

# Una Máquina de Turing en la Escuela

Jorge Rodríguez<sup>1</sup>, Gerardo Parra<sup>1</sup>, Gabriela Gili<sup>1</sup>, Susana Parra<sup>1</sup>, and  
Daniel Dolz<sup>1</sup> Hernán Roumec<sup>2</sup>  
j.rodri@fi.uncoma.edu.ar, gparra@fi.uncoma.edu.ar,  
gabriela.gili@est.fi.uncoma.edu.ar, susana.parra@fi.uncoma.edu.ar,  
ddolz@fi.uncoma.edu.ar, hroumec@yahoo.com

<sup>1</sup> Grupo de Investigación en Lenguajes e Inteligencia Artificial  
Departamento de Teoría de la Computación - Facultad de Informática  
Universidad Nacional del Comahue  
Buenos Aires 1400, Neuquén, Argentina

<sup>2</sup> Consejo Provincial de Educación  
Ministerio de Gobierno y Educación de la Provincia de Neuquén  
Belgrano 1300, Neuquén, Argentina

**Abstract.** Actualmente las Ciencias de la Computación en los niveles obligatorios del sistema educativo están adquiriendo un papel significativamente importante. Por lo tanto, es prioritario trabajar en la producción de recursos educativos en el área. Este artículo presenta un recurso educativo desenchufado, construido en el marco del diseño participativo, destinado a favorecer la enseñanza de conceptos relacionados a las Máquinas de Turing.

**Keywords:** Educación en Ciencias de la Computación, Escuela Secundaria, Teorías de la Computación, Máquinas de Turing.

## 1 Introducción

La inclusión de conceptos relacionados con las Ciencias de la Computación en los niveles obligatorios del sistema educativo está adquiriendo un papel significativamente importante durante los últimos años, actualmente se realizan reformas curriculares en esta dirección en numerosos países. Las iniciativas emergentes en los últimos años tienen como objetivo que la población estudiantil, de todos los niveles educativos, tenga acceso a los conceptos centrales de la disciplina [10,11].

En la República Argentina la situación es dispar, mientras las iniciativas desarrolladas por un conjunto de Universidades Nacionales, el Consejo Federal de Educación, Program.ar y los gobiernos provinciales [2,3,4] impulsan reformas curriculares en algunas jurisdicciones, en la mayor parte del país la computación aún está poco representada en la educación obligatoria [12].

Las tendencias curriculares actuales para la educación secundaria promueven desarrollar un recorrido amplio por las áreas de conocimiento. En este marco se consideran conocimientos relacionados al área de Teoría de la Computación [16].

Si bien en la República Argentina se observan iniciativas con cierta preponderancia del área de Algoritmos y Programación, es claro que progresivamente se tiende a un recorrido más amplio [13].

El primer contacto entre los estudiantes y las Ciencias de la Computación suele ser desafiante. En este sentido, los recursos educativos desenchufados demuestran ser una opción adecuada y muy interesante. Esto se debe, fundamentalmente, a que no se requiere aprender programación ni hacer uso de un dispositivo digital y que, por lo general, el ambiente en el que se desarrollan tiene un enfoque lúdico que plantea desafíos para el estudiante [1,15].

Fueron diseñados como una forma de comunicar conceptos computacionales en espacios de la educación no formal, sobre todo como apoyo a la divulgación científica. No obstante y en forma creciente, las escuelas adoptan recursos educativos desenchufados como manera de ofrecer los primeros contactos con conceptos abstractos sobre computación. Sin embargo, existe escasa investigación sistemática sobre su efectividad en el ámbito escolar o acerca de la forma que deben adoptar para adecuarse a estos contextos institucionalizados [1].

Por otra parte, si bien existe un abanico amplio de tópicos disciplinares cubiertos por este tipo de recurso, existen otros que integran las propuestas curriculares y aún no están cubiertos por estas colecciones de recursos. Esta es la situación de un conjunto de conceptos fundamentales sobre Teoría de la Computación, como los relacionados a las Máquinas de Turing[9].

Este trabajo se enmarca dentro de la línea de investigación y desarrollo destinada a la producción de recursos didácticos para enseñar Ciencias de la Computación y evaluar su efectividad en el ámbito de la educación secundaria. En particular, plantea trabajar sobre el desarrollo y evaluación de una colección de recursos educativos desenchufados orientados a facilitar la enseñanza de conceptos relacionados a las Máquinas de Turing y a nociones introductorias de computabilidad[7,9].

El resto de este documento está organizado de la siguiente manera. La siguiente sección describe el modelo propuesto para facilitar la producción de recursos didácticos para enseñar Ciencias de la Computación, la sección 3 está dedicada a presentar los resultados del estudio. Finalmente, se cierra con las conclusiones elaboradas por el equipo de investigación.

## 2 Modelo Propuesto

El enfoque presentado en este trabajo se sustenta en cuatro perspectivas didácticas: CSUnplugged, Aprendizaje Experiencial, Diseño Participativo e Investigación Acción Participativa. La convergencia de estas perspectivas apunta a la elaboración de nuevos recursos didácticos disciplinares validados en las aulas [1,5,8].

En este contexto se trabaja en el marco de los enfoques metodológicos basados en la investigación y el diseño participativos definidos específicamente por esta línea de investigación y desarrollo [6]. Están basados en el modelo Participatory Design Framing, un marco de trabajo de trabajo innovador para educación en

computación, donde los docentes de las escuelas se involucran activamente en el proceso de elaboración de recursos educativos [14].

El ciclo en que se organiza este modelo define un marco metodológico estructurado en cuatro etapas.

- **Producción de conjeturas.** El proceso comienza con la definición de algunas conjeturas acerca de cómo apoyar el proceso de enseñanza y de aprendizaje. En esta etapa se adoptan algunas opciones metodológicas para el diseño de los dispositivos didácticos.
  - Promover la colaboración. La utilización de recursos físicos actúa como facilitador de la actividad grupal.
  - Distribuir la complejidad. Cada persona asume la responsabilidad de una pieza de la máquina. La complejidad conceptual se distribuye en el grupo.
  - Aprender jugando. Se traslada la mecánica de juego al ámbito del aprendizaje para lograr mejores resultados en términos disciplinares y de desarrollo de habilidades blandas.
  - Aprender de la experiencia. Centrado en producir conocimiento abstracto y conceptual a partir de reflexionar sobre experiencias concretas.

Por otra parte se define una mecánica de base para el juego basada en iteraciones sucesivas y se selecciona una colección de Máquinas de Turing que resulten accesibles para estudiantes sin formación previa.

- **Diseño específico.** El objetivo es instanciar la propuesta a la situación concreta de enseñanza y de aprendizaje para producir los ajustes necesarios y avanzar en el diseño de la experiencia.

En esta instancia, se convoca a un par de docentes de informática, que desempeñan sus labores en la escuela secundaria en la que se desarrolla el trabajo de campo, con intención recuperar sus percepciones acerca del recurso didáctico. En este contexto se desarrolla una sesión piloto con el propósito de evaluar el recurso, e informar sobre las características que se valoran positivamente y acerca de las que requieren ajustes.

En estas sesiones preparatorias, se sitúa el trabajo de campo sobre tres años de estudio de la escuela secundaria, se define que en todos los casos se trabajará con estudiantes sin formación previa en el área de conocimiento. Se define una afectación de dos horas cátedra para el desarrollo de la actividad, es decir 80 minutos.

Se producen tres ajustes a la propuesta inicial, se trabaja sobre la complejidad de las Máquinas de Turing a utilizar sumando una máquina de complejidad ligeramente superior. Se define con mayor precisión algunas mecánicas de juego y se modifica la forma en que se representan las máquinas adoptando un modelo más próximo al que se utiliza en el ámbito de la disciplina.

- **Práctica mediada.** Este momento transcurre en las aulas de las escuelas seleccionadas, se realiza una práctica mediada por el juego diseñado que expresa la colección de conjeturas iniciales. Esta instancia contribuye a validar o sugerir ajustes sobre la propuesta inicial. En la Sección 2.2 se describe este proceso.

- **Recuperación de conocimiento.** Finalizada la práctica mediada se recuperan resultados de la experiencia sucedida. Estos se utilizan para producir los ajustes necesarios para el mejoramiento del recurso diseñado y así ofrecer a la comunidad docente nuevos recursos desenchufados para enseñar Ciencias de la Computación en sus aulas. En otro sentido se utiliza para confirmar, ajustar o rechazar conjeturas acerca de las posibilidades reales de enseñar conceptos fundamentales sobre Teoría de la Computación en el ámbito de la educación secundaria. En la Sección 3 se describen los resultados obtenidos.

## 2.1 Una Máquina de Turing en la Escuela

“Una Máquina de Turing en la Escuela” forma parte de una colección de recursos educativos desenchufados diseñados para facilitar la enseñanza de conceptos relacionados a las Máquinas de Turing y a nociones introductorias de computabilidad. Esta colección busca utilizar mecánicas de los juegos de mesa para lograr mejores aprendizajes. Las reglas de los juegos que componen la colección están definidas por los mecanismos de funcionamiento de las Máquinas de Turing.

Esta propuesta está destinada a grupos de estudiantes que transitan la educación secundaria, sin saberes disciplinares previos en el área de conocimiento. “Una Máquina de Turing en la Escuela” está delineada para trabajar con varios equipos que estén conformados por 3 a 4 integrantes y la idea fundamental es presentarla como un *juego* con determinadas reglas. La duración estimada para la actividad es de 80 minutos.

**Preparación.** El material necesario para realizar la actividad incluye una cinta de papel dividida en celdas y un triángulo de papel para indicar la posición actual de la cinta donde apuntaría la cabeza lecto-escritora de la máquina. El cabezal se debe poder desplazar sobre la cinta en ambas direcciones. Además, es necesaria una ficha que tendrá las reglas previamente establecidas que determinan el funcionamiento de la máquina. Las reglas indican, dado el estado actual y el símbolo en la posición de la cabeza lectora, a qué estado debe pasar la máquina, qué símbolo se escribe en la posición actual de cinta y qué desplazamiento (a izquierda o a derecha) debe realizarse.

**Funcionamiento.** Luego de haber organizado los grupos, entregado el material y haber presentado las reglas del juego, la partida comienza dando inicio al funcionamiento de la máquina. El objetivo principal de la actividad es entender el funcionamiento de una máquina que no es creada con tecnología pero que ejecuta instrucciones de la misma manera que una computadora actual.

Cada grupo ejecutará su máquina siguiendo las reglas que les fueron entregadas. Si la cinta que recibe el grupo contiene la entrada “9453” y la cabeza lecto-escritora apunta al “9”, una regla posible a aplicar sería  $(A, 9, derecha)$ . Esta regla podría interpretarse informalmente de la siguiente manera: “la máquina pasa al estado  $A$ , escribe 9 en la posición actual y se mueve un lugar a la derecha”. Entonces ahora los valores de la cinta serán “9453”, pero en este caso, el estado actual será  $A$  y la cabeza lecto-escritora estará señalando la posición donde está el símbolo 4. En este punto, la regla que debemos aplicar está en la tabla correspondiente al estado  $A$ .

Se proyectan tres iteraciones, en cada oportunidad se utiliza una entrada diferente. Cada grupo que acierta con la salida producida por la máquina para la entrada en juego, acumula 2 puntos. La próxima iteración acumula 3 puntos y consiste en descubrir qué realiza la máquina que se está usando, por ejemplo “*Determina si un número es par o impar*” o “*Suma uno al número*”. La iteración final suma 4 puntos y consiste en explicar cómo la máquina logra resolver el problema planteado.

**Reflexión y formalización.** Luego de realizar la actividad se realiza un análisis sobre la experiencia en el aula. Se busca construir conceptos abstractos a partir de entender el funcionamiento de una máquina formal. Es importante mostrar cómo la máquina de Turing, aún cuando pueda resultar a primera vista un dispositivo formal casi rudimentario, tuvo un impacto determinante y fundamental en la aparición de la primera computadora y en el funcionamiento de las computadoras actuales. Además, permite formalizar la noción intuitiva de procedimiento computacional, procedimiento efectivo o algoritmo.

## 2.2 Práctica mediada: Trabajo de campo con estudiantes secundarios

Este recurso educativo fue llevado a las aulas con la intención de ajustarse progresivamente a partir de la consideración de comentarios, sugerencias y revisiones realizadas sobre el trabajo de campo. La población que participó de la experiencia se compone de 26 adolescentes, que cursan diferentes años de estudio de la educación secundaria, 12 estudiantes asisten al primer y segundo año de estudios y 14 adolescentes al último año. En todos los casos, se trata de estudiantes sin formación previa en el área de conocimiento. El rango de edad en general, es de 13 a 15 años en el primer grupo y de 16 a 18 años en el segundo.

La experiencia se realizó en tres encuentros diferentes de 80 minutos cada clase, con dos docentes, concretando actividades desenchufadas destinadas a la enseñanza y el aprendizaje de conceptos abstractos, que facilitara la comprensión del funcionamiento de la Máquina de Turing.

La actividad buscó que los estudiantes comprendieran aspectos particulares del formalismo. Se consideraron los procesos reflexivos sobre la experiencia, la construcción de conceptos abstractos a partir de vincular las máquinas utilizadas durante la actividad, con los conceptos formales sobre Máquina de Turing.

La experiencia se organizó en cuatro etapas: explicación y demostración del uso del material, experiencia concreta, elaboración de conceptos abstractos y aplicación.

**Etapas 0: Explicación y demostración del uso del material.** En una primera instancia se realiza una breve explicación sobre la actividad y demostración de uso del material (cintas de entrada, cabeza lectora-escritora, fichas con reglas) para la experiencia.

**Etapas 1: Experiencia concreta.** En esta etapa se desarrolla la fase experiencial de “*Una Máquina de Turing en la Escuela*”. Se trabajó con dos máquinas: la primera para descubrir si la entrada de valores representaba un número par o impar y la segunda máquina para sumar 1 a un número de entrada. Se dividió

el aula en grupos, a cada grupo se les entregaron varias cintas, una cabeza lectora y las fichas con las reglas escritas.

En cada grupo, los estudiantes se distribuyeron los elementos para seguir la actividad y cumplir un rol (Estado A- Estado S- Cabezal). Quien tenía el Cabezal, realizaba la lectura del símbolo considerado el estado en el que se encontraba y según el estado que correspondiera, el compañero de grupo recuperaba la regla, indicaba la acción a seguir y se establecía el nuevo estado. Al llegar al estado H, finalizada la secuencia, se analizó en forma grupal el resultado.

Se inició con la máquina de par-impar. Luego de probar con dos entradas, los cursos de 1º y 2º año lograron seguir la secuencia dentro de la interacción grupal, obteniendo correctamente la salida, pero fue necesaria la tercera partida y algunas guías por parte de los docentes para que lograran comprender lo que realizaban. En la experiencia con la segunda, lograron descubrir fácilmente en la primera partida y con pocas entradas que el objetivo era sumarle 1 al número representado en la entrada.

Para el grupo del último año del secundario, rápidamente en la primera partida lograron descubrir qué hacía cada una de las máquinas, pero, de todas maneras, continuaron con varias pruebas usando entradas de diferentes longitudes y símbolos, dado que los estudiantes manifestaron resultar entretenida y motivadora la actividad.

**Etapas 2: Elaboración de conceptos abstractos** Se realiza un análisis retrospectivo sobre la experiencia vivida recuperando algunos aspectos particulares tales como que una máquina tiene diferentes estados y alfabetos y que a cada estado corresponde una lista de acciones de acuerdo con el símbolo de entrada. Se construyen conceptos abstractos a partir de vincular las máquinas utilizadas durante la actividad con los conceptos formales sobre Máquina de Turing.

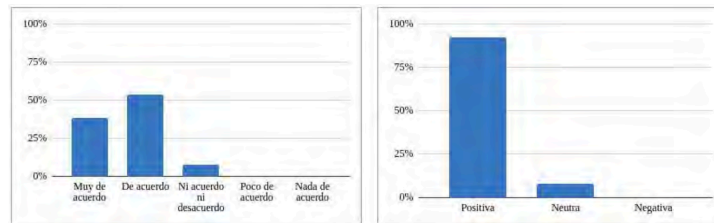
**Etapas 3: Aplicación** Finalmente, en plenario se analizó de manera conjunta diferentes situaciones donde estos saberes se ponen en juego. Se expuso acerca de la importancia de estos conceptos en el ámbito de las Ciencias de la Computación para ayudar a reconocer el poder computacional de las Máquinas de Turing. La actividad resultó muy motivadora, entretenida y sencilla de seguir. Los estudiantes de los últimos años del secundario lograron apropiarse los conocimientos disciplinares explorados durante la actividad sin dificultad. En los primeros años lograron realizar las secuencias, obteniendo así los resultados esperados, aunque atravesaron algunas dificultades para la comprensión de los conceptos abstractos desarrollados.

### 3 Resultados

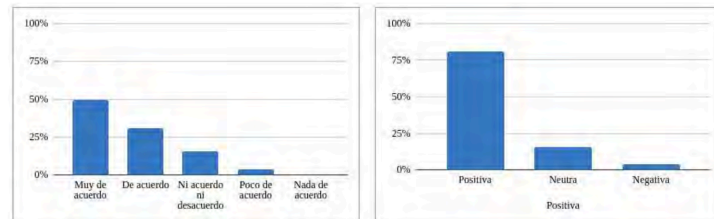
Completada la experiencia se consultó a la población estudiantil participante de la actividad acerca de su percepción en relación a la utilización de este tipo de dispositivos y sobre la efectividad de este recurso didáctico en términos de aprendizaje construidos. Se utilizó una encuesta que no tuvo de carácter obligatoria, tampoco es un componente del proceso de acreditación de la materia y estuvo dirigida al total de la población participante de la experiencia.

La encuesta se estructuró en dos secciones, la primera de estas destinada a recuperar percepciones en relación a a) la utilidad, es decir, en qué grado los estudiantes aprecian que la actividad desarrollada resulta útil para ayudar a comprender conceptos sobre Máquinas de Turing; b) impacto, si ellos consideran que se trata de una experiencia placentera y c) organización, si consideran que desarrollar una experiencia lúdica antes de la exposición formal es una forma adecuada de organizar actividades de aprendizaje.

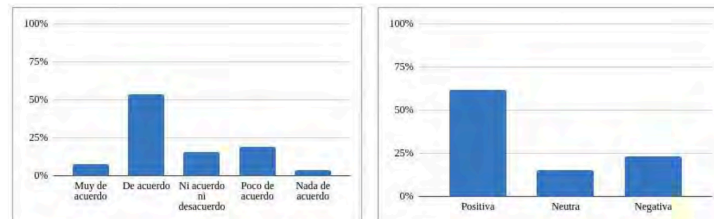
Esta sección se compone de tres preguntas con las siguientes posibles respuestas: muy de acuerdo, de acuerdo, ni acuerdo ni desacuerdo, poco de acuerdo y nada de acuerdo. A continuación, se presentan los resultados obtenidos en esta sección:



(a) Categoría Utilidad.



(b) Categoría Impacto.



(c) Categoría Organización.

Fig. 1: Sección percepciones.

Categoría: Utilidad

Pregunta: El juego “Una MT en la escuela” me parece una herramienta útil para aprender conceptos sobre Máquina de Turing.

Se observa que el 38% la población consultada manifiesta estar muy de acuerdo con que la herramienta es útil para aprender conceptos sobre Máquinas de Turing, mientras el 54% expresa estar de acuerdo con la misma afirmación y el 8% responde que no está de acuerdo ni en desacuerdo. Es decir que el 92% comunica una apreciación positiva en relación a la utilidad del dispositivo didáctico. Fig. 1a.

Categoría: Impacto

Pregunta: El juego me parece entretenido y sencillo de utilizar.

En esta categoría, el 50% dice estar de muy acuerdo y 31% estar de acuerdo con la afirmación acerca de que la herramienta es amigable y sencilla de utilizar, el 15% prefiere una respuesta neutra y el 4% responde que está poco de acuerdo. En este caso las respuestas afirmativas acumulan el 81% del total de respuestas. Fig. 1b.

Categoría: Organización

Pregunta: Jugar primero y que después nos cuenten sobre Máquina de Turing me parece una forma adecuada de enseñar.

En relación a la organización, el 54% manifiesta estar de acuerdo con que la organización de la actividad resulta adecuada para aprender, el 8% de los estudiantes se inclinan por la opción muy de acuerdo ante la misma afirmación. Por otra parte el 19% dice estar una poco en desacuerdo y el 4% muy en desacuerdo, el restante 15% ofrece una respuesta neutra. Considerando porcentajes acumulados, se observa que el 62% tiene una apreciación positiva hacia la organización de la secuencia de aprendizaje, mientras el 23% no la considera apropiada. Fig. 1c.

La segunda sección, busca indagar acerca de los conocimientos construidos por la población estudiantil a partir de su participación en la experiencia. En esta dirección se plantea estudiar la efectividad para con la enseñanza y el aprendizaje de prácticas y conceptos relacionados a las Maquinas de Turing, en el contexto de la escuelas secundaria, a estudiantes sin formación previa en el área de conocimiento.

Esta sección se organiza en tres categorías, a) Comprender, tiene que ver con comprender e interpretar conceptos desarrollados, como también asignar significado a diferentes elementos, b) Aplicar, está relacionada a la utilización de practicas y conceptos aprendidos a la resolución de casos particulares y concretos y c) Evaluar, está vinculada a establecer en que medida resulta pertinente aplicar prácticas y conceptos aprendidos a situaciones particulares.

Esta sección se compone de cinco preguntas, cada una ofrece las siguiente respuestas posibles: Muy seguro, Creo que si, No sé, Creo que no, No es así. A continuación se presentan los resultados obtenidos en esta sección:

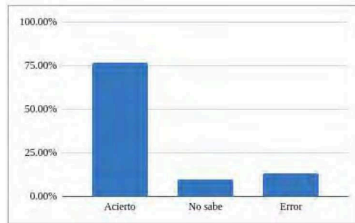
Categoría: Comprender

Pregunta 01: La Máquina de Turing de la figura tiene dos estados: A y S.

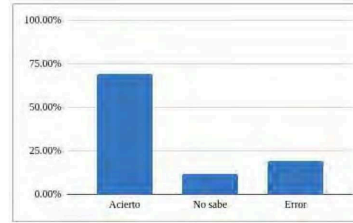
Pregunta 02: La Máquina de Turing de la figura puede trabajar con letras como "A", "W" o "T".

Se observa que el 76% seleccionó una opción acertada como respuesta, mientras que el 13.46% optó por una una opción incorrecta y el 9.62% responde que

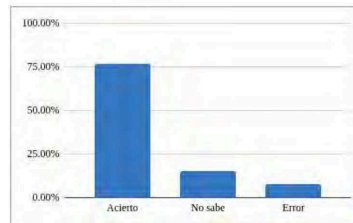




(a) Categoría Comprender.



(b) Categoría Aplicar.



(c) Categoría Evaluar.

Fig. 2: Sección conocimientos construidos.

no conoce la respuesta. Los resultados agrupan las repuestas a las dos preguntas de la categoría y acumulan como acierto las opciones “Muy seguro” y “Creo que si”, como error a las opciones “Creo que no” y “No es así” y como respuesta neutra “No sé”.

Categoría: Aplicar

Pregunta 01: En la posición del cabezal en la figura, si el estado actual es S, se pasa al estado A y se mueve a la derecha.

Pregunta 02: En la posición del cabezal en la figura, si el estado actual es A, se pasa al estado S y se mueve a la derecha.

En la categoría Aplicar, el 69.23% aporta una respuesta correcta, 11.54% manifiesta no conocer la respuesta y el 19.23% responde en forma equivocada. En este caso, se acumula como acierto a las respuestas “Muy seguro” y “Creo que si” para la Pregunta 01 y “Creo que no” y “No es así” para la Pregunta 02.

Categoría: Evaluar

Pregunta 01: Podría utilizar una Máquina de Turing, por ejemplo para saber cuántas cifras tiene un número.

En la categoría Evaluar, el 76.92% aporta una respuesta correcta, 15.38% manifiesta no conocer la respuesta y el 7.69% responde en forma equivocada. En este caso, se acumula como acierto a las respuestas “Muy seguro” y “Creo que si” para la Pregunta 01 y “Creo que no” y “No es así” para la Pregunta 02.

## 4 Conclusiones y Trabajo Futuro

Este artículo presenta un recurso didáctico que facilita la enseñanza de conceptos fundamentales sobre Teoría de la Computación a estudiantes de las escuelas secundarias. La práctica mediada realizada en el contexto de este estudio aporta fuertes indicios alentadores acerca de que este tipo de recursos educativos dispone de amplias posibilidades de favorecer la efectiva construcción de conocimiento disciplinar de carácter abstracto. Por otra parte, el modelo para el diseño participativo definido en el ámbito de esta línea de investigación y desarrollo ofrece un marco metodológico válido para producir recursos educativos consistentes y situados.

## References

1. T. Bell and J. Vahrenhold. Cs unplugged—how is it used, and does it work? In *Adventures Between Lower Bounds and Higher Altitudes*.
2. Consejo Federal de Educación. Res 263/15. *Resoluciones CFE*, 2015.
3. Consejo Federal de Educación. Res 343/18. *Resoluciones CFE*, 2018.
4. Consejo Provincial de Educación. Res 1463/18. *Resoluciones CPE*, 2018.
5. B. DiSalvo, J. Yip, E. Bonsignore, and D. Carl. Participatory design for learning. In *Participatory design for learning*, pages 3–6. Routledge, 2017.
6. D. Dolz, R. Martínez, G. Parra, J. Rodríguez, and N. Ginez. Recursos educativos desenchufados para la enseñanza de las ciencias de la computación en la escuela secundaria. In *XV TE&ET*, 2020.
7. J. Hopcroft, R. Motwani, and J. Ullman. *Introduction to Automata Theory, Languages and Computation*. Addison Wesley, 2006.
8. A. Y. Kolb and D. A. Kolb. Learning styles and learning spaces: Enhancing experiential learning in higher education. *Academy of management learning & education*, 4(2):193–212, 2005.
9. H. Lewis and C. Papadimitriou. *Elements of the Theory of Computation*. Second Edition. Prentice Hall, 1998.
10. O. McGarr and K. Johnston. Curricular responses to computer science provision in schools: current provision and alternative possibilities. *The Curriculum Journal*, 31(4):745–756, 2020.
11. G. Ottestad and G. B. Gudmundsdottir. Information and communication technology policy in primary and secondary education in europe. *Second handbook of information technology in primary and secondary education*, pages 1–21, 2018.
12. J. Rodríguez and M. Cortez. La posición de las ciencias de la computación en el diseño curricular para la escuela secundaria argentina: Una revisión sistemática. *Electronic Journal of SADIO (EJS)*, 19(2).
13. J. Rodríguez, M. Cortez, and S. Boari. Explorando el lugar de las áreas de conocimiento de las ciencias de la computación en la escuela secundaria argentina: Una revisión sistemática. *Electronic Journal of SADIO (EJS)*, 21(2), jul. 2022.
14. W. Sandoval. Conjecture mapping: An approach to systematic educational design research. *Journal of the learning sciences*, 23(1):18–36, 2014.
15. R. Taub, M. Armoni, and M. Ben-Ari. Cs unplugged and middle-school students' views, attitudes, and intentions regarding cs. *ACM Transactions on Computing Education (TOCE)*, 12(2):1–29, 2012.
16. M. Tissenbaum and A. Ottenbreit-Leftwich. A vision of k–12 computer science education for 2030. *Communications of the ACM*, 63(5):42–44, 2020.