

Experimento sobre la génesis de la noción de algoritmo

Juan Grompone

Abstract

This paper presents experimental results on some simple completion strategies for a computer puzzle. Adult average time for algorithmic proceeding is used to calibrate six to thirteen year old kids performance. Conclusions point out the distance between kids and algorithm concept. Extrapolation of these results suggests that algorithm concept comprehension be expected to occur at about the age of fifteen, with a typical standard deviation estimated in 2 years minimum. This allows us to conclude that is not possible to teach programming concepts before almost high school ending.

Key words:

Epistemology, Jean Piaget, algorithm, programming, elementary school education, Logo, high-school education, BASIC, experimental measurements.

Resumen

En este trabajo se emplea un puzzle de computadora que exige alguna estrategia simple para ser completado. La media de tiempos realizada con niños entre 6 y 13 años se contrasta con la calibración realizada por adultos que proceden en forma algorítmica. Se concluye que los niños se encuentran lejos de poseer la noción de algoritmo o procedimiento preciso. La extrapolación de estos resultados sugiere que recién a la edad media de 15 años, con una desviación típica que se estima en 2 años como mínimo, corresponde a la comprensión de la noción de algoritmo. Esto permite concluir que no es posible enseñar a programar a los niños antes de los últimos años de la enseñanza media.

Palabras claves:

epistemología, Jean Piaget, algoritmo, programación, enseñanza primaria, Logo, enseñanza media, BASIC, medidas experimentales.

Contexto de la experiencia

La experiencia que se analiza en este trabajo se realizó durante los estudios preliminares del Plan CEIBAL (una computadora por niño y por maestro de la Enseñanza Primaria pública). Entre el 30 de enero y el 8 de febrero de 2007 –en la Escuela N° 160 de Verano en Malvín Norte, Montevideo, zona de *contexto social crítico*– se realizó un acercamiento entre niños escolares y las computadoras XO que posteriormente se

emplearían en el Plan CEIBAL. En esta oportunidad se pudieron observar las primeras reacciones de niños y maestros. También fue posible realizar algunas medidas que se presentan en este trabajo.

Desde comienzos del siglo XX Jean Piaget y colaboradores estudiaron en forma experimental la génesis del conocimiento en los niños, muy particularmente las nociones matemáticas y físicas, ver [1], [2], [3], [4] y [5]. No es necesario adherir a la propuesta de la epistemología genética, ver [6], para comprender que estos estudios constituyeron un acercamiento experimental muy importante a problemas vinculados con la educación y, posiblemente, con el conocimiento humano. Este trabajo emplea una metodología cercana a la desarrollada por Piaget.

Piaget murió en 1980 y no conoció, por lo tanto, el fenómeno de la aparición y difusión de las computadoras personales. No obstante esto, alguno de sus seguidores –notoriamente Seymour Papert–¹ tiene una notoria actuación en el área de las computadoras. El primer aporte de Papert fue Logo, un lenguaje de computación creado en 1967² con la intención de servir como instrumento para la educación, en particular primaria. Posteriormente Papert formó parte de la propuesta 1:1 –una computadora por niño– que está en la base del Plan CEIBAL.

Algo antes de Logo, en 1963, fue desarrollado en lenguaje BASIC en el Dartmouth College con la finalidad de acercar las computadoras a los estudiantes de ciencias y, posteriormente, a la enseñanza media. No cabe duda que BASIC fue más popular que Logo y fue el lenguaje adoptado por las computadoras personales desde su nacimiento.

La programación se vinculó con las computadoras desde los comienzos. Pasó algún tiempo antes de que descubrieran otras actividades relacionadas a las computadoras tales como el uso de aplicaciones de cálculo y oficina, el diseño funcional de aplicaciones, la teoría de los algoritmos y muchos otros temas. Lo curioso del caso es que se haya pretendido, casi desde el comienzo, que los niños o los adolescentes programen computadoras sin haber investigado antes si esto era posible. Resulta paradójico que se invoque a Piaget, el maestro de los estudios experimentales sobre la génesis del conocimiento, y no se estudie previamente si esto es posible.

Este trabajo pretende recordar que la habilidad para programar computadoras es un tema que no ha sido estudiado experimentalmente todavía. También pretende realizar un estudio introductorio al problema y proponer algunas líneas de futuras investigaciones experimentales.

Finalidad de la experiencia

La experiencia realizada tiene por finalidad realizar un primer estudio experimental sobre lo que sería la obra que falta de Piaget: “la génesis de la noción del algoritmo en el niño y el adolescente”. La actividad de programar una computadora, como lo pretende Logo o BASIC, requiere

¹ Piaget dijo alguna vez “nadie comprende mis ideas tan bien como Papert”.

² Logo originalmente fue desarrollado en la consultora Bolt, Beranek y Newman y posteriormente implementado en el MIT hacia 1969.

manejar un concepto abstracto: el concepto de *procedimiento preciso* o *algoritmo*. Un programa es una realización, en un lenguaje formal, de un algoritmo.³

Tal vez la principal objeción que puede realizarse a la propuesta de la epistemología genética es que el conocimiento es algo histórico. La edad en la cual un niño diferencia la masa del peso, para poner un ejemplo físico, es una noción adquirida "recientemente" por la humanidad.⁴ A la pregunta *¿a qué edad un niño diferencia la masa del peso?* –una típica pregunta que Piaget plantea de diversas formas–⁵ corresponde responder con otras preguntas: *¿antes o después de Newton?* *¿antes o después de Lavoisier?* Antes de Newton, a ninguna edad se tenía clara la diferencia. Después de Newton, solamente unos pocos científicos podían hacer la distinción; luego unos estudiantes avanzados de ciencia y finalmente todos los estudiantes de la enseñanza media debían comprender esta diferencia. Lo mismo sucede con la conservación de la materia y Lavoisier. Un primer problema de la epistemología genética es el carácter cultural e histórico de sus resultados.

La noción de algoritmo o de procedimiento preciso repite el caso de la masa y el peso. Si bien la primera realización práctica reconocida de los algoritmos se debe al científico persa al-Jwarizmi⁶ –de donde deriva la palabra algoritmo–, fue recién con Alan Turing (1912–1954) que se pudo dar una definición de *procedimiento preciso* y explorar sus posibilidades y limitaciones fundamentales. Si nos planteamos la pregunta que deberían haberse formulado en el Dartmouth College o Seymour Papert –y que no hicieron– *¿a qué edad un niño puede programar?* deberíamos responder con alguna de estas preguntas: *¿antes o después de 1936?*⁷ *¿antes o después de la aparición de las computadoras personales?* o similares. Hoy un graduado en ciencia de la computación puede programar, pero un estudiante de la enseñanza medio o primaria *¿puede hacerlo?* En este trabajo nos proponemos incursionar en este problema.

Existe otra objeción a la propuesta de la epistemología genética. Todos los seres humanos son diferentes y tienen diferentes capacidades y

³ Es necesario diferenciar claramente la capacidad para imitar de la capacidad para comprender. Un chimpancé puede construir estructuras lógicas, pero nunca se la ha visto comprender un teorema matemático. Un niño puede elaborar secuencias de instrucciones, tal como se le ha enseñado a hacer, pero es muy distinto la capacidad de programar algo que posee una finalidad precisa.

⁴ Piaget trata este tema en [2] y usa la terminología de Newton para la masa: *cantidad de materia*.

⁵ Al comienzo de [2] establece, como resumen general del libro: *las nociones de conservación de la substancia, el peso y el volumen no se elaboran sino en la segunda infancia, entre los 7 y los 12 años. ¿Esto sería cierto en Inglaterra de 1700, en Francia en 1800 o en Suiza en estas fechas?*

⁶ Esta afirmación es notoriamente imprecisa. En los *Elementos* de Euclides hay muchos algoritmos que, con toda justicia, todavía hoy llevan su nombre; en el Papiro Rhind del Reino Medio del Egipto faraónico se presentan diversos algoritmos para el cálculo con números decimales, solamente para citar dos ejemplos.

⁷ Esta es la fecha de la publicación del trabajo fundamental de Turing: *On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem*.

aptitudes. En tiempos de la enseñanza asistida por computadora se ha podido analizar en forma masiva el nivel de conocimientos de los estudiantes de la enseñanza. El resultado no debería sorprender, pero parece continuar siendo ignorado. Si estudiamos una habilidad cualquiera –por ejemplo la capacidad para diferenciar la masa del peso– no encontramos una edad frontera que separa la posibilidad de comprender la diferencia o la imposibilidad de hacerlo. Las medidas muestran que para la adquisición de cada habilidad existe una distribución normal según la edad de los niños y no una frontera precisa.⁸ Los estados (*stade* en francés) de Piaget son abstracciones o, en el mejor de los casos, valores medios de una distribución normal, *característicos de una sociedad en un determinado momento histórico*.

La pregunta entonces que deberíamos formularnos es *¿a qué edad, en el Uruguay actual, los niños pueden programar o conocer lo que es un procedimiento preciso?* La respuesta no solamente posee interés desde el punto de vista de la teoría del conocimiento sino que es importante para la planificación del plan CEIBAL y de los demás programas de informática educativa.

El papel de los juegos

Los juegos han sido siempre un importante instrumento educativo. En los hechos, Piaget diseñaba pequeños juegos para sus experiencias acerca del conocimiento. A pesar de que esta estrategia parece ser correcta, sin embargo permite generar una tercera objeción a la metodología.

Si se diseña un juego para analizar una habilidad o una destreza intelectual se corre el riesgo que se plantea en la mecánica cuántica: *la observación puede alterar el resultado observado*. El investigador ya conoce la diferencia entre la masa y el peso y diseña experimentos y diálogos para verificar si los niños la comprenden. Pero este diseño necesariamente induce a los niños a buscar una diferencia que tal vez, espontáneamente, no habrían detectado. Estamos ante un curioso principio de incertidumbre similar a principio cuántico.⁹

Por esta razón parece necesario no diseñar actividades para medir las destrezas intelectuales sino elegir actividades, ya diseñadas, tal vez con una finalidad totalmente diferente y que, por lo tanto, no incurrir en el problema del principio de incertidumbre. En el caso que presenta este trabajo se piensa que no ocurrió este fenómeno.

La experiencia

Las computadoras XO tenían, en la versión inicial con la que comenzó la experiencia preliminar de CEIBAL, un puzzle electrónico denominado

⁸ Los estudios del Dr. Luis Osín en Israel, con miles de estudiantes, lo muestran con total claridad.

⁹ Este problema es general de las investigaciones sociales. Mucho se ha discutido, por ejemplo, si la publicación de los resultados de las preferencias electorales modifican o no el resultado electoral. Es uno de los tantos problemas epistemológicos que enfrentan las ciencias sociales.

Memosono. Se trataba de un juego de memoria para uno o dos jugadores. Memosono presenta una grilla de casilleros que contienen figuras con sonidos asociados. Figuras y sonidos se encuentran por pares, pero en posiciones desconocidas y que cambian cada vez que se inicia el juego. Al comienzo todas las figuras están tapadas. Para destapar una figura y escuchar su sonido asociado es necesario hacer clic sobre ellas con el mouse. El puzzle consiste en hacer clic sobre cada elemento de la grilla con el objetivo de encontrar los pares de figuras y sonidos iguales. Una vez elegido un par, si es correcto, las figuras quedan visibles, si no lo es, *se borran ambas figuras* y es necesario nuevamente intentar formar un par. En todos los casos, existe un retardo fijo desde el momento en que se hace clic sobre una figura y el momento en que se puede hacer clic sobre otra, a los efectos de presentar el tema musical, identificar y, eventualmente, memorizar la figura y el tema musical. El puzzle se completa cuando todos los pares son visibles.

Desde el punto de vista conceptual, este juego presenta tres niveles de estrategias "puras" para jugar:

- Por *prueba aleatoria* pura, sin metodología: se eligen pares hasta acertar un resultado.
- Por *prueba sistemática*: se elige el primer casillero tapado y se busca sistemáticamente su casillero correspondiente entre los siguientes casilleros.
- Por el empleo de una *memoria perfecta*: se recorren todos los casilleros y se memoriza su contenido. Luego se procede a formar los pares sin ningún error.

Como es natural, se pueden emplear *estrategias mixtas*, por ejemplo, emplear la prueba sistemática pero recordar la posición de algunas figuras que permitan formar pares sin necesidad de cometer errores.

Una estrategia de juego es un algoritmo, un procedimiento preciso, un conjunto de reglas que se deben seguir para obtener un resultado. Por esta razón, el Memosono y la posibilidad de experimentar con niños entre 6 y 13 años permitía realizar una media acerca de la adquisición de la noción de algoritmo o, al menos, realizar una aproximación al problema. No está de más recordar que los niños de la escuela pertenecían a una zona de contexto social crítico, no obstante lo cual una mitad de ellos tenía acceso –por diversos mecanismos– a una computadora.

El experimento, entonces, consistía en proponer a los alumnos jugar al Memosono, actividad que les resultaba atractiva y fácil de comprender, y en medir el tiempo que empleaban en completar el puzzle. En la mayoría de los casos trabajaban en pareja, realizando un intento cada uno, con lo cual simplemente se promedian sus habilidades. Un observador registraba las edades de los niños y el tiempo total empleado. No hay ninguna evidencia que el observador haya distorsionado la experiencia ni que hayan ocurrido otros efectos del estilo *principio de incertidumbre*.

Análisis teórico de las estrategias

Es interesante calcular el tiempo que lleva completar el puzzle en el caso de emplear las diferentes estrategias. Se trata de simples problemas de combinatoria. Sea N la cantidad de figuras del juego y T el tiempo que transcurre, por programa, luego de elegir cada figura. Como este análisis supone un *jugador perfecto que sigue una estrategia perfecta*, sin errores ni demoras, se emplea el tiempo $2T$ para realizar cada intento de formar un par de figuras. La eficiencia del algoritmo se evalúa por el número de pasos o pruebas que se realizan. El tiempo no es importante, pero suministra una medida global de la cantidad de pasos y es una medida indirecta de la calidad de la estrategia seguida.

La *primera estrategia* consiste en elegir el par en forma aleatoria y observar el resultado. Al comenzar hay N opciones para el primer elemento y $N-1$ opciones para el segundo. Un jugador perfecto no comete el error de elegir el mismo par en diferente secuencia, luego hay solamente esta cantidad de pares posibles:

$$N(N - 1) / 2$$

Si se tiene "buena suerte" se acertará un par correcto en el primer intento, si se tiene "mala suerte" se deberán recorrer todos los pares posibles hasta que el último forme uno correcto. Esto quiere decir que, *en promedio*, se estará en una situación intermedia. Como para realizar un intento se necesita emplear un tiempo T para cada figura o $2T$ para elegir un par, el tiempo para encontrar el primer par será, en promedio:

$$2T N(N - 1) / 4$$

Los siguientes pares se calculan de la misma manera, pero teniendo en cuenta que el número de figuras disminuye en 2 cada vez que se acierta. El segundo par demorará, en ser encontrado:

$$2T(N - 2)(N - 3) / 4$$

Y así sucesivamente. En definitiva, el tiempo total para completar el puzzle será la suma:

$$2T N(N - 1) / 4 + 2T(N - 2)(N - 3) / 4 + \dots + 2T(4) / 4 + 2T$$

Esta suma es: ¹⁰

$$2T (N^3 / 24 + N^2 / 16 - N / 24 + 1/2) = T (N^3 / 12 + N^2 / 8 - N / 12 + 1)$$

¹⁰ Como se trata de una suma de elementos de segundo grado en N , sabemos que la suma es un polinomio de tercer grado en N . Por inducción completa se pueden identificar los coeficientes.

Pasemos a la *segunda estrategia*. En los sucesivos ensayos se emplea un tiempo T para la primera figura y un tiempo T para la segunda. Al comenzar se tienen N figuras cubiertas. Se elige la primera figura. Para la segunda figura hay entre 1 y $N-1$ posibilidades para encontrar la pareja. Igual que antes, como valor medio entre la "buena" y la "mala suerte" se necesitará un tiempo *mitad del total*:

$$2T(N - 1) / 2 = T(N - 1)$$

Una vez formado el primer par de figuras quedan $N-2$ figuras por descubrir. Luego el tiempo necesario para lograr el segundo par será:

$$T(N - 3)$$

Y así sucesivamente. Se obtiene entonces una progresión aritmética descendente, cuya suma es:

$$T(N + 1) N / 4$$

El tiempo para la *tercera estrategia*, con memoria perfecta, consta de dos fases. En la primera fase se recorren todas las figuras y se memoriza su lugar (por ejemplo, anotándola, cosa que es contrario al espíritu del puzzle que busca emplear la memoria). En la segunda fase se forman los pares memorizados sin cometer ningún error. El tiempo de ejecución es $T N$ para la primera fase y nuevamente $T N$ para la segunda fase, en total $2 T N$.

Es notorio entonces que la estrategia aleatoria emplea un tiempo proporcional a N^3 , la búsqueda ordenada a un tiempo proporcional a N^2 y la memoria perfecta a un tiempo proporcional a N , todos en forma aproximada. Estos números, si bien representan estrategias perfectas, sin errores, marcan fronteras acerca de las cuales se puede analizar el tipo de conducta que se sigue.

El puzzle electrónico Memosono presentaba una excelente oportunidad para explorar la manera como los niños comprenden y aplican una estrategia y esto se puede medir, simplemente, por el tiempo que demoran en completarlo. Con esta idea, en las actividades en la Escuela N° 160 se midieron estos tiempos.¹¹

La calibración

Como medida previa de calibración, se midieron los tiempos que demoraba un adulto, con años de experiencia informática, en completar el puzzle. Es claro que empleaban la estrategia de prueba sistemática. Los resultados fueron los siguientes. En un puzzle de 16 figuras, en 5 observaciones, el resultado promedio fue de 1:12 minutos con una

¹¹ Esta observación no era intrusiva, puesto que la medida del tiempo se puede hacer sin que los niños lo adviertan y por el hecho de ser un juego que rápidamente se convierte en competencia, se encontraban motivados para hacerlo de la mejor manera posible.

desviación típica de 18 segundos. En el caso de un puzzle de 36 figuras, también en 5 observaciones, el resultado osciló entre 23 y 6 minutos, pero con mucha dispersión. Este resultado es insuficiente para concluir en una media precisa por tener datos insuficientes. Sin embargo como la relación de tiempos teórica empleando un algoritmo de búsqueda sistemática, entre los dos casos (16 y 36 figuras), es de $36^2/16^2 = 4,9$ permite extrapolar el tiempo de 16 figuras a 36: 1:12 minutos se convierten en 5:54 minutos.¹²

Como consecuencia tenemos las siguientes *fronteras de algoritmos perfectos* para los tiempos de ejecución en el caso de 36 figuras:

- Estrategia aleatoria pura: 71:26 minutos
- Estrategia de prueba sistemática: 5:53 minutos
- Estrategia de memoria perfecta: 1:16 minutos

Como se comprende, es muy difícil ejecutar una estrategia perfecta porque hay dos causas opuestas de desviación: los errores o demoras que hacen que tiempo se alargue y los atajos debido al uso de la memoria que permiten agregar pares sin necesidad de aplicar el algoritmo. Las estrategias puras deben ser tomadas como una guía solamente.

Las medidas

Se realizaron 42 observaciones en total, con niños de primero a sexto año, sobre el Memosono de 36 casilleros.¹³ A los 45 minutos se interrumpía la actividad por razones de organización del evento, de modo que una cantidad de observaciones tiene este tiempo y deben considerarse como puzzles incompletos. Obsérvese que no haber completado el puzzle en 45 minutos evidencia que se emplea una estrategia aleatoria, eventualmente con cierto uso de la memoria.

Hay diversas posibilidades de análisis de estos datos, siempre teniendo en cuenta que son solamente un experimento en condiciones muy particulares. De todos modos los resultados obtenidos son interesantes y sirven como insumo para la realización de otras observaciones.

En la Figura 1 se presenta el tiempo que se empleó en cada observación según el año que cursan los niños que estaban jugando. El diagrama se ha extendido hasta "novenio año" porque interesa extraer algunas conclusiones especulativas. También se ha representado una línea de tendencia que ajusta las observaciones por mínimos cuadrados y a la que se le aplican todas las reservas del caso.¹⁴ No obstante esto, las

¹² Este tiempo es muy cercano al mínimo observado en los experimentos.

¹³ Debido al reducido número de computadoras disponibles, había dos niños por máquina que se turnaban para realizar cada intento. Esto promedia algo la conducta de los niños y hace que, en realidad, se consideraron 84 niños de diferentes edades escolares.

¹⁴ La ecuación de la recta de tendencia es $tiempo = 53,649 - 5,4332 \cdot año \text{ que cursa}$, el tiempo en minutos y el año en números enteros a partir de primer año escolar. Como la estrategia aleatoria pura emplea 71:26 minutos, corresponde al año teórico -3, o sea, a preescolares de 3 años. Tal vez esta sea la edad mínima (promedio) para comprender el juego y para no perder el tiempo en reiteradas repeticiones de casos ya ensayados.

que completaron el puzzle. El resultado obtenido es una campana cuyo valor medio es de 23 minutos. Sugiere que los estudiantes de primaria se encuentran muy lejos de la noción de algoritmo.

- La extrapolación de la recta de tendencia da que, en media, se alcanza el tiempo de 6 minutos, correspondiente al empleo de un algoritmo, en el noveno curso (a partir de primero de primaria). Esta extrapolación sugiere que *recién al finalizar la enseñanza secundaria el promedio de los alumnos posee la noción de algoritmo* y, por consiguiente, la capacidad de programar entendiendo lo que está haciendo.

La determinación del momento de la adquisición de la noción de algoritmo es un punto de mucho interés para la educación. Estos resultados preliminares y groseros sugieren que existe una oportunidad excelente para el estudio de este punto como un subproducto de la experiencia 1:1.

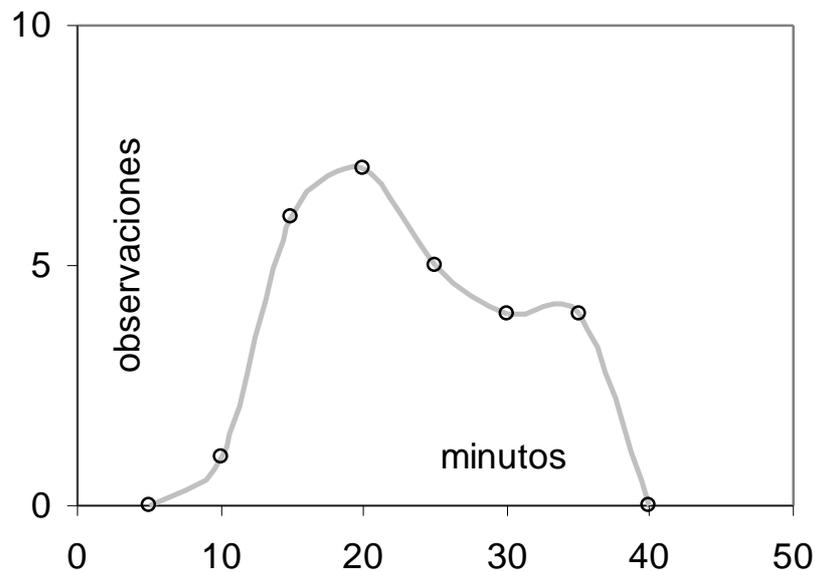


Figura 2: Histograma del tiempo para completar el Memosono.

Durante el presente estudio no fue posible realizar medidas posteriores porque se decidió incluir el Tetris como juego y se quitó el Memosono de las computadoras que se distribuyeron posteriormente. Por esta razón no se tuvo oportunidad de mejorar la calidad de este estudio que se hizo en forma preliminar y que se pensaba refinar durante la experiencia piloto de la ciudad de Cardal.¹⁷

¹⁷ Tetris es un juego de gran difusión y con una concepción excelente, pero es un *juego de habilidad* y no un juego de estrategia. Las medidas sobre este juego no permiten extraer conclusiones como lo permite el Memosono. Si Tetris no dependiera de la velocidad, entonces pasaría a ser un juego de estrategia en el cual hay que adoptar conductas para colocar las piezas de la mejor manera posible. Como esta decisión debe ser tomada muy rápida –y a velocidad creciente–, el resultado depende más de los reflejos que del empleo de una estrategia.

Nuevas experiencias

El plan CEIBAL permitiría realizar una gran cantidad de medidas vinculadas a la noción de algoritmo. En particular existe un experimento que parece muy adecuado para medir la evolución de la noción de algoritmo.

El clásico test de Raven –originalmente diseñado como otro test de "inteligencia"– es, en realidad, un test para medir la aptitud para reconocer una ley de formación de una secuencia de figuras. En otras palabras, mide la capacidad para descubrir un algoritmo a través de una secuencia. Este test tiene la ventaja de que ha sido profusamente usado en magisterio y en la enseñanza escolar.

Podemos imaginar entonces que una aplicación planificada de este test –o de otros igualmente aceptables– permitirá descubrir la mejora gradual de la comprensión de la noción de algoritmo, así como la comparación entre los resultados en Uruguay antes y después de la aplicación del Plan CEIBAL. Es posible que uno de los pocos resultados medibles de mejora de la educación, por la difusión masiva de las computadoras, sea la disminución de la edad media para comprender los procedimientos precisos, los algoritmos y las ideas relacionadas.

Conclusiones

La línea de aprendizaje con la edad, a pesar de lo grosero del experimento realizado, coincide con la práctica educativa. Recién en el quinto año de la enseñanza media –el undécimo contado a partir del comienzo de la educación escolar– se introducen las nociones algorítmicas de la matemática tales como la *recursión*, el *infinito matemático* o el *principio de inducción completa*. Todas estas nociones exigen la comprensión y el uso de procedimientos precisos o algoritmos. La demostración de teoremas matemáticos también exige un manejo formal preciso. Es un hecho que hay una buena cantidad de estudiantes que no logran comprender a estas nociones al cursar su noveno año. No aprueban los cursos de matemática sino luego de varios intentos y una vez que poseen una mayor madurez. Estos resultados de la enseñanza de la matemática son una posible demostración de que en el noveno año se ha llegado –en Uruguay y en las últimas décadas– al valor medio de edad para adquirir este conocimiento. Aquellos que logran aprobar luego de varios intentos se encuentran en el extremo de la distribución de Gauss.

Por añadidura, el resultado también explica el fracaso de Logo en la enseñanza primaria y de BASIC en la enseñanza media.¹⁸ La edad para

¹⁸ El fracaso significa que ninguna de las dos ideas se generalizó en ninguna parte del mundo. Logo es una tecnología de culto en pequeños grupos de educadores que persisten en afirmar sus virtudes sin tener cifras estadísticas ni haber convencido a ningún sistema educativo de aplicarlo en forma generalizada. Con BASIC no se logró imponerlo en la educación media ni se convirtió en objeto de culto, pero sí se demostró que es uno de los lenguajes de programación más difundidos, especialmente entre los programadores noveles. La existencia de estos programadores, mucho de ellos adolescentes, contribuye a mostrar que el valor medio de la edad de comprensión de procedimiento preciso se encuentra en las proximidades de los 15 años (noveno año de educación) tal vez con una desviación típica de unos 3 años. Esto hace que un porcentaje muy reducido, inferior

programar, comprender los procedimientos precisos y sus ideas relacionadas –según la extrapolación presentada– puede tener una distribución normal de media 15 años y una desviación típica de varios años.¹⁹

Estos resultados –que debe ser cotejados con más datos y otras experiencias– pueden poner en duda algunas de las afirmaciones centrales de Seymour Papert así como modificar la educación para mejorar la enseñanza de la matemática y de las ciencias. Este no es un punto menor ni que puede dejarse de lado, puesto que se tendrá abundante material experimental con la generalización del Plan CEIBAL a todo el país y que es necesario una revisión importante del sistema educativo –en el mundo en general y muy especialmente en Uruguay– para adaptarlo a la nueva sociedad de la información.

Bibliografía

- [1] Piaget, Jean; Szeminska, Alina. *La genèse du nombre chez l'enfant*. Delachaux & Niestlé S.A. Neuchatel–Paris, 1941.
- [2] Piaget, Jean, Inhelder, Bärber. *Le développement des quantités chez l'enfant*. Delachaux & Niestlé S.A. Neuchatel–Paris, 1941.
- [3] Piaget, Jean. *La formation du symbole chez l'enfant*. Delachaux & Niestlé S.A. Neuchatel–Paris, 1945.
- [4] Piaget, Jean, Inhelder, Bärber; Szeminska, Alina. *La géométrie spontanée de l'enfant*. Presses Universitaires de France, Paris, 1948.
- [5] Piaget, Jean. *La naissance de l'intelligence chez l'enfant*. Delachaux & Niestlé S.A. Neuchatel–Paris, 1935.
- [6] Piaget, Jean. *Introduction a l'épistémologie génétique*. Presses Universitaires de France, Paris, 1950, 3 Vols.

Publicada en **Galileo**, Montevideo, 2008.

al 10% de los alumnos del final de la educación primaria sea capaz de programar entendiendo lo que hacen.

¹⁹ En la cita de Piaget sobre la edad para comprender la noción de cantidad se menciona un intervalo de 7 a 12 años para las nociones de cantidad. Esto sugiere un valor medio de 9,5 años y una desviación típica del orden de 2,5 años. Un estudio más detallado de sus cifras podría mejorar esta aproximación. Esto da una idea del orden de magnitud de las desviaciones típicas que se encuentran en este tipo de estudios. De todas maneras estos números son válidos para Suiza hacia 1950, no permiten suponer que sean válidos para el Uruguay de hoy donde es posible que haya aumentado bastante la desviación típica por desintegración de la trama social.