluación y automatización. También significa enfoques como "descomponer" problemas en subproblemas para facilitar la resolución (pensamiento descendente), creando artefactos computacionales (generalmente a través de codificación); reutilizando soluciones, probando y depurando (ensayo y error); refinamiento iterativo (iteración).

¡Para concluir diciendo que “también implica colaboración (métodos colaborativos) y creatividad!”

Esta definición coincide al menos en diez de los quince elementos de la deficiencia holística por componentes que hemos señalado (Zapata-Ros, 2015)

Coincide además en la visión de nueva habilidad clave, en el contexto de la dinámica de las alfabetizaciones y de lo que es la alfabetización digital. En el artículo de Grover señala la relevancia del Pensamiento Computacional en cuanto a que constituye una competencia más a añadir a las ya aceptadas como **competencias para la sociedad digital**. En cualquier caso, lo que tienen de común ambos desarrollos, el artículo de Graves y los trabajos de quien suscribe, es que el pensamiento computacional supone un punto de inflexión.

En el caso de Shuchi Grover (2018, March 13), desde el título (*The 5th ‘C’ of 21st Century Skills? Try Computational Thinking (Not Coding)?*[2], se señala que el pensamiento computacional añade una quinta C a las ya cuatro “ces” de las competencias digitales señaladas y aceptadas por todos.

Cómo se inserta la nueva componente del Pensamiento, que hemos definido como bayesiano, en el marco del Pensamiento Computacional

Actualmente hay una revolución intelectual de alcance todavía, hoy por hoy, incalculable. Está ocurriendo a nuestro alrededor. Sin embargo, a juicio de autores como Bundy (2007) pocos lo están percibiendo y menos aún son los que lo han comentado en artículos u otros escritos académicos, *papers*, ensayos, etc. Algo como es el pensamiento computacional, que en principio se estudió con relación al aprendizaje y a la educación, ahora está influyendo en la investigación, en casi todas las disciplinas, tanto en ciencias como en humanidades.

Ya hemos señalado algunos casos al principio, para determinar modelos de evolución de datos sobre contagio y fallecimientos en el COVID y en el procesamiento del lenguaje natural. Ahora vamos a recoger algunos planteamientos interesantes que originalmente se suscitaron en un encuentro y en una serie de seminarios y talleres en Edimburgo¹. En ellos, los participantes señalaban investigaciones e investigadores que están utilizando metáforas computacionales para organizar cognitivamente “teorías tan diversas como la proteómica y el problema mente-cuerpo” (Bundy, 2007). A la apreciación inicial de que la informática ha permitido a los investigadores formular nuevos tipos de preguntas, en función de lo que hacen las *affordances*, e integrar en estudios e informes nuevos tipos de respuestas, como es, por ejemplo, preguntas que requieren el procesamiento de grandes cantidades de datos, se puede añadir una apreciación nueva que subyace en todos los casos: Que es lo que relaciona la percepción a priori de los fenómenos estudiados con el establecimiento de principios o de resultados

¹ A partir de 2005 Bundy (2012) viene organizando una serie de seminarios en la Universidad de Edimburgo, en los que han estado explorando estos temas. En cada seminario, uno o más expertos han discutido la influencia del pensamiento computacional en su disciplina que van desde la física, la biología o la medicina hasta la filosofía, la arquitectura, y educación

generales o futuros. En todos los casos se observa este principio bayesiano: Combinar la analítica de datos, para establecer probabilidades a priori, con la fórmula de Bayes.

De esta forma vemos que la capacidad del pensamiento computacional, para ayudar a formular nuevas e innovadoras orientaciones a la investigación, no se limita al campo cerrado de la ciencia *informática electrónica*. Hay algo más allá, que integra otros campos y particularmente el pensamiento bayesiano. En el transcurso del seminario (Bundy, 2012) sugirió a modo de ejemplo algo que podría ilustrar la cuestión. Se trata de un problema de reconocimiento facial, planteado inicialmente por Vicki Bruce y sus colaboradores (Bundy, 2012). No se pudo resolver sólo mediante el uso de técnicas de transformación de imágenes. Para ello utilizó el caso (Bundy 2007) de una conocida secuencia de imágenes que transforman a Tony Blair en Margaret Thatcher en 5 etapas.

En este contexto señaló que no fueron suficientes los primeros experimentos de Bruce con fotos, de cortar y pegar. Era demasiado tosco para proporcionar las gradaciones finas, la secuencia entre las imágenes necesarias entre las que se disponían, para establecer una continuidad entre hipótesis aceptables psicológicamente por el observador. El trabajo de Bruce (2005 citado en Bundy, 2007) también mostró que no se puede simplemente adaptar los enfoques basados en características del trabajo temprano de la visión por computadora y esperar que esto proporcione una descripción psicológicamente válida, lista para usar de la visión humana. En cambio, y esto es lo importante, las caras pueden estar codificadas en la memoria abstrayéndolas en una pequeña colección de rasgos arquetípicos. Entonces, el reconocimiento facial consiste en hacer coincidir la imagen actual con el arquetipo más similar, pero *según un criterio de similitud basado en un modelo bayesiano* del tipo de “qué probabilidad hay de que este rasgo sea compatible o evolución de uno que tenemos cuando la frecuencia en la realidad de los casos que disponemos es conocida”. Y establecer una probabilidad crítica como aceptable. Sería una especie de variación del algoritmo de PageRank o de Science Citation Index (SCI) pero con la fórmula de la probabilidad inversa y la fórmula de Bayes.

Este es uno de los muchos casos que pueden plantearse, algunos de los cuales se expusieron en el seminario de la Universidad de Edimburgo (Bundy 2012). Pueden dar una idea de la variedad de ocasiones en las que se puede aplicar no sólo el pensamiento computacional sino variantes de la fórmula de Bayes y Big Data en todo tipo de disciplinas y a todo tipo de pensamiento investigativo. A pesar de esta amplitud de situaciones, quien manda en cada caso, los temas clave, proceden y siguen surgiendo de cada disciplina. Estos factores, como la capacidad que proporciona el pensamiento computacional para investigar nuevas líneas o para plantear nuevas preguntas que antes no era posible desde la perspectiva clásica; la infiltración de conceptos computacionales en las teorías de otras disciplinas; y sobre todo la relación entre estos factores y su influencia en el resultado mediante el *Big Data* con Bayes, hacen más sutil y profundo el análisis mediante las claves que proporcionan las propias disciplinas.

Hasta ahora el discurso era que el pensamiento computacional influiría en todos en todos los campos de la actividad. Como consecuencia, esta visión plantea un nuevo desafío educativo para nuestra sociedad, especialmente para nuestros niños. Al pensar en la informática, debemos estar en sintonía con los tres impulsores de nuestro campo: ciencia, tecnología y sociedad. Los avances tecnológicos acelerados y las monumentales demandas de la sociedad nos obligan a revisar las cuestiones científicas más básicas de la

informática. Pero esta visión, se quedaba ahí, en adoptar un enfoque para resolver problemas, diseñar sistemas y comprender el comportamiento humano que se basa en conceptos fundamentales para la computación¹ (Wing 2006). Visión que todo lo más era completada y desglosada con las aportaciones de Suchi Grover (2018, March 13) y de quien escribe (Zapata-Ros, 2015).

Otra característica que tenía y que ahora cambia, es que el pensamiento computacional es una derivación de pensamientos anteriores, coexistentes con otras disciplinas por separado, si bien nuestra contribución era el carácter holístico (Coll, 2019). Así en general estaba constituido por una especie de pensamiento analítico procedente de las matemáticas, la lógica, la ingeniería, etc. Hasta ahora de forma subsidiaria respecto de estas materias, compartía con el pensamiento matemático las formas generales en las que podríamos abordar la resolución de un problema. En particular compartía con el pensamiento de la ingeniería los procedimientos generales con los que podríamos abordar el diseño y la evaluación de un sistema grande y complejo, que opera con las limitaciones del mundo real. Compartía con el pensamiento científico aspectos generales con los que podemos abordar la comprensión y el dominio de la computabilidad (matemáticas, lógica, electrónica,...). Y compartía con la psicología la forma en que abordan los problemas la inteligencia, la cognición y el comportamiento humano.

Pero ahora ha cambiado ya no solo es una cuestión educativa, sino una cuestión procedimental y metodológica que impregna e infiltra toda la actividad científica y profesional, sobre todo a partir del pensamiento bayesiano, y que adquiere una relevancia y una entidad propia, independiente de las disciplinas de las que antes era subsidiario, compartiendo su carácter fragmentario.

Esto nos lleva a decir que se trata de un pensamiento computacional omnipresente (*pervasive computational thinking*), determinado en gran parte por su componente bayesiana. Es un pensamiento que posee una entidad propia.

En esta idea insisten tanto Wing (2008) como a través de ella Bundy (2007): "El pensamiento computacional está influyendo en la investigación en casi todas las disciplinas, tanto en ciencias como en humanidades" (Bundy 2007). Pero es aquella autora quien explícitamente afirma la potencia del modelo bayesiano: "Abundan las evidencias de la influencia del pensamiento computacional en otros campos: particularmente el pensamiento computacional está transformando las estadísticas. Donde, con el aprendizaje automático propiciado por la automatización de los métodos bayesianos y el uso de modelos gráficos probabilísticos permiten identificar patrones y anomalías en voluminosos conjuntos de datos". Este proceder se presenta por igual en campos tan diversos como en la elaboración de mapas astronómicos, en elaboración de imágenes y representaciones de escaneos por resonancia magnética, reconocimiento de patrones de compras con tarjeta de crédito y de sus recibos emitido por superficies de venta, etc.

Además de lo dicho, Fisher y Henzinger (2007) señalan esta forma de pensamiento computacional como algo capaz de "transformando la biología". Utilizan dos casos, el primero es el del "algoritmo de secuenciación por escopeta"² (*shotgun*

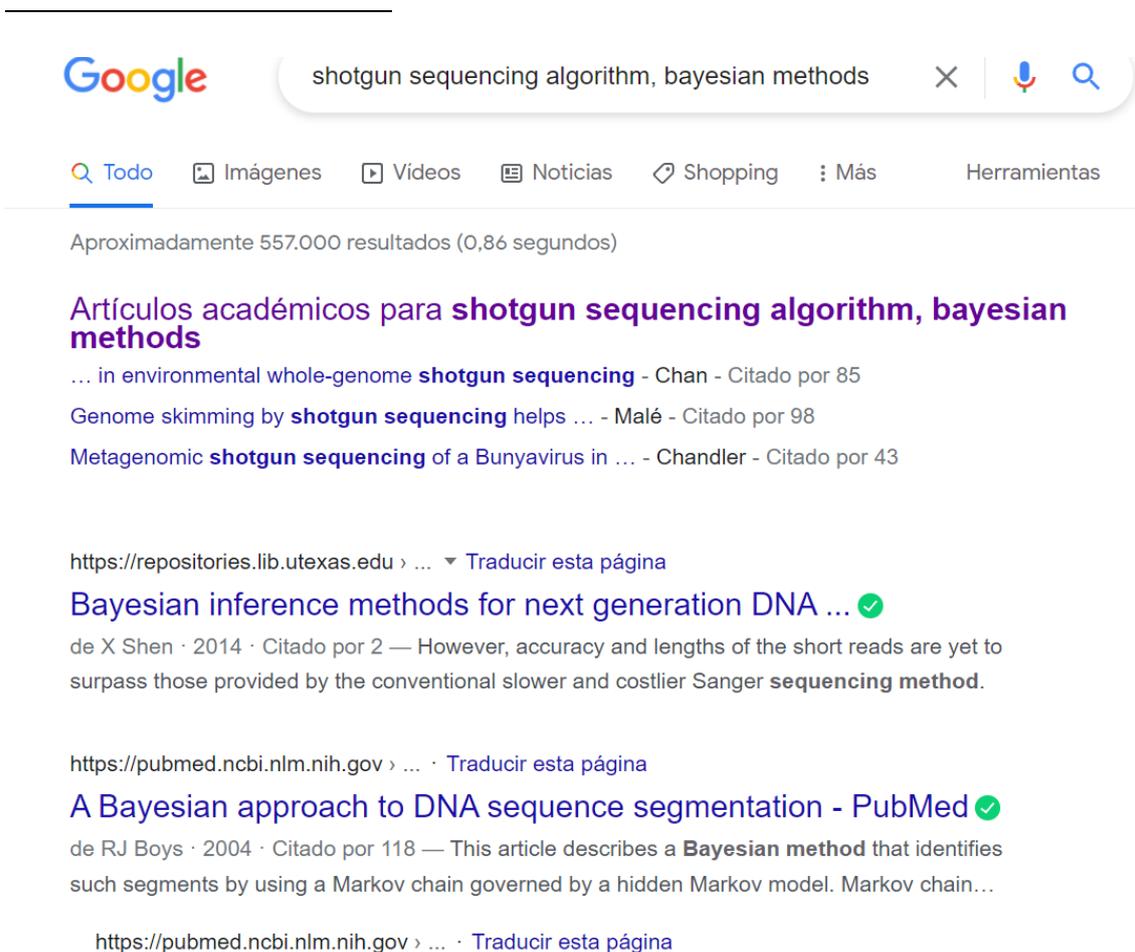
² Si escribimos en Google "shotgun sequencing algorithm, bayesian methods" aparece una gran cantidad de trabajos:

sequencing algorithm) que acelera nuestra capacidad para secuenciar el genoma humano. El segundo es el uso del pensamiento abstracto, similar o incluido en el pensamiento computacional, para representar procesos dinámicos que se encuentran en la naturaleza, desde el ciclo celular hasta el plegamiento de proteínas. Por último, Abraham, Blum y Sandholm (2007) presentan casos en la economía, señalando que “el pensamiento computacional está transformando la economía, generando un nuevo campo de microeconomía computacional, con aplicaciones como la colocación de anuncios, subastas en línea, servicios de reputación e incluso encontrar donantes óptimos para el intercambio renal”.

De esta forma se habla indistintamente de un *pervasive computational thinking*, un pensamiento computacional omnipresente que lo permeabiliza todo, que es penetrante. En definitiva, de un pensamiento computacional por todas partes.

Conclusiones para la práctica

De todo lo dicho ¿qué conclusiones podemos sacar para la práctica, en la formación en nuestros alumnos, acerca de lo que hemos conceptualizado como *pensamiento computacional bayesiano*, o de lo que Bundy (2007) y Wing (2008) han llamado pensamiento computacional *pervasive* (omnipresente), para que esos



The image shows a Google search interface. The search bar contains the text "shotgun sequencing algorithm, bayesian methods". Below the search bar, there are navigation links for "Todo", "Imágenes", "Vídeos", "Noticias", "Shopping", "Más", and "Herramientas". The search results show approximately 557,000 results in 0.86 seconds. The top results are academic articles:

- Artículos académicos para *shotgun sequencing algorithm, bayesian methods***
 - ... in environmental whole-genome **shotgun sequencing** - Chan - Citado por 85
 - Genome skimming by **shotgun sequencing** helps ... - Malé - Citado por 98
 - Metagenomic **shotgun sequencing** of a Bunyavirus in ... - Chandler - Citado por 43
- <https://repositories.lib.utexas.edu> > ... · Traducir esta página
- Bayesian inference methods for next generation DNA ...** ✓
de X Shen · 2014 · Citado por 2 — However, accuracy and lengths of the short reads are yet to surpass those provided by the conventional slower and costlier Sanger **sequencing method**.
- <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov> > ... · Traducir esta página
- A Bayesian approach to DNA sequence segmentation - PubMed** ✓
de RJ Boys · 2004 · Citado por 118 — This article describes a **Bayesian method** that identifies such segments by using a Markov chain governed by a hidden Markov model. Markov chain...
- <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov> > ... · Traducir esta página

aprendizajes, conceptos y habilidades puedan ser activados en su formación universitaria o profesional?

Y, sobre todo, qué diseño curricular y qué diseño instruccional haremos en Primaria, Secundaria (K-12) y Bachillerato (*High School*) para que ello sea posible. Por último, ¿qué nos dice actualmente la revisión de la literatura?

Tras una primera indagación, ciñéndonos a lo que nos ofrecen, con respecto a la práctica y la investigación sobre estos temas, las plataformas de difusión de la ciencia y los repositorios científicos (Core Collection de WoS, CiteScore, SJR de SCImago y Google Scholar), llegamos a la conclusión de que hay dos vías a seguir.

Una es la que nos plantea el trabajo de Joshua M. Rosenberg (2020), donde la cuestión es abordar el problema directamente por los alumnos y crearles habilidades para ello. Según este planteamiento, se trata de que los estudiantes desarrollen habilidades para establecer modelos y patrones en la ciencia, de carácter científico, a partir de grandes masas de datos y, obviamente, a partir del Teorema de Bayes. Pero sin penetrar en la naturaleza de éste, sino simplemente con la aplicación de herramientas que los integren (análisis de datos a partir de resultados preliminares y fórmula de Bayes) para el establecimiento de relaciones y conexiones entre hipótesis previas y determinadas leyes científicas, que se postulan previamente de forma hipotética, y se formulan según la lógica y la sintaxis (el estilo) de la ciencia.

Con ello se trata de que los alumnos aprendan la lógica, la dinámica y la naturaleza de la ciencia. También de su método y de su lenguaje.

Por tanto, lo que se desarrollaría, según esta tendencia, no es un pensamiento computacional, tal como todo el tiempo lo hemos considerado, sino un pensamiento científico. O mejor un método que ahora se ve como muy frecuente, potente y necesario: La combinación de la Fórmula de Bayes con el análisis de grandes datos. El aprendizaje de una nueva metodología científica.

La otra opción es que los alumnos aprendan qué es el Teorema de Bayes y apliquen su naturaleza profunda --- el para qué está hecho y definido--- con el fin de aplicarlo a la resolución de problemas concretos de la vida real de la ciencia, las artes o la profesión, de igual forma a como se hacía con otros elementos del Pensamiento Computacional (Zapata-Ros, 2015) (Grover, 2018). Recordemos, de entre ellos, al análisis descendente, análisis ascendente, recursividad, metacognición, pensamiento divergente, etc.

Recordemos que entonces (Zapata-Ros, 2015) entendíamos el aprendizaje como algo complejo, profundo. Con dominio (*mastery learning*) (Zapata-Ros, Febrero 2021 p. 40) (Bloom, May 68, 1976), entendiendo por tal (Zapata-Ros, 2021 p.34) (Gagné, 1965, 1985) Gagné & Briggs, 1974) (Merrill, 2002a, 2002b, 2009 y 2012) que existe comprensión, atribución de sentido e incorporación al bagaje de ideas, métodos, procedimientos y valores del alumno, que el alumno puede trabajar con estos aprendizajes de forma autónoma y, por último, que puede transferirlo a situaciones nuevas y originales. Analizando y adquiriendo además la habilidad de reconocer cuáles son los problemas que se resuelven con estos métodos. Pero que, sobre todo, es un aprendizaje en el sentido de

que admite una evaluación basada en el reconocimiento de ese dominio, en el logro de cada alumno.

Pues bien, actualmente no hemos encontrado ningún caso en que esto se plantee así en K-12 (Secundaria), o en el nivel educativo equivalente de otros países, de forma similar a como se hace con el Pensamiento Computacional, con las mismas características, en ningún sitio. Lo cual no le resta importancia, sino que revela que es un planteamiento muy temprano.

Por supuesto el fundamento de esta práctica educativa sería similar al que hemos visto para *unplugged*: El principio de activación (Merrill, 2002a, 20002b, 2009 y 2012). Pero esta situación no hace sino confirmar que estamos en un estadio muy temprano de la cuestión.

Presentación del artículo: 1 de julio 2021
Fecha de aprobación: 11 de noviembre de 2021
Fecha de publicación: 30 de noviembre de 2021

Zapata-Ros, M. y Buenaño-Palacios, Y. (2021). El pensamiento bayesiano, un pensamiento computacional omnipresente. <i>RED. Revista de Educación a Distancia</i> . Núm. 68, DOI: http://dx.doi.org/10.6018/red.496321

Financiación

Este trabajo no ha recibido ninguna subvención específica de los organismos de financiación en los sectores públicos, comerciales o sin fines de lucro

Referencias

- Abraham, D., Blum, A. & Sandholm, T. 2007 Clearing algorithms for barter exchange markets: enabling nationwide kidney exchanges. In Proc. 8th ACM Conf. on Electronic Commerce, pp. 295–304. New York, NY: Association for Computing Machinery.
- Barrow, B. (2019 Apr) *Bayesian Analysis in Natural Language Processing: Cohen*. <https://linguistlist.org/issues/30/30-1843/>
- Bloom, B. S. (1984a). *The 2 sigma problem: The search for methods of group instruction as effective as one-to-one tutoring*. Educational researcher, 13(6), 4-16. <https://www.jstor.org/stable/pdf/1175554.pdf>
- Bloom, B. (May 68). *Learning for Mastery. Instruction and Curriculum*. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED053419.pdf>
- Bloom, B. S. (1976). *Human characteristics and school learning*. McGraw-Hill. Página 59 de 63

- Bloom, B. (1984b). *The 2 Sigma Problem: The Search for Methods of Group Instruction as effective as One-to-One Tutoring*, Educational Researcher, 13:6 (4-16).
https://inst.eecs.berkeley.edu/~cs375/sp15/resources/Bloom_The2SigmaProblem.pdf
- Bocconi, S., Chiocciariello, A., Dettori, G., Ferrari, A., Engelhardt, K., Kampylis, P., & Punie, Y. (2016). Developing computational thinking in compulsory education. *European Commission, JRC Science for Policy Report*, 68.
- Bruce, V. (2005). *About Face*. <http://www.inf.ed.ac.uk/research/programmes/comp-think/slides/Bruce.pdf>
- Bundy, A. 2007 Computational thinking is pervasive. *J. Scient. Pract. Comput.*1, 67–69. <https://www.inf.ed.ac.uk/publications/online/1245.pdf>
- Bundy, A. (2012) *COMPUTATIONAL THINKING SEMINARS. SCHOOL OF INFORMATICS*. University of Edimburgh. https://www-inf-ed-ac-uk.translate.goog/research/programmes/comp-think/previous.html?_x_tr_sch=http&_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=nui,op
- Cohen, S. (2019). Bayesian analysis in natural language processing. *Synthesis Lectures on Human Language Technologies*, 12(1), 1-343.
- Coll, C. (2019). Presentación y prólogo del libro " El pensamiento computacional. Análisis de una competencia clave". *Revista de Educación a Distancia*, 19. <https://revistas.um.es/red/article/view/395281>
- Drury, B.(2019 Aug). Bayesian Analysis in Natural Language Processing, in *Review: Computational Linguistics; Text/Corpus Linguistics: Cohen (2019)*. <https://linguistlist.org/issues/30/30-4380/>
- Fisher, J. & Henzinger, T. A. 2007 Executable cell biology. *Nat. Biotechnol.* 25, 1239–1249. (doi:10.1038/nbt1356)
- Gagné, R. M. (1965). *The conditions of learning and theory of instruction* (1st ed.). New York, NY: Holt, Rinehart & Winston.
- Gagné, R. M., & Briggs, L. J. (1974). *The principles of instructional design* (1st ed.). New York, NY: Holt.
- Gagné, R. M. (1985). *The conditions of learning and theory of instruction* (4th ed.). New York, NY: Holt, Rinehart & Winston. Gagne, R. M.,& Medsker, K. L. (1996). *The conditions of learning: Training applications*. Fort Worth, TX: Harcourt Brace College Publishers.
- Grover, S. (2018, March 13). The 5th 'C' of 21st century skills? Try computational thinking (not coding). Retrieved from EdSurge News: <https://edtechbooks.org/-Pz>
- Merrill, M. D. (2002a). First principles of instruction. *Educational technology research and development*, 50(3), 43-59.
[http://csapoer.pbworks.com/f/First+Principles+of+Instruction+\(Merrill,+2002\).pdf](http://csapoer.pbworks.com/f/First+Principles+of+Instruction+(Merrill,+2002).pdf)

- Merrill, M. D. (2012). *First principles of instruction*. John Wiley & Sons.
- Merrill, M. D. (1991). Constructivism and instructional design. *Educational technology*, 31(5), 45-53.
- Merrill, M. D. (2002b). First principles of instruction. *Educational Technology Research and Development*, 50(3), 43-59. *Instructional-Design Theories and Models, Volume III: Building a Common Knowledge Base*.
- Merrill, M. D. (2009). First Principles of Instruction. In C. M. Reigeluth & A. Carr (Eds.), *Instructional Design Theories and Models: Building a Common Knowledge Base (Vol. III)*. New York: Routledge Publishers.
- Raja, T. (2014). We Can Code It! Why computer literacy is key to winning the 21st century. *Mother Jones*, June
- Shields, P. M., & Rangarajan, N. (2013). *A playbook for research methods: Integrating conceptual frameworks and project management*. New Forums Press.
- Roig-Vila, R., & Moreno-Isac, V. (2020). El pensamiento computacional en Educación. Análisis bibliométrico y temático. *Revista de Educación a Distancia*, 20(63). <https://revistas.um.es/red/article/view/402621>
- Román González, M. (2016). Codigoalfabetización y pensamiento computacional en educación primaria y secundaria: validación de un instrumento y evaluación de programas. *E-spacio UNED*. <http://e-spacio.uned.es/fez/view/tesisuned:Educacion-Mroman>
- Rosenberg, J. (2020). More confidently uncertain? Teaching learners to apply Bayesian methods to make sense of scientific phenomena. <https://joshuamrosenberg.com/publications/rosenberg-2020-icls-ecw-copyright.pdf> y <https://edarxiv.org/7rptw/download>
- Stross, R. (31 de marzo de 2012) Computer Science for the Rest of Us. <https://www.nytimes.com/2012/04/01/business/computer-science-for-non-majors-takes-many-forms.html>
- Verity, R., Okell, L. C., Dorigatti, I., Winskill, P., Whittaker, C., Imai, N., ... & Ferguson, N. M. (2020). Estimates of the severity of coronavirus disease 2019: a model-based analysis. *The Lancet infectious diseases*, 20(6), 669-677. [https://www.thelancet.com/journals/laninf/article/PIIS1473-3099\(20\)30243-7/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/laninf/article/PIIS1473-3099(20)30243-7/fulltext) y <https://www.thelancet.com/action/showPdf?pii=S1473-3099%2820%2930243-7>
- Wing, J.M. (2006) Computational thinking. it represents a universally applicable attitude and skill set everyone, not just computer scientists, would be eager to learn and use. *Commun. ACM* 49(3). <https://doi.org/10.1109/vlhcc.2011.6070404>
- Wing, J.M. (July 2008) Computational thinking and thinking about computing. *The Royal Society Publishing*. <https://doi.org/10.1098/rsta.2008.0118> <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsta.2008.0118> <https://royalsocietypublishing.org/doi/pdf/10.1098/rsta.2008.0118>
- Zapata-Ros, M. (2014) <https://red.hypotheses.org/776>

Zapata-Ros, M. (2015). Pensamiento computacional: Una nueva alfabetización digital. *RED. Revista de Educación a Distancia*, (46). Recuperado de: <https://www.um.es/ead/red/46/>

Zapata Ros, M. & Pérez Paredes, P. (2018). El pensamiento computacional, análisis de una competencia clave. *New York: Create Space Independent Publishing*. <https://www.amazon.es/pensamiento-computacional-analisis-competencia-clave/dp/1718987730>

Zapata-Ros, M. (Enero 2018) <https://red.hypotheses.org/1079>

Zapata-Ros, M. (January 2019) Pensamiento computacional desconectado. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.12945.48481>

Zapata-Ros, M. (Agosto 2020). El pensamiento computacional, una cuarta competencia clave planteada por la nueva alfabetización (II). Una nueva línea: computational thinking everywhere, pervasive computational thinking y el pensamiento bayesiano. *RED de Hypotheses*. <https://red.hypotheses.org/2123>

Zapata-Ros, M. (febrero de 2021). *Capítulo 5. La evaluación en la educación de la pandemia y después de la pandemia*. DOI: 10.13140/RG.2.2.21911.29605 <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.21911.29605> y https://www.researchgate.net/publication/349212529_Capitulo_5_La_evaluacion_en_la_educacion_de_la_pandemia_y_despues_de_la_pandemia?channel=doi&linkId=60250c0e92851c4ed563a7be&showFulltext=true

[1] It is the thought processes involved in understanding a problem and expressing its solutions in such a way that a computer can potentially carry out the solution. CT is fundamentally about using analytic and algorithmic concepts and strategies most closely related to computer science to formulate, analyze and solve problems.

Like general thinking skills, CT is a bit like leadership—hard to define, but you know it when you see it. While many people associate it with concepts like programming and automation—which are all core parts of computer science—educators and researchers have found it easier to operationalize it for the purposes of teaching as well as curriculum and assessment design.

That means breaking down CT skills into its component parts, which include concepts like logic, algorithms, patterns, abstraction, generalization, evaluation, and automation. It also means approaches like “decomposing” problems into subproblems for ease in solving, creating computational artifacts (usually through coding); reusing solutions, testing and debugging; iterative refinement.

And yes, it also involves collaboration and creativity! And furthermore, it does not need to involve a computer.

[2] ¿La 5ta 'C' de las habilidades del siglo XXI? ¿Es de verdad el pensamiento computacional?