

Tendencias en el uso de las TIC para la resolución de problemas numéricos en física. Una revisión sistemática

Beatriz Oropeza Villalobos, Mario Humberto Ramírez Díaz

Resumen

Uno de los retos más importantes en Física escolar es la resolución de problemas numéricos, debido a que es un proceso muy complejo en el que intervienen factores diversos. El presente trabajo describe el estado reciente del empleo de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) como apoyo en el desarrollo de la habilidad de resolución de problemas numéricos en Física a través de los resultados de una búsqueda sistemática en bases de datos de publicaciones académicas especializadas. Los resultados obtenidos apuntan a que las principales tecnologías digitales que apoyan este proceso tienen como característica principal la interactividad y retroalimentación con el estudiante, lo que lo convierte de espectador a participante activo y además consideran procesos metacognitivos y no sólo algorítmicos. Se determinó que las TIC que apoyan este proceso son los videos tutoriales interactivos y los programas computacionales interactivos.

Palabras clave:

Resolución de problemas; Enseñanza de la física; Revisión sistemática; Tecnologías de la información y la comunicación.

Oropeza Villalobos, B., y Ramírez Díaz, M. H. (2024). Tendencias en el uso de las TIC para la resolución de problemas numéricos en física. Una revisión sistemática. En R. Simbaña Q. (Ed). *Elementos de educación: entre la innovación didáctica y la reflexividad profesional*. (pp. 82-105). Religación Press, Atik Editorial <http://doi.org/10.46652/religacionpress.141.c101>



Introducción

La importancia de las TIC en el proceso educativo

Es innegable que las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) pueden tener un gran impacto en el proceso educativo. Esto se puso en evidencia en el confinamiento por pandemia debida al COVID-19, en el cual la enseñanza remota de emergencia fue marcada por el uso intenso de las TIC. De hecho, sin tales herramientas muy probablemente el proceso educativo se hubiera interrumpido en muchas partes del mundo. Al respecto Giannini (2020), indica “El uso intensivo de todo tipo de plataformas y recursos tecnológicos para garantizar la continuidad del aprendizaje es el experimento más audaz en materia de tecnología educativa, aunque inesperado y no planificado” (p. 6). En los últimos años, las tecnologías digitales han incrementado su potencial didáctico para la enseñanza y aprendizaje y la relación de la tecnología con la educación es cada vez más relevante y se ha fortalecido por diferentes causas: el uso intensivo de dispositivos móviles conectados a internet, las ventajas que ofrece el contenido multimedia y las características generacionales de los estudiantes, quienes priorizan el contenido audiovisual (Navarro Robles & Vázquez Barrio, 2020).

La gran diversidad y cantidad de herramientas tecnológicas disponibles, aunado a que los entornos y plataformas son cada vez más fáciles de operar de forma intuitiva, crean una gran diversidad de aplicaciones de uso potencial en el proceso educativo. Por otra parte, existen programas y herramientas digitales enfocadas de manera específica al espacio escolar, y de forma particular a la enseñanza de las ciencias escolares.

La relevancia de la resolución de problemas numéricos en la enseñanza de la Física

La resolución de problemas numéricos representa uno de los objetivos primordiales en la enseñanza de la Física y desde niveles escolares básicos hasta universitario se dedica una parte importante del tiempo del curso a desarrollar esta habilidad en los estudiantes. Este proceso es muy amplio y complejo debido a que intervienen en su desarrollo un enorme abanico de factores cognitivos, metacognitivos, actitudinales y motivacionales y ha sido fuente de una gran diversidad de investigaciones desde los ámbitos psicológicos hasta los pedagógicos (Ceberio et al., 2008). Adicionalmente, la percepción de la Física por parte de los estudiantes, y particularmente aquella parte que se refiere a la resolución de problemas, genera retos importantes a vencer. Por ejemplo, la idea de que la física sólo se reduce a la resolución de problemas numéricos o la percepción que la resolución de problemas es una actividad aburrida, difícil y rutinaria (Meneses Espinal y Peñaloza Gelvez, 2019).

En algunos países, el bajo desarrollo en la resolución de problemas numéricos suele relacionarse con los altos niveles de rezago y deserción de las asignaturas científicas escolares (Arana Flores et al., 2019) y también se pone de manifiesto en los resultados de las pruebas internacionales estandarizadas, tal como la Programa para la evaluación internacional de estudiantes PISA, en las cuales México, obtuvo resultados de competencia científica y matemática entre los más bajos de todos los países miembros de OCDE y ha retrocedido con respecto a los resultados de la evaluación previa: “Los resultados promedio de 2022 fueron inferiores en comparación con las evaluaciones anteriores de 2018 en matemáticas y ciencias (OCDE, 2023).

Definición y tipos de problemas numéricos

En el ámbito escolar, el uso del término *problema* generalmente corresponde a una situación, real o no, a resolver mediante un método o procedimiento y en donde la ejecución de esto último es el elemento más importante, incluso que la obtención de la solución correcta. De acuerdo con Perales Palacios (1993) el término problema puede referirse a tareas extremadamente diversas y es “cualquier situación prevista o espontánea que produce, por un lado, cierto grado de incertidumbre y, por el otro, una conducta tendente a la búsqueda de solución” (p. 170).

Los problemas numéricos son aquellos que incluyen ecuaciones o modelos matemáticos que relacionan variables y datos y en donde es necesario realizar cálculos numéricos para alcanzar su solución, por lo cual su columna vertebral son las matemáticas (Bing & Redish, 2009). Es importante enfatizar que este tipo de problemas necesariamente está anclado a una componente teórica y a un marco conceptual, el cual incluye los conceptos y leyes relacionadas.

Algunos autores proponen una diferencia entre los ejercicios y problemas numéricos. Los primeros corresponden a en la aplicación directa del modelo matemático o ecuaciones del concepto o fenómeno físico previamente abordado. Por otra parte, los problemas son enunciados en los cuales se incorpora “...una situación nueva, ante la cual no se dispone de procedimiento inmediato para su resolución” (Isoda y Olfos, 2009, p. 100). Otros autores, por ejemplo Carcavilla Castro y Escudero Escorza (2004), se refieren a ellos como problemas estructurados y problemas estratégicos respectivamente. Sin embargo, la designación de que un enunciado represente sólo un ejercicio o problema depende del sujeto, es decir del conjunto de conocimientos, habilidades y actitudes de que disponga el estudiante. Un enunciado puede significar un gran reto para un solucionador novato y un mero ejercicio para un experto.

Dado que la resolución de problemas es una situación compleja que implica el uso de diversos recursos cognitivos, varios autores (Bravo et al., 2021; Buteler, 2003) coinciden en que es necesaria la intervención docente específica e intencionada para apoyar a los estudiantes en el desarrollo de las habilidades de resolución de problemas.

Relación entre TIC y resolución de problemas numéricos en Física

De la misma manera en que la tecnología digital ha apoyado el proceso educativo en diversos campos del conocimiento humano, las TIC pueden posibilitar su inserción dentro de intervenciones didácticas con el fin de fortalecer todas las áreas del conocimiento en las disciplinas escolares, incluida la asignatura de Física. Sólo es importante enfatizar que cualquier intervención de las TIC en el ámbito escolar debe insertarse bajo una secuencia didáctica planeada que priorice el cumplimiento de los retos y objetivos educativos.

La física escolar y la resolución de problemas en esta disciplina también ha contado con el apoyo de las tecnologías digitales desde hace varias décadas. Con la intención de configurar un escenario en el cual se muestren las diferentes TIC que apoyan específicamente el desarrollo en los estudiantes de la habilidad para plantear y resolver problemas numéricos en Física escolar, se realizó una revisión sistemática que permita encontrar las publicaciones en este sentido. El objetivo principal de esta revisión es que, a través de los resultados, se permita delinear cuáles son las principales tendencias en el uso de las TIC en esta área educativa en específico, de tal manera que los docentes puedan valorar la inserción de ellas en su práctica educativa cotidiana.

TIC para el desarrollo de habilidades numéricas

En el escenario propuesto, se puede elaborar la siguiente pregunta ¿Cuáles son los avances más relevantes del uso de las TIC para desarrollar en los estudiantes la habilidad de resolución de problemas numéricos en física?

Inicialmente habría que considerar que probablemente en todo el mundo hay una gran cantidad de profesionales de la educación que usan algún tipo de TIC para fortalecer el desarrollo de esta habilidad y existirán miles de experiencias muy valiosas de este tipo las cuales, desafortunadamente, no se encuentran documentadas formalmente.

En ese sentido, es preciso buscar esta información en fuentes documentadas en las cuales describan el contexto, el recurso tecnológico usado y los resultados de ello. La metodología aplicada para el desarrollo de la investigación fue la revisión sistemática, a

través de la cual se realiza la recopilación, lectura y reporte de literatura científica indexada sobre el tema.

Método de búsqueda sistemática: Protocolo PRISMA

La presente investigación está sustentada en los siguientes criterios:

- Una revisión sistemática realizada bajo la declaración PRISMA 2020
- El uso de buscadores en bases de datos académicos para la localización de artículos científicos
- Periodo de búsqueda durante los últimos 10 años
- Búsqueda específicamente en experiencias del uso de TIC para apoyar la habilidad del planteamiento y resolución de problemas numéricos

La revisión sistemática para obtener el estado del conocimiento sobre las TIC usadas para fortalecer la habilidad de resolución de problemas numéricos, se realizó mediante los protocolos de PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses) en la versión de 2020 que permite obtener la información más completa y precisa de la literatura existente bajo una serie de directrices y elementos de verificación que arrojan resultados con un alto nivel de certidumbre.

Aunque PRISMA está enfocada en revisiones sistemáticas en el ámbito de la salud, también es aplicable en otras áreas, por ejemplo, las revisiones en temas educativos. El documento normativo de presentación de este protocolo (Page et al., 2021) sugiere que los autores de revisiones sistemáticas “...deben elaborar una publicación transparente, completa y precisa en la que se describa por qué se ha realizado la revisión, qué se ha hecho (por ejemplo, cómo se han identificado y seleccionado los estudios) y qué se ha encontrado” (p. 791).

Bases de datos académicos

En el ámbito académico existen varias y prestigiosas bases de datos que ofrecen la difusión de los productos editoriales que dan cuenta de la actividad académica y científica a través de los registros correspondientes. Para brindar este servicio, estos proyectos incorporan diferentes revistas y publicaciones de prestigio de acuerdo a sus criterios y estándares internos.

Estos sitios cuentan con un buscador que permite la localización de publicaciones que cumplen los criterios establecidos por el usuario, entre los cuales se encuentra principalmente los términos o palabras clave de la búsqueda. Adicionalmente, algunos motores de búsqueda permiten seleccionar el tipo de publicación y un periodo y algunos otros elementos, tales como la fuente o área de la publicación.

La principal intención del uso de este recurso es obtener información científica y académica publicada, que se encuentre soportada por revistas o sitios especializados y discriminarla de aquella que no lo es. Con ello se logra, por una parte, la idoneidad de los resultados y la garantía de que este proviene de una fuente válida y confiable, requisito indispensable de los protocolos de PRISMA.

La selección de las usadas en esta revisión sistemática obedece a la orientación que presentan en el ámbito educativo y se reportan en la Tabla 1.

Tabla 1. Bases de datos académicas para la revisión sistemática.

Bases de datos académicas		
Scopus https://scopus.com	Scielo https://search.scielo.org/	Redalyc https://redalyc.org
Dialnet https://dialnet.unirioja.es/	ERIC https://eric.ed.gov/	Open Source Physics https://compadre.org/osp/

Fuente: Elaborado por los autores.

Criterios de la búsqueda sistemática en bases de datos

Particularmente las TIC presentan una elevada tasa de cambio, debido a avances acelerados, tanto en hardware y software, por lo cual la temporalidad de los artículos es importante. Una publicación que describa una experiencia valiosa hace muchos años será interesante pero probablemente ya haya perdido vigencia.

En ese sentido, inicialmente se realizó una búsqueda centrada en artículos publicados durante los últimos cinco años lo cual permite inferir la pertinencia para los tiempos actuales. Sin embargo, en la búsqueda surgieron resultados interesantes previos a este periodo, por lo que éste se amplió a los últimos diez años.

La presente revisión sistemática tiene como objetivo indagar el uso de las TIC en el desarrollo de habilidades para la resolución de problemas numéricos en Física y a través de las diferentes etapas de búsqueda se insertaron varios conceptos relacionados que se detallan en la descripción de las diferentes etapas. Los resultados de esta revisión arrojaron

títulos de publicaciones interesantes y valiosos, pero sólo fueron considerados sólo aquellos que cumplieron los términos específicos de la búsqueda.

Etapas de la búsqueda sistemática

Una vez establecidos los criterios de búsqueda, el procedimiento de revisión sistemática continuó con la recopilación de publicaciones científicas indexadas y diversificadas a través de los buscadores en las bases de datos académicas mencionadas.

Primera etapa: Los términos iniciales de búsqueda fueron: física “resolución de problemas” y TIC. Se aplicaron operadores booleanos cuando esto fue posible, dado que no todas las bases de datos lo permiten. A los resultados anteriores se aplicó el criterio del año (inicialmente restringido a cinco años). En el caso de los buscadores no contaran con esta opción, la revisión fue manual. Adicionalmente se integró otro elemento importante previsto en PRISMA, que consiste en configurar la búsqueda a un sólo tipo de publicación, que fueron los artículos científicos. En el caso que la base de datos no lo permitiera, también esta acción se realizó manualmente.

Posteriormente a los resultados obtenidos se aplicó una revisión manual a través de la lectura del título, con el fin de discriminar aquellos que no correspondieran con el sentido de la búsqueda. Los principales elementos discriminadores son que refieran a otras asignaturas científicas escolares (Química, Biología, Geografía, Matemáticas, etc.) o cualquier asignatura que no sea Física; que aborden sólo conceptualmente el tema, sin proponer una alternativa para que los estudiantes desarrollen la habilidad de resolución de problemas; que no incluya TIC o alguna tecnología digital asociada y en general aquellos que no tengan alguna relación al tema. De todos los resultados del proceso anterior se realizó la lectura de la publicación para determinar si esta era pertinente a la presente revisión sistemática, y en caso de serlo, recopilar los datos sobre la TIC usada.

Segunda etapa: Para realizar una búsqueda más precisa, se indagó con las TIC más mencionadas en los resultados previos. En esta nueva etapa de búsqueda los términos mantenidos fueron Física y “resolución de problemas”, pero se realizó la indagación para cada uno de los siguientes términos aunados a los anteriores: video, simulaciones, programas de computadoras o computacionales. Posteriormente se aplicaron los mismos procedimientos que en la etapa anterior. Por otra parte, para esta segunda etapa se amplió el periodo de revisión a los últimos diez años.

Tercera etapa: Consistió en realizar la búsqueda similar a la primera, pero cambiando los términos de la revisión a physics, “problem solving” ICT, además manteniendo el periodo a los últimos 10 años. Nuevamente se aplicaron todos los procedimientos mencionados anteriormente.

Cuarta etapa: En esta etapa se realizó una búsqueda más específica con los términos en inglés y se incorporó el término video debido a que fue la TIC más mencionada en los resultados previos (physics, “problem solving” video). Se realizaron todos los procedimientos adicionales mencionados anteriormente.

Quinta etapa: Esta última consistió en utilizar un buscador relacional (Connected Papers Search <https://www.connectedpapers.com/>) que permitiera ampliar la búsqueda considerando publicaciones localizadas en la primera etapa, pero que escapaban al rango de tiempo establecido. A partir de ellas, se localizaron publicaciones que hayan hecho referencia a estos, para encontrar una alternativa de trabajos similares que contaran con las características deseadas. Nuevamente, para los resultados obtenidos se realizó el mismo procedimiento indicado para las etapas anteriores, el periodo de búsqueda quedó libre, en tanto fueran posteriores a las publicaciones originales.

Resultados

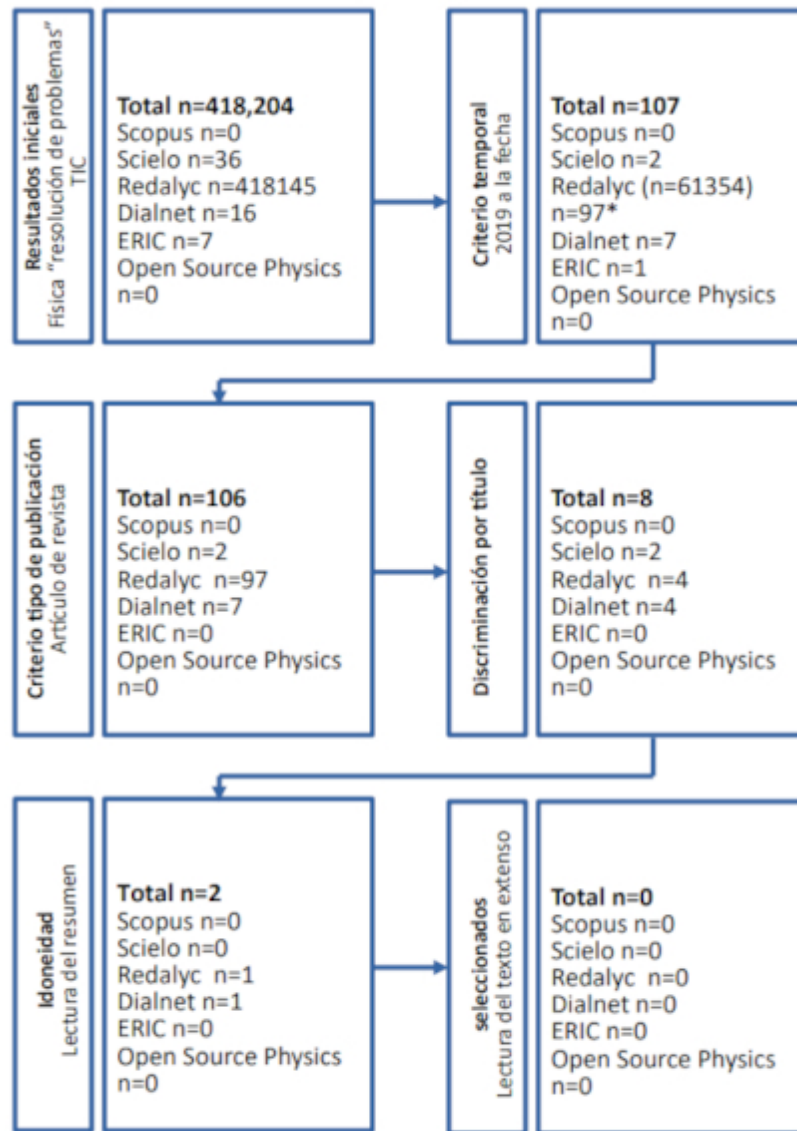
Como se mencionó, muchas TIC permiten apoyar y fortalecer el proceso educativo en todas las disciplinas del conocimiento. Este ejercicio de indagación permitió conocer menciones de herramientas tecnológicas de propósito general que también son usadas en Física escolar, que incluyen procesadores de texto, presentaciones electrónicas, hojas de cálculo, buscadores de internet, servicios de mensajería instantánea, redes sociales, banco de imágenes y elementos multimedia, plataformas educativas, MOOC, aplicaciones de tareas en línea, pizarrones electrónicos, cuadernos electrónicos, aplicaciones de realidad aumentada, bibliotecas digitales, videos, cuestionarios en línea o *quizzes*, graficadores, aplicaciones de calculadora científica, etc.

Adicionalmente se encontraron aplicaciones que son más específicas de Física y asignaturas científicas escolares: Laboratorios virtuales y simuladores (*Phet*, *Educaplus*, *StudyRoom*, *GeometricOptics*), aplicaciones para dispositivos móviles para mediciones de magnitudes físicas (*Physics Toolbox Suite*, *Phyphox*, *Science Journal*) y aplicaciones específicas en Física (*Physics Playground*, *Fisicalc*, *Applets*, *Vernier*).

Resultados obtenidos en cada etapa

Derivado de la búsqueda sistemática, durante la primera etapa se obtuvieron los resultados mostrados en la Figura 1, en la cual se especifican los diferentes pasos del procedimiento de revisión.

Figura 1. Proceso de la información en la primera etapa.



* En Google Scholar: física "resolución de problemas" TIC site:redalyc.org

Como es notorio, el número de publicaciones de Redalyc es enorme y esto es debido a que su motor de búsqueda no cuenta con la posibilidad de uso de operadores booleanos. Específicamente para esta base de datos se usó como apoyo el motor de búsqueda de Google Académico con tales operadores para este sitio en específico, con el resultado que el número de registros se redujo considerablemente. A partir de esta etapa, este paso adicional se aplicará en la búsqueda sólo para la base de datos de Redalyc.

Es importante mencionar que los resultados aceptables en número tan reducido son esperados, dado el carácter tan específico de la búsqueda sistemática. Se enfatiza que la búsqueda es sobre TIC usadas para el desarrollo de habilidades de resolución de problemas cuantitativos en Física escolar.

Para ejemplificar la situación se muestra un artículo que fue considerado en el criterio de lectura del título, pero al leerlo en extenso se determinó su no cumplimiento con los criterios establecidos y las razones de ello.

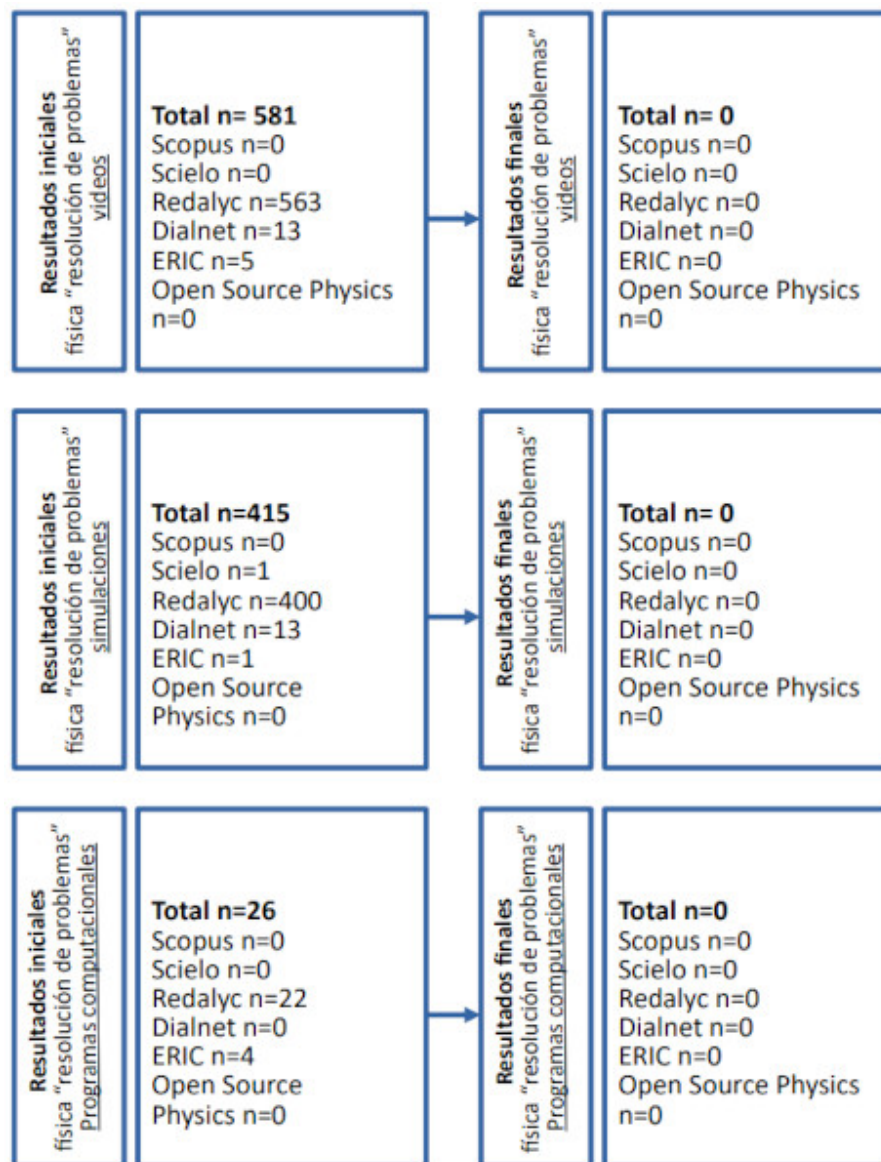
- El aprendizaje de la física, TIC y el estudio del hombre más rápido del mundo (Pedroso Camejo, 2021)

El artículo se enfoca en competencias en la formación de profesores, principalmente en aprendizajes conceptuales, procedimentales y actitudinales a través de un problema de la vida real (el hombre más rápido del mundo). Para su análisis se utilizan métodos numéricos, el uso de la hoja de cálculo Excel para realizar cálculos y graficas relacionados con cinemática.

Comentarios: El uso de software de propósito general para fines educativos es muy valioso. En este caso se utiliza para automatizar la realización de cálculos numéricos. Si bien es un gran apoyo, no abona para que el estudiante desarrolle la habilidad de plantear y resolver problemas numéricos en Física.

Para la siguiente etapa los resultados se muestran sólo en sus pasos inicial y final (Figura 2) para cada uno de los términos de TIC incorporados. A partir de esta etapa, muchas de las publicaciones obtenidas en esta búsqueda ya forman parte de los resultados anteriores y habían sido sometidas al proceso de escrutinio.

Figura 2. Proceso de la información en la segunda etapa.



Aunque hay investigaciones muy interesantes, tampoco en esta etapa se localizan publicaciones que cumplan estrictamente con los parámetros establecidos. Un ejemplo de descarte se muestra a continuación.

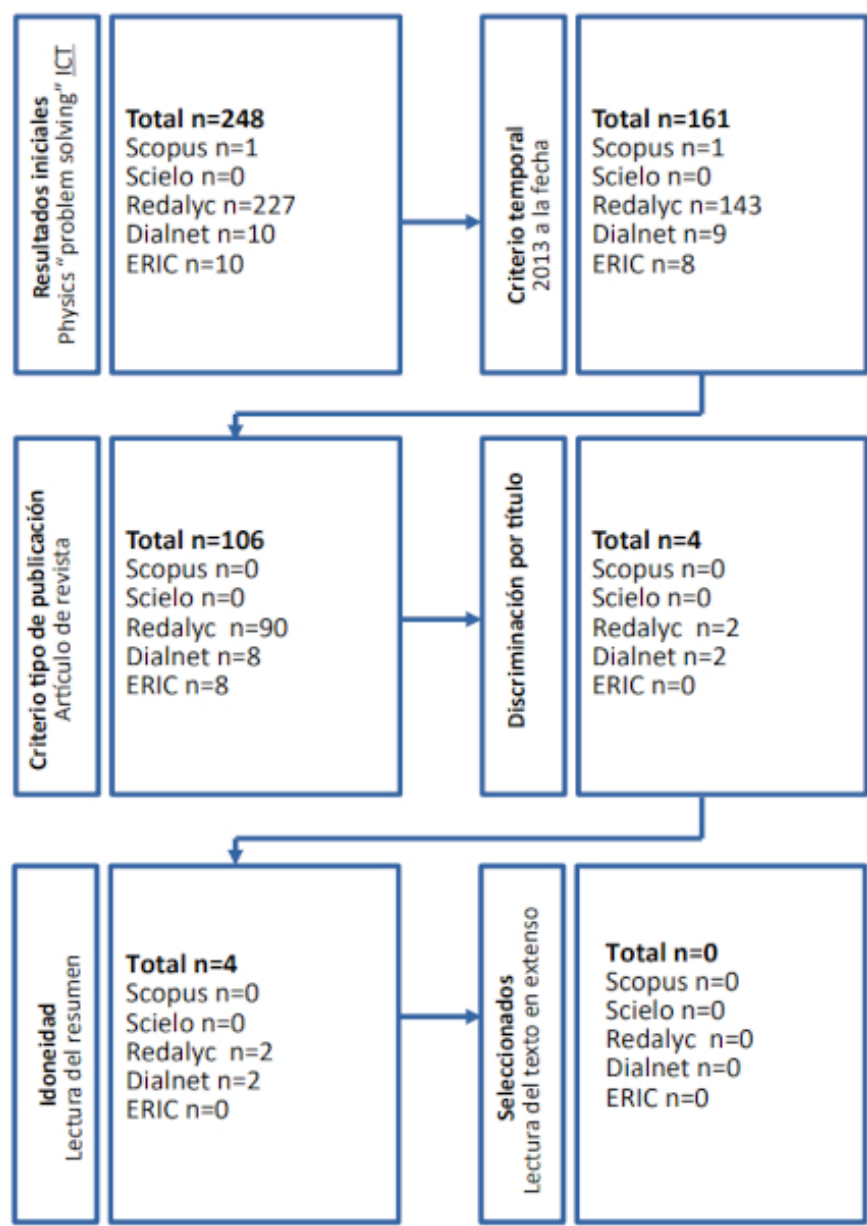
Enseñando a programar por ordenador en la resolución de problemas de Física de Bachillerato (Roldán Segura et al., 2018)

Se trata de enseñar a los estudiantes a desarrollar código y programar simulaciones de fenómenos físicos (*fislet*) en clases de programación extracurriculares. Las aplicaciones generadas producen cálculos numéricos y representaciones gráficas bajo una fórmula determinada. Se pretende que los estudiantes desarrollen sobre todo el pensamiento computacional y una mayor comprensión del fenómeno físico.

Comentarios: *El artículo se orienta a desarrollar la habilidad de escritura de código y programación, y su aplicación en temas de Física. Se relaciona con resolución de problemas, pero a nivel de aplicar una fórmula a través del ingreso de datos en la interfaz, de tal manera como se haría con una calculadora programable. Definitivamente, si bien este programa es útil a nivel de determinar numéricamente un valor, esta acción didáctica no desarrolla la habilidad de resolver problemas numéricos en Física.*

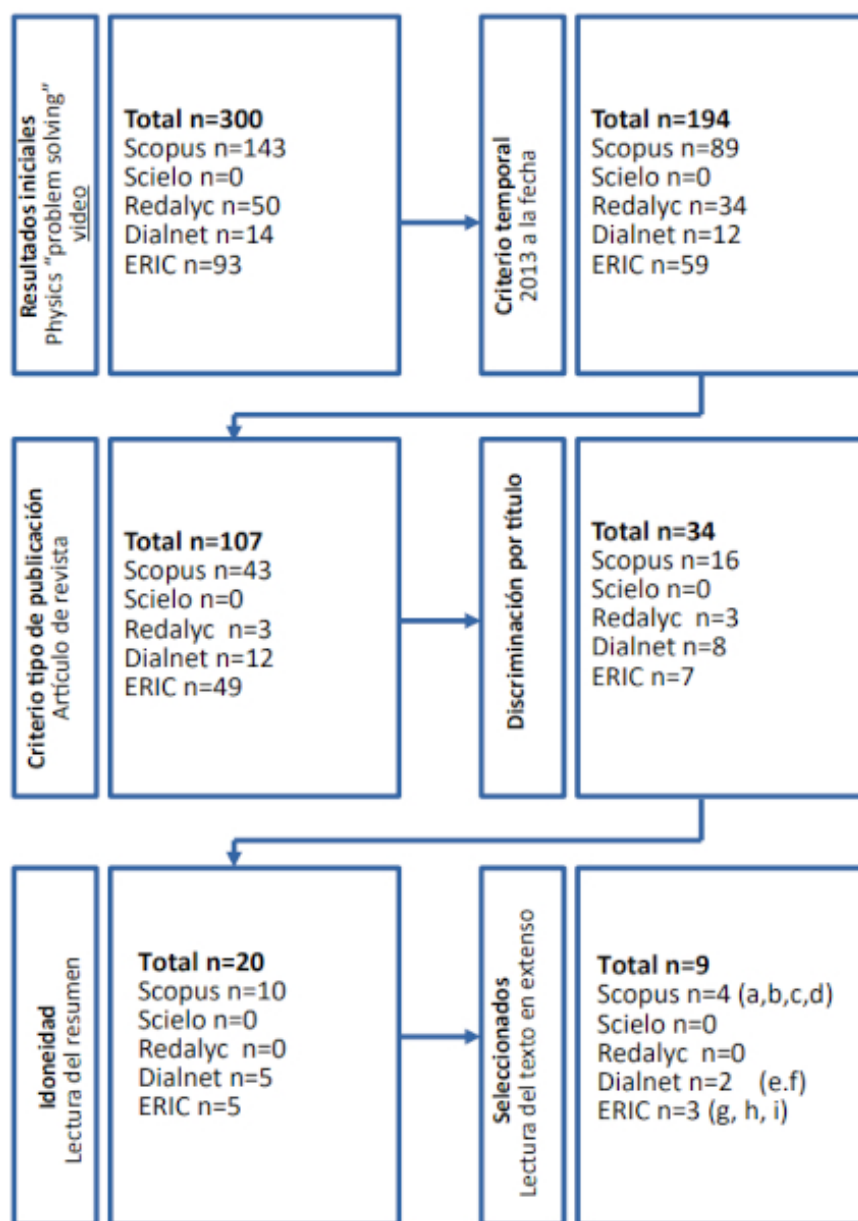
Durante la tercera etapa en la cual se introdujeron los términos de búsqueda en idioma inglés, fue notable que algunas de las bases de datos que no habían obtenido resultados, en esta ocasión sí lo hicieron. Lo anterior muestra la integración de revistas en este idioma dentro de sus bases de datos, tal como se muestra en la Figura 3.

Figura 3. Proceso de la información en la tercera etapa.



Cuando se realizó la búsqueda con el término video los resultados fueron numerosos, incluidos aquellos presentes en la etapa final (Figura 4), aunque hay varios resultados repetidos con la etapa anterior.

Figura 4. Proceso de la información de la cuarta etapa.



El procedimiento realizado en la quinta y última etapa también implica la consulta en bases de datos al ingresar una publicación específica. La emisión de los resultados es diferente a las etapas anteriores, dado que lo que se reporta son aquellas publicaciones estrechamente relacionadas con la original, tal como se muestra en la Tabla 2. Se hace hincapié que los artículos iniciales, aunque escapan del periodo establecido, han dado lugar a publicaciones orientadas en el sentido de la búsqueda establecida en el presente trabajo.

Tabla 2. Resultados de la búsqueda de artículos relacionados en la quinta etapa.

Publicación original	Publicaciones relacionadas	Publicaciones que cumplen los criterios
(j) Teaching scientific thinking skills: Students and computers coaching each other. (Reif & Scott, 1999)	10	2 (k, l)
(m) Andes: A Coached Problem Solving Environment for Physics (Gertner & Vanlehn, 2000)	10	0
(n) Solving physics problems with the help of computer-assisted instruction (Pol et al., 2005)	10	1 (o)

Fuente: Elaborado por los autores.

Las herramientas o recursos digitales y TIC que se emplean de manera específica para desarrollar en los estudiantes la habilidad de resolver problemas numéricos en Física, que son la razón de la presente revisión sistemática, se muestran en la Tabla 3. Es necesario aclarar que la presente es derivada de la revisión sistemática en las bases de datos mencionadas, descrita en el presente documento, pero tampoco pretende ser exhaustiva. Se integraron sólo aquellos resultados que se consideran enfocados específicamente a los criterios establecidos, lo cual de ninguna manera pretende cuestionar la calidad, utilidad o valor de los registros no considerados.

Tabla 3. Artículos seleccionados.

Publicación	TIC usada	Comentarios
(a) Promoting Problem Solving Through Interactive Video-Enhanced Tutorials. (Koenig et al., 2022)	Videos tutoriales interactivos	Es una práctica guiada para resolución de problemas numéricos en el tema de colisiones inelásticas en física universitaria. Los videos tutoriales tratan de emular los procesos cognitivos y metacognitivos que son empleados por los resolvedores expertos. En la interactividad ofrecen retroalimentación, guían a los estudiantes en cada paso y promueven el razonamiento.

Publicación	TIC usada	Comentarios
(b) Effect of presentation style and problem-solving attempts on metacognition and learning from solution videos. (Morphew et al., 2020)	Videos de problemas resueltos, narrados y animados	Los videos mencionados en la presente publicación cuentan con elementos relevantes en el desarrollo de la habilidad de resolver problemas: considerar el aspecto teórico conceptual en el que está inserto el problema, una aproximación al procedimiento o algoritmo estructurado de la solución y un proceso metacognitivo.
(c) An investigation of effects of instructional videos in an undergraduate physics course. (Ketsman et al., 2018)	Videos instruccionales interactivos	Se aborda el tema de Leyes de Newton a nivel universitario. Se hace énfasis en la importancia de la interactividad con el video para mejores aprendizajes, comparándolo con videos meramente narrativos. Es importante notar que el término de videos instruccionales y videos tutoriales se refieren a conceptos casi idénticos
(d) The Effectiveness of pencasts in Physics Courses. (Weliweriya et al., 2017)	Videos de solución de problemas realizados por los estudiantes (pencast)	Los pencast se usan como insumo para el aprendizaje en el tema de campos electromagnéticos a nivel universitario. Al preparar y realizar la solución de un problema hay un proceso que demanda funciones cognitivas, un proceso reflexivo y un razonamiento previo, el cual puede conducir al desarrollo de la habilidad de resolución de problemas numéricos.
(e) El mismo registro que (a) (f) El mismo registro que (d) (g) El mismo registro que (c) (h) El mismo registro que (a) (i) El mismo registro que (b)		
(j) Teaching scientific thinking skills: Students and computers coaching each other. (Reif & Scott, 1999)	Programa tutorial por computadora	Un programa semejante a un tutor personal que funge como asistente personal de aprendizaje para desarrollar funciones cognitivas que permitan a los estudiantes aplicar de forma adecuada los conceptos y principios científicos a la resolución de problemas numéricos en física en el tema específico de leyes de Newton.

Publicación	TIC usada	Comentarios
(k) Computer Problem-Solving Coaches. (Hsu & Heller, 2009)	Programa tutorial por computadora	El marco de trabajo es basado en las estrategias y heurísticas de resolvedores expertos, enfatizando la toma de decisiones sobre el procedimiento a realizar. El programa fue realizado en Flash y disponible a través de navegadores web. Presenta una interfaz gráfica que puede manejarse de forma intuitiva, y está estructurada de tal manera que son claras las diferentes etapas del procedimiento. Cuenta con interactividad en el sentido de dar retroalimentación sobre si las respuestas en cada paso son correctas o no.
(l) Computer problem-solving coaches for introductory physics: Design and usability studies. (Ryan et al., 2016)	Programa tutorial por computadora	Un conjunto de programas computacionales basados en la web que funge como tutor para desarrollar habilidades metacognitivas en la resolución de problemas en física introductoria. Ofrece una interfaz gráfica que es intuitiva para el usuario, además de estar estructurada e incorporar las estrategias que usan los solucionadores expertos. El sistema ofrece retroalimentación inmediata en cada una de las etapas del procedimiento.
(m) Andes: A Coached Problem Solving Environment for Physics (Gertner & Vanlehn, 2000)		Sistema inteligente de tutoría para apoyar el aprendizaje de Física en estudiantes universitarios, programado en lenguaje C con un enfoque modular y enfoque de enseñanza de habilidades cognitivas. La interacción con el programa confirma al estudiante la solución a un determinado problema si este es correcto, y si el estudiante comete un error, el apoyo consiste en dar pistas y ofrecer ayuda en términos conceptuales, procedimentales y con ejemplos relacionados.
(n) Solving physics problems with the help of computer-assisted instruction (Pol et al., 2005)		Denominado Nathit ofrece apoyo a través de pistas y sugerencias en cada etapa de la resolución de problemas numéricos sobre fuerzas. La idea principal es que a través de la ayuda interactiva de un programa que apoye el aprendizaje autorregulado fomentará que los estudiantes pueden desarrollar habilidades estratégicas que les permitan resolver problemas más complicados que aquellos estandarizados presentados en los libros.

Publicación	TIC usada	Comentarios
(o) A new approach: Computer-assisted problem-solving systems. (Gok, 2010)	Sistema integrado por programas de uso general y una estrategia integrada de solución de problemas	Aprovecha los beneficios de los programas Blackboard, WebAssign and LON-CAPA, en combinación con IPSS (Integrated Problem Solving Strategy), que esencialmente plantea tres pasos en la resolución de problemas: identificar los principios fundamentales (identificar y entender el problema); resolución (subdividir el problema en subproblemas) y Revisión (confirmar que la solución es correcta y válida). En ese sentido refuerza procesos cognitivos y metacognitivos

Fuente: Elaborado por los autores.

Discusión y conclusiones

Comentarios sobre las bases de datos

Los buscadores de las bases de datos ofrecen un apoyo extraordinario ante la cantidad de información disponible en la actualidad y constituyen en una herramienta muy valiosa. Sin embargo, muchos de los resultados no necesariamente coinciden con los criterios ingresados. Incluso había algunos que escapaban completamente a los términos de búsqueda y esto se debe a cómo están diseñados los motores de búsqueda, cuestión que finalmente escapa de nuestro ámbito de influencia.

Uno de los grandes retos de esta actividad es que el concepto “resolución de problemas” es muy amplio y diverso y alude a una gran cantidad de situaciones, desde problemas abiertos cotidianos hasta, por ejemplo, cómo obtener información de un experimento en el área de la física escolar. También se obtuvieron como resultados descartables publicaciones interesantes que abordan el concepto desde el ámbito de la psicología, pero que no son pertinentes para la presente investigación. Por otra parte, el término “Física” generó resultados relacionados con “educación física” que, al menos en México, se relaciona con ejercicio, deportes y bienestar físico, por lo cuales todos ellos fueron rechazados. Por otra parte, muchos de los resultados obtenidos se refieren a la asignatura de Matemáticas. Si bien la competencia matemática es necesaria para la resolución de problemas numéricos en Física, no es el enfoque deseado, por ejemplo, la publicación denominada Resolución de problemas, habilidades y rendimiento académico en la enseñanza de la matemática (Gamarra Astuhuaman & Pujay Cristóbal, 2021) describe un procedimiento aplicado con la implementación de un método de resolución de problemas a estudiantes universitarios

en un curso de lógica matemática con resultados favorables. Sin embargo, es necesario enfatizar que la resolución de problemas numéricos en física, aunque requiere de competencias matemáticas, debe estar sustentado en una componente teórica conceptual que incluye conceptos, principios y leyes del fenómeno físico abordado.

Algunos resultados no considerados corresponden a simulaciones, applets y laboratorios virtuales de fenómenos físicos que permiten visualizar desde la perspectiva teórica la relación entre variables y cuyos resultados numéricos corresponden a relaciones de proporcionalidad y así producen una mejor comprensión del fenómeno, pero no pueden plantear y resolver problemas numéricos. También existen programas y aplicaciones comerciales que realizan los cálculos numéricos y que constituyen una herramienta muy importante en las asignaturas científicas escolares, incluida las matemáticas. Sin embargo, ello sólo facilita una parte del proceso, precisamente a aquellos que se refieren a la parte matemática y no apoyan en forma integral en el desarrollo de la habilidad de resolver problemas en Física, en la cual es absolutamente necesario el marco conceptual disciplinar.

El número final de publicaciones puede parecer pequeño y probablemente esto se debe principalmente a lo específico de la búsqueda, lo cual se puede evidenciar a través de la cantidad inicial de resultados y la disminución progresiva al aplicar los criterios.

Es importante mencionar que es probable que docentes en todo el mundo hagan uso de las TIC de manera cotidiana para fortalecer el proceso de habilidades de resolución de problemas numéricos en física en sus estudiantes, pero que este esfuerzo no esté formalmente documentado y publicado.

Comentarios sobre los videos educativos y videos tutoriales

Como se ha mencionado, una de las características más importantes de las generaciones actuales es su interés de interacción con contenidos multimedia, por esta razón los videos como medio para el esparcimiento o el aprendizaje han tenido gran relevancia. En el caso de los videos en el ámbito educativo, generalmente su estilo es meramente narrativo donde el estudiante sólo es espectador, lo cual no necesariamente deriva en un desarrollo de habilidades y se carecen de los elementos de evaluar el aprendizaje logrado.

Por ello ha surgido una nueva generación de ellos que se muestran en los resultados de esta búsqueda sistemática: los videos tutoriales interactivos en los cuales la posibilidad de interacción con el contenido es un elemento importante para que el estudiante se convierta en parte activa del proceso y migre de ser espectador a ser partícipe. Además, la posibilidad de retroalimentación permite que el estudiante pueda realizar una autoevaluación para

enfaticar aquellos aspectos en los cuales no ha logrado el aprendizaje necesario. Aunado a ello, cuando se involucran procesos metacognitivos tienden a convertirse en una herramienta muy valiosa en el desarrollo de habilidades en la resolución de problemas numéricos en Física. Como recurso complementario a los cursos presenciales, una gran ventaja es que los estudiantes puedan acceder a él a su propio ritmo, las veces que consideren necesario y fuera de los horarios escolares.

Comentarios sobre los programas computacionales

La interacción con el usuario es una de las características más importantes en los programas computacionales cuya intención es desarrollar la habilidad para resolver problemas numéricos en física y que es común a todos los resultados obtenidos en esta búsqueda. También estos programas se han caracterizado por tratar de reproducir las características del comportamiento cognitivo asociadas a los expertos en resolución de problemas, a través del diseño estructurado del procedimiento para la resolución, en el cual la componente algorítmica matemática es un paso necesario, pero no el más importante.

Los resultados obtenidos muestran que los programas computacionales pueden actuar como un tutor, semejante a cómo lo haría con un humano, señalando los aciertos y los errores en cada paso y ofreciendo la ayuda a nivel conceptual, estructural y matemático cuando esta es necesaria.

Los programas computacionales requieren del conocimiento y dominio de un lenguaje de programación, por lo que estas experiencias son escasas, sin embargo, con el auge de la inteligencia artificial probablemente en el futuro se observen más herramientas de este tipo.

Referencias

- Arana Flores, M.A., Gómez Saldaña, E., & Pérez López, C.G. (2019). Evaluación de una estrategia para disminuir la deserción escolar por reprobación y rezago en un centro escolar de Educación media superior. *Debates en Evaluación y Currículum* [Ponencia]. *Congreso Internacional de Educación: Evaluación*.
- Bing, T.J., & Redish, E.F. (2009). Analyzing problem solving using math in physics: Epistemological framing via warrants. *Physical Review Special Topics -Physics Education Research*, 5(2), 020108. <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.5.020108>
- Bravo, B., Montero, M., Juárez, M., & Solari, F. (2021). Desarrollo de la competencia de resolución de problemas ingenieriles en clases de Física. *Revista Electrónica de Investigación En Educación En Ciencias*, 16(2), 1–17.

- Buteler, L. (2003). La resolución de problemas en física y su relación con el enunciado. *Revista Enseñanza de La Física*, 16(1), 5–16. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF/article/view/15857>
- Carcavilla Castro, A., & Escudero Escorza, T. (2004). Los conceptos en la resolución de problemas en física “bien estructurados”: aspectos identificativos y aspectos formales. *Enseñanza de Las Ciencias*, 22(2), 213–228.
- Ceberio, M., Guisasola, J., & Almudí, J. M. (2008). ¿Cuáles son las innovaciones didácticas que propone la investigación en resolución de problemas y qué resultados alcanzan? *Enseñanza de Las Ciencias*, 26(3), 419–430.
- Gamarra Astuhuaman, G., & Pujay Cristóbal, O.E. (2021). Resolución de problemas, habilidades y rendimiento académico en la enseñanza de la matemática. *Revista Educación*, 45(1). <https://doi.org/10.15517/revedu.v45i1.41237>
- Gertner, A.S., & Vanlehn, K. (2000). Andes: A Coached Problem Solving Environment for Physics. In 5th International Conference on Intelligent Tutoring Systems (Ed.), *Lecture Notes in Computer Science*, 133–142. https://doi.org/10.1007/3-540-45108-0_17
- Giannini, S. (2020). COVID-19 y educación superior: de los efectos inmediatos al día después. *Revista Latinoamericana de Educación Comparada: RELEC*, 11(17), 1–57. <https://www.iesalc.unesco.org/wp-content/uploads/2020/05/COVID-19-ES-130520.pdf>
- Gok, T. (2010). A new approach: Computer-assisted problem-solving systems. *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching*, 11(2), 1-22.
- GPS Education. (2022). *Indicadores educativos México*. <https://Gpseducation.Oecd.Org/CountryProfile?PrimaryCountry=MEX>
- Hsu, L., & Heller, K. (2009). Computer problem-solving coaches. *Proceedings of the NARST 2009 Annual Meeting*, 1-9. <http://research.physics.illinois.edu/PER/Tycho.html>
- Isoda, M., & Olfos, R. (2009). *Enfoque de Resolución de Problemas*. Ediciones Universitarias de Valparaíso de la Universidad Católica de Valparaíso.
- Ketsman, O., Daher, T., & Colon Santana, J.A. (2018). An investigation of effects of instructional videos in an undergraduate physics course. *E-Learning and Digital Media*, 15(6), 267–289. <https://doi.org/10.1177/2042753018805594>
- Koenig, K., Maries, A., Teese, R., & Chabot, M. (2022). Promoting Problem Solving Through Interactive Video-Enhanced Tutorials. *The Physics Teacher*, 60(5), 331–334. <https://doi.org/10.1119/5.0050673>

- Meneses Espinal, M.L., & Peñaloza Gelvez, D.Y. (2019). Método de Pólya como estrategia pedagógica para fortalecer la competencia resolución de problemas matemáticos con operaciones básicas. *Zona Próxima*, 31, 7–25.
- Morphew, J.W., Gladding, G.E., & Mestre, J.P. (2020). Effect of presentation style and problem-solving attempts on metacognition and learning from solution videos. *Physical Review Physics Education Research*, 16(1). <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.16.010104>
- Navarro Robles, M., & Vázquez Barrio, T. (2020). El consumo audiovisual de la Generación Z. El predominio del vídeo online sobre la televisión tradicional. *Ámbitos Revista Internacional de Comunicación*, 50, 10–30. <https://doi.org/10.12795/Ambitos.2050.i50.02>
- OCDE Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. (2023, 05 de diciembre). *PISA 2022 Results: Factsheets Mexico*.
- Page, M.J., McKenzie, J.E., Bossuyt, P.M., Boutron, I., Hoffmann, T.C., Mulrow, C.D., Shamseer, L., Tetzlaff, J.M., Akl, E.A., Brennan, S.E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J.M., Hróbjartsson, A., Lalu, M.M., Li, T., Loder, E.W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., & Moher, D. (2021). Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. *Revista Española de Cardiología*, 74(9), 790-799. <https://doi.org/10.1016/j.recesp.2021.06.016>
- Pedroso Camejo, F. (2021). El aprendizaje de la física, TIC y el estudio del hombre más rápido del mundo. *Revista de Enseñanza de la Física*, 33(1). 21-34.
- Perales Palacios, F.J. (1993). La resolución de problemas: Una revisión estructurada. *Enseñanza de Las Ciencias*, 11(2), 170–178.
- Pol, H., Harskamp, E., & Suhre, C. (2005). Solving physics problems with the help of computer-assisted instruction. *International Journal of Science Education*, 27(3), 451–469. <https://doi.org/10.1080/0950069042000266164>
- Reif, F., & Scott, L.A. (1999). Teaching scientific thinking skills: Students and computers coaching each other. *American Journal of Physics*, 67(9), 819–831. <https://doi.org/10.1119/1.19130>
- Roldán Segura, C., Perales Palacios, F., & Ruiz Granados, B. (2018). Enseñando a programar por ordenador en la resolución de problemas de Física de Bachillerato. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 15(1). <https://www.re-dalyc.org/articulo.oa?id=92053414010>
- Ryan, Q.X., Frodermann, E., Heller, K., Hsu, L., & Mason, A. (2016). Computer problem-solving coaches for introductory physics: Design and usability studies. *Physical Review Physics Education Research*, 12(1). <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.12.010105>

Weliweriya, N., Sayre, E.C., & Zollman, D.A. (2017). The Effectiveness of “Pencasts” in Physics Courses. *The Physics Teacher*, 56(3), 161-164 <https://doi.org/10.1119/1.5025294>

§

Trends in the use of ICT for numerical problem solving in physics. A systematic review

Tendências no uso de TIC para a resolução de problemas numéricos em física. Uma revisão sistemática

Beatriz Oropeza Villalobos

<https://orcid.org/0000-0003-4760-4111>

Instituto Politécnico Nacional | CICATA Legaria | Ciudad de México | México

beti.oropeza@gmail.com

Mario Humberto Ramírez Díaz

<https://orcid.org/0000-0002-3459-2927>

Instituto Politécnico Nacional | CICATA Legaria | Ciudad de México | México

mramirezd@ipn.mx

Abstract

One of the most important challenges in school physics is the resolution of numerical problems, because it is a very complex process in which various factors intervene. The present work describes the recent state of the use of Information and Communication Technologies (ICT) as support in the development of the ability to solve numerical problems in Physics through the results of a systematic search in databases of specialized academic publications. The results obtained indicate that the main digital technologies that support this process have as their main characteristic interactivity and feedback with the student, which converts them from a spectator to an active participant and also consider metacognitive processes and not only algorithmic ones. It was determined that the ICTs that support this process are interactive tutorial videos and interactive computer programs.

Keywords:

Problem solving; Physics teaching; Systematic review; Information and Communication Technologies.

Resumo

Um dos desafios mais importantes da física escolar é a resolução de problemas numéricos, pois se trata de um processo muito complexo que envolve diferentes fatores. Este artigo descreve a situação recente do uso das Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) como suporte para o desenvolvimento de habilidades de resolução de problemas numéricos em Física por meio dos resultados de uma pesquisa sistemática em bancos de dados de publicações acadêmicas especializadas. Os resultados obtidos mostram que as principais tecnologias digitais que apoiam esse processo têm como principal característica a interatividade e o feedback com o aluno, o que o transforma de espectador em participante ativo e também considera os processos metacognitivos

e não apenas os algorítmicos. As TICs que apoiam esse processo são os tutoriais interativos em vídeo e os programas de computador interativos.

Palavras-chave:

Resolução de problemas; Ensino de física; Revisão sistemática; Tecnologias de informação e comunicação.