

Introducción al estudio de nociones básicas de física moderna mediante el uso de una propuesta integradora basada en software libre



Consuelo Escudero^{1,2}, Daniela Zalazar-García¹

¹GUDIEC-Departamento de Física. Facultad de Ingeniería. UNSJ. Argentina.
Av. Libertador Gral. San Martín 1109 Oeste.

²Departamento de Biología, FCFN, Universidad Nacional de San Juan. Argentina.

E-mail: cescudero@unsj-cuim.edu.ar

(Recibido el 12 de abril de 2021, aceptado el 30 de mayo de 2021)

Resumen

Se presentan en esta comunicación los resultados de un estudio de caso en clases de Física integrada, en el que se analizan los diversos modos de utilización de una simulación diseñada y programada como herramienta cognitiva para favorecer la construcción de esquemas y la jerarquización de conceptos buscando una aproximación al aprendizaje significativo de contenidos. Al resolver y/o reflexionar sobre situaciones problema, un estudiante puede o no conceptualizar sino más bien actuar con esquemas o algoritmos automatizados. Va a depender de las características de lo que sugieran las situaciones problemáticas y de la propuesta didáctica los que lleven, en cierto modo, a identificar indicios en el estado del proceso de aprendizaje significativo en que se encuentre. La metodología utilizada deviene de los marcos teóricos delineados cuyo enfoque metodológico es predominantemente interpretativo. Las evidencias encontradas tales como: mejora en actitudes y habilidades del cuerpo docente; interés y motivación de los jóvenes y aumento de la disposición del equipo en participar y realizar actividades innovadoras en ciencias indican que los resultados previstos han sido mayormente alcanzados y el impacto fue significativo. Los resultados obtenidos muestran que la intervención integrada ha permitido al docente utilizar herramientas cuyo potencial semiótico puede usarse para planear y regular la actividad y los procesos psicológicos de los individuos implicados en la enseñanza y el aprendizaje, para detectar concepciones, modos de razonamiento y obstáculos; y a su vez a los estudiantes, obtener una guía de autorregulación de saberes que sean coherentes con la acción de resolución de situaciones problemáticas complementarias al simulador.

Palabras clave: Física integrada, Simulación bajo entorno Geo-Gebra, Autorregulación, Efecto fotoeléctrico, Aprendizaje significativo crítico.

Abstract

In this work, we present the results of a study of integrated Physics class, where we analyze the several modes of the simulation used as a cognitive tool. The simulation allows the development of schemes, hierarchization of concepts, and the significant learning approach of contents. In solving and reflecting on problem situations, a student can conceptualize or respond with schemes or automated algorithms. The identification of signs in the state of the significant learning process of a student depends on the characteristics of the problem situations and the didactic proposal. The methodology used comes from outlined theoretical frameworks whose methodological approach is predominantly interpretive. We found evidence of improvements in the skills of the teaching team, interest, and student motivation. The results showed that the integration of simulation with problematic situations allowed enhancing the regulation of activity and psychological processes of the students analyzed. Moreover, the application of simulation integrated with problem situations enabled the detection of conceptions, modes of reasoning, and obstacles in the students. Besides, that resulted in a guide to self-regulation of knowledge.

Keywords: Integrated Physics, Simulation under Geo-Gebra environment, Self-regulation, Photoelectric effect, Critical significant learning.

I. INTRODUCCIÓN

En un momento de perplejidad global como el que nos atraviesa, producido a partir de la pandemia del COVID-19, donde todo requiere ser re-pensado, buscamos contribuir al debate sobre algunas tensiones y oportunidades que ha enfrentado la Educación Superior, así como la formación inicial y continua del profesorado en contexto de emergencia sanitaria. Dichas tensiones y oportunidades nos

brindan a su vez la posibilidad de generar y ofrecer ideas alternativas. El presente trabajo brinda, con un perfil multidisciplinario, una mirada actual de la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias básicas en los primeros cursos universitarios. La modelización se constituye en el eje organizador de su estructura de contenido, orientándose la propuesta de enseñanza que se ofrece hacia un proceso de construcción de significados desde distintas y sugestivas

facetas. Colaboran en ello procesos de abstracción y abducción, entre otros.

Lo importante – tanto en el trabajo con simulaciones, así como con laboratorios remotos o no, etc. – es siempre remarcar esta aproximación de modelado y de pensamiento computacional que favorece la regulación y autorregulación de saberes.

En la literatura se encuentran abordajes y constructos desde diferentes perspectivas, algunas de ellas innovadoras como la de propiciar un ambiente de aprendizaje en línea, mediante la utilización de clases virtuales de particular interés al momento de enfrentar esta nueva situación, ocupados y preocupados por generar condiciones que promuevan en el estudiante un mayor acercamiento a las ciencias. Sin perder de vista como señalan Romo y Mora [1] que existe una base en relación con los niveles de estrés que presentan los profesores al momento de impartir clases en dicha modalidad, siendo los problemas de conectividad los más significativos con repercusiones tanto inmediatas como mediatas, en la calidad de vida, y trasladándose a la educativa también. Sin dejar exentos a los estudiantes y sus circunstancias.

Uno de los constructos de suma trascendencia ha sido la ampliación de la noción de aula partiendo desde espacios y mentes más letrados hacia aquellos otros más digitales como en un continuo. Acordamos en que se vienen percibiendo cambios en la gestión social del conocimiento. Ello se expresa en propuestas tanto foráneas como en el ámbito iberoamericano [2, 3, 4, 5]. Lo que nos impulsa a pensar en cambiar y/o matizar las prácticas, enfatizando en el aula actividades de usos transformativos y no meramente reproductivos.

Por tanto, nos centramos en las posibilidades a nuestro alcance atendiendo a algunas debilidades presentadas en la literatura. Propiciar la autonomía de los estudiantes y educar en la responsabilidad son fundamentales. El aprendizaje digital se torna más complejo y se requieren destrezas mucho más complejas también. Por tanto, en esta investigación nos preguntamos: ¿las TIC mejorarían la enseñanza? ¿Y el aprendizaje?

Un segundo aspecto, y no menos importante nos convoca en esta comunicación. Al cumplirse 120 años de las ideas seminales que sentaron las bases de la mecánica cuántica, la intención de incluir dichos conceptos en cursos de física de la enseñanza media y de nivel universitario básico, es ya una realidad necesaria como pone de manifiesto el Meta análisis de Krijtenburg-Lewerissa y col. [6] Miranda [7]. Ello se expresa como propuestas también en el ámbito latinoamericano [8, 9, 10, 11, 12, 13].

La Física Moderna viene cobrando protagonismo especialmente en carreras tecnológicas, tales como las ingenierías. A su vez, el diseño de algoritmos eficientes implica inherentemente la traza de tipos de datos intangibles. La abstracción nos da el poder de escalar, remontar y bregar con la complejidad.

Estas tentativas reconocen múltiples razones; tales como: (a) asumir la creciente importancia de las aplicaciones de la Física Moderna en nuestra sociedad (por ejemplo, relaciones CTS, CTIM); (b) ofrecer una imagen

más correcta de cómo se desarrolla la ciencia, (c) porque la Física Moderna es necesaria para una interpretación adecuada de la estructura de la materia y la evolución de los fenómenos en distintas escalas; e imprescindible para entender el mundo que nos rodea, y, (d) a nivel actitudinal, porque a los alumnos les interesan no solo las aplicaciones, sino también aspectos más teóricos de las ciencias físicas contemporáneas.

En esta intervención convergen el diseño de un simulador didáctico con software libre – GeoGebra, en este caso – con el esbozo de una propuesta integrada sobre situaciones problemáticas en la temática efecto fotoeléctrico. El abordaje, aunque introductorio implica conceptualización, problematización y modelización.

Se trata de un estudio de caso en clases de Física integrada en la que se analizan los distintos modos de utilización de una simulación diseñada y programada como herramienta cognitiva, aunque principalmente como herramienta metacognitiva buscando favorecer la construcción de esquemas y la jerarquización de conceptos, así como potenciar la consideración de condiciones de contorno y de modelado en general.

Parafraseando a Burbules y Callister [14] hoy más que nunca las paredes del aula ya no son los límites del aprendizaje. La enseñanza puede estar ahora ubicada en muchos canales diferentes de aprendizaje distribuido, de aprendizaje en colaboración, y el rol del docente es el de compartir conocimiento. La relación entre herramientas y fines es artificial y deriva de una particular formación cultural e histórica.

II. ALGUNOS ANTECEDENTES

Aprender Física Moderna en carreras de Ingeniería se está tornando en un desafío para el sistema educativo universitario en su conjunto, particularmente por la baja dedicación horaria a pesar de su alto impacto además de la heterogeneidad dentro del aula. Un modelo tecnopedagógico determina y fundamenta una particular relación entre los docentes, el saber y el estudiante, además delimita la función de los recursos didácticos y tecnológicos por emplear. En el diseño confluyen “tecnologías digitales disponibles, necesidades e intenciones pedagógicas y decisiones didácticas que las consideran” [15]; o bien, tecnologías digitales diseñadas. Es una construcción teórica que en términos de Togyer [16]; Santos [17]; Onrubia [18]; entre otros, articula lo abstracto dado en el diseño tecnopedagógico» y lo real, que se concreta mediante la «interactividad real» desplegada efectivamente por los estudiantes y el cuerpo docente e investigativo. A pesar de la diversidad de diseños tecnopedagógicos, son limitados los casos de aprendizaje de la Física en la educación (secundaria incluso de nivel superior) que utilicen algunos de estos modelos de manera que propicie la enseñanza significativa, sin que el soporte tecnológico se transforme en un repositorio de contenidos. Desarrollar el aprendizaje significativo con el uso mixto de las TIC en el estudiantado es importante porque permite el

logro de nuevas ideas, promueve la capacidad de interpretar y de adquirir diferentes niveles de conocimientos.

Por otra parte, el tema de efecto fotoeléctrico se usa, por lo general para introducir el estudio de la Física Moderna. La literatura releva que la presentación de la temática posee numerosas debilidades y errores. A esto se suma la dificultad para su comprensión de muchos estudiantes. Klassen [19] –entre otros– ha encontrado que textos de diversos textos de estudios contienen presentaciones incorrectas sobre tópicos como la función trabajo, conceptos de fotón, etc.

Un trabajo anterior [20], en carreras de ingeniería, ha permitido documentar, que, por lo general, los estudiantes tienen dificultades importantes a la hora de conceptualizar ondas y algunos conceptos introductorios de física moderna en el lapso de un cuatrimestre, lo que nos lleva a intentar distintas acciones de remediación vinculadas a alternativas de enseñanza que atiendan con mayor énfasis la complejidad de los aprendizajes y de su evaluación.

Acordamos con Santos y Bouceguiz [21]; Miranda [7]; Coll [22], en la importancia de estudiar la interacción entre los individuos y las distintas herramientas en distintos planos y dimensiones. Cobran importancia un tipo de interacciones, las digitales, sobre todo en tiempos de emergencia sanitaria.

III. MÚLTIPLES OBJETIVOS

Uno general e interdisciplinario: Posibilitar la construcción de espacios de interacción diferentes a los que se pueden crear con lápiz y papel o en la pizarra, permitiendo la ejecución y visualización de un “modelo de trabajo” en donde una idea es engarzada en otra (de naturaleza imaginaria en unos momentos, que en otros se hacía correr un modelo mental en términos de Johnson-Laird) y que hoy programaciones sencillas como Geo-Gebra posibilitan correlacionar, lo que implica ordenar y armonizar; es decir, la conocida, buscada y consabida autorregulación.

Varios más específicos:

- Diseñar simulaciones bajo entorno Geo-Gebra posibilita la toma de conciencia de potencialidades de uso tanto por docentes, investigadores como estudiantes.
- Contribuir al desarrollo cognitivo de un pensamiento computacional a través de la objetivación y el relativismo como procesos subyacentes.
- Buscar trascender la mera aplicación o simple ejecución de una simulación.
- Como objetivo particular de la simulación que aquí nos ocupa, trazar intervenciones didácticas, donde – entre otros aspectos relevantes – se ponga en valor que en la temática seleccionada mediciones experimentales macroscópicas (variables), tales como diferencia de potencial, corriente e intensidad de la luz, dan indicios sobre propiedades microscópicas de la materia y de la luz, tales como: energía cinética del electrón, interacción uno a uno entre una unidad de «materia» y una unidad de radiación electromagnética. La asignatura Física III pertenece a la currícula de bioingeniería y ha adoptado una mirada más

multidisciplinaria. Se ha intentado generar en los estudiantes el crecimiento en sus capacidades de objetivación de su realidad circundante y de su pensamiento reflexivo con bases en marcos teóricos actuales y de profunda especificidad.

Nos preguntamos, ¿de qué manera las TIC transforman los procesos de enseñanza y aprendizaje contribuyendo y avanzando en la construcción de un marco teórico?

IV. MARCO TEÓRICO

Para Togyer [16], el pensamiento computacional describe la actividad mental implicada en la formulación de problemas para que la solución sea representada de manera que pueda ser llevada a cabo por un procesador de información. La autora considera que la abstracción es el proceso de pensamiento superior más importante, que es utilizado para definir patrones, parametrizar y generalizar a partir de instancias específicas. Es posible escalar los procesos de abstracción y, así, manejar el grado de complejidad.

Acordamos que las estructuras que generamos para entender el mundo, son un entramado de objetividades y subjetividades. Al resolver y/o reflexionar sobre situaciones problema, un estudiante puede o no conceptualizar, sino actuar con esquemas o algoritmos automatizados [20]; entre otros. La teoría de los campos conceptuales de Vergnaud es una teoría psicológica de los conceptos [23], una mirada cognitivista del proceso de conceptualización de lo real. Se trata de un punto de vista pragmático en el sentido de que presupone que la adquisición de conocimientos es moldeada por situaciones, problemas y acciones del sujeto en esas circunstancias [24]. Es decir, que por medio de su resolución un concepto adquiere sentido para el alumno. Además, es una teoría de la complejidad cognitiva, que contempla el desarrollo de situaciones progresivamente dominadas, de los conceptos y teoremas necesarios para operar eficientemente en esas situaciones y de las palabras y símbolos que pueden eficazmente representar esos conceptos y operaciones para el individuo, dependiendo de su nivel cognitivo.

Bajo este referencial, un concepto no puede reducirse a su definición, principalmente si nos interesamos por su aprendizaje y su enseñanza. «Los conceptos adquieren sentido por y para las situaciones problemáticas, es la capacidad de operatividad que generan» [25]. Entonces, son las situaciones las que contribuyen a configurar los sentidos, a conceptualizar, es decir, a constituir una relación dialéctica entre situaciones y conceptos.

Toda vez que a un estudiante se le plantee un desafío para el que en realidad no se encuentra preparado; es decir, que los esquemas adecuados no se encuentren disponibles, acudirá a aquellos que estime que tienen algún vínculo, tratando de combinarlos o de recortar lo que considera más útil, y por cierto en la medida en que posea un buen repertorio de esquemas tendrá mayores posibilidades de aproximarse a una respuesta plausible. Lo interesante de estas operaciones es rescatar todas aquellas semejanzas y

Consuelo Escudero, Daniela Zalazar-García

diferencias que adquieren o modifican significados y se transforman en insumos para nuevos retos.

Una manera práctica de provocar la manifestación de invariantes operatorios (aquellos elementos, de naturaleza implícita, que transportan los significados que los estudiantes atribuyen al contenido) es a través de la propuesta de situaciones que posibiliten el tratamiento de la dependencia e independencia de variables, la producción de relaciones entre conceptos, su jerarquización, así como la introducción y el trabajo con la novedad.

El eje principal de este trabajo va a estar constituido entonces por los resultados del análisis y la reflexión de una propuesta integrada que incluye situaciones problemas mediante el uso de la plataforma web de GeoGebra.

Por otro lado, el caso de la naturaleza de la luz presenta aristas controvertidas en el sentido de que constituye un claro ejemplo de «objeto no visible difícilmente representable», en el que confluyen discusiones acerca de la pertinencia de su representación [20].

Así como la piedra angular de la Teoría de los Campos Conceptuales de Vergnaud es la progresividad, la de la Teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird es la recursividad. Para Johnson-Laird [26], los modelos mentales son representaciones internas inestables, no necesariamente precisas o concretas, descartables que el individuo construye en la memoria de trabajo cuando comprende la situación, siendo a nivel teórico la funcionalidad el compromiso básico para su constructor.

Greca y Moreira [27] han planteado que estos modelos mentales son instrumentos de comprensión que pueden inclusive contener invariantes operatorios (implícitos) que integran esquemas de asimilación del repertorio de esquemas que el sujeto ya construye y que pueden, eventualmente, evolucionar hacia nuevos esquemas de asimilación.

La memoria de trabajo así puede extenderse con el uso de simulaciones como memorias que se ejecutan externamente en otros “dispositivos”, conectando con los constructos de pensamiento computacional y la escurridiza autorregulación.

Una teoría implícita sobre el aprendizaje es aquella donde la teoría constructiva se centra en construir una mente capaz de gestionar y usar de modo eficaz esos conocimientos.

Nos preguntamos: ¿cómo es que usan los estudiantes las TIC?

Sabemos que como nativos digitales acceden con mucha facilidad a la información (Competencia informática). Pero, ¿saben convertir esa información en conocimiento? Es decir, ¿han logrado la Competencia informacional o de gestión cognitiva de la información?

Cada vez que se procura enfocar los análisis con la mirada que nos ofrecen las teorías brevemente descritas, nuevas posibilidades se van abriendo hacia un conocimiento más profundo acerca de las acciones que realizan los estudiantes a medida que se desarrollan los procesos cognitivos. Una cuestión a la que frecuentemente se hace referencia en la teoría de los campos conceptuales es la necesidad de plantear situaciones a los estudiantes que

permitan poner en acción sus esquemas porque, entre otros aspectos, siempre la evaluación será enriquecedora.

V. PROPUESTA DIDÁCTICA

La asignatura Física III pertenece a la curricula de la carrera de bioingeniería. Se ubica en el 4to cuatrimestre de la carrera. Después del parcial N° 2, que incluye el tópico de efecto fotoeléctrico (no en exclusiva claramente), se intenta dar respuesta a las evidencias obtenidas en Escudero y col. [20]. Para ello se incluye una propuesta de situaciones problema 2020 que aborda su resolución mediante la interacción con una simulación diseñada por uno de los integrantes del equipo y mediada por una guía con seis situaciones problema (ver Anexo).

Acordamos con Roa e Islas [4] que más importante que considerar [la simulación] un recurso novedoso y motivador para los alumnos es tenerla en cuenta porque resulta una herramienta que colabora en la conceptualización de un modo distinto a cuando la misma noción es abordada con otra herramienta, sobre todo cuando se coordinan.

En esta intervención convergen el diseño de un simulador didáctico con software libre – GeoGebra, en este caso – con el esbozo de una propuesta integrada sobre situaciones problema en la temática efecto fotoeléctrico. El abordaje, aunque introductorio implica conceptualización, problematización y modelización. Con un software conocido básicamente manipulado y empleado – hasta ahora – para funciones en Álgebra, los alumnos se introducen en la Mecánica Ondulatoria y la Física Moderna probando y logrando sus producciones con GeoGebra.

La resolución de situaciones problema utilizando dicho software proporciona una oportunidad para que los estudiantes desarrollen habilidades mentales asociadas al pensamiento computacional. Dicha propuesta posibilita trabajar en parametrización, usando deslizadores y casillas de entrada; el concepto de variable, diferenciando el concepto matemático del computacional; la simulación de comportamientos, mediante las estructuras de control con los comandos <Si>, <Secuencia> y el comando <Random()> que contribuye a incluir cierto grado de imprevisibilidad para emular los sistemas reales.

El software simula el funcionamiento de una celda consistente en un circuito provisto de dos electrodos: cátodo y ánodo. Además, una batería otorga la diferencia de potencial necesaria. En este dispositivo virtual es posible variar de manera independiente tres variables: Intensidad de luz incidente; diferencia de potencial y longitud de onda.

Una alternativa viable para inducir la manifestación de invariantes operatorios, dada su naturaleza implícita, es a través de la propuesta de situaciones que permitan visualizar la combinación de los efectos simultáneos de variables puestas en juego, y la posibilidad de variabilidad en sus valores. El eje principal de este trabajo está constituido entonces por los resultados del análisis y la reflexión de las respuestas obtenidas por el estudiante al interactuar con el simulador de efecto fotoeléctrico situado en la plataforma web de GeoGebra

<https://www.geogebra.org/m/derhmfwn> mostrado en la FIGURA 1.

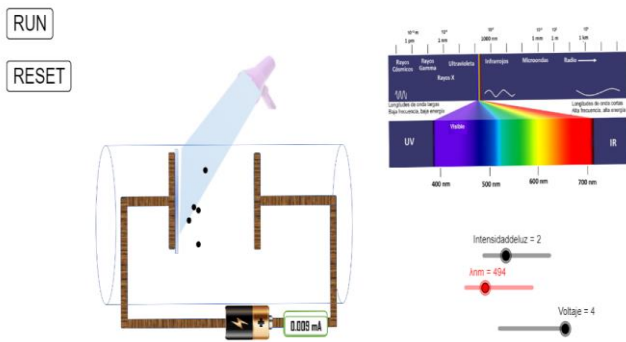


FIGURA 1. Entorno del simulador en la plataforma web de GeoGebra.

La propuesta didáctica consiste en el planteo y resolución de una situación problema macro semi-abierta constituida por seis sub-situaciones centradas en la transferencia de energía ocurrida en la interacción de la radiación electromagnética con la materia.

VI. MÉTODOS Y METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

Esta comunicación forma parte de un conjunto mayor con una hipótesis de trabajo de suma envergadura: *La realización de diversas actividades: resolución de problemas, realización de trabajos experimentales que integren la vertiente tecnológica, atravesadas por operaciones básicas, ricas en contenido, contribuyen con la construcción de esquemas y estructuras robustas, dinámicas y eficaces para abordar con mejores chances las situaciones complejas que se plantearían en el futuro ejercicio profesional.*

El presente estudio de caso fue realizado en ocasión de una actividad propuesta online con entrega después de haber abordado introductoriamente la temática. El presente estudio fue realizado en situación real de aula. Se trabajó con un grupo de 16 estudiantes pertenecientes a la carrera de Bioingeniería en el curso 2020. Una vez que el uso del simulador y sus enunciados fueron explicados, los estudiantes subieron sus respuestas y se analizaron tanto las respuestas escritas como sus reflexiones.

La combinación de la simulación del efecto fotoeléctrico con el planteamiento de preguntas investigables al estilo de [28] ha permitido explicitar aspectos y variables que el tratamiento exclusivo con resolución de situaciones problemáticas de lápiz y papel muchas veces oculta, aunque sea involuntariamente. El contexto de producción de los discursos propicia su relevamiento comenzando a promover la atención explícita a prácticas como éstas. Un buen discurso docente apropiado

los releva. Se ha intentado sostener el enfoque metodológico interpretativo resaltando el significado de la palabra, de la acción y sobre todo de las relaciones que se proponen por parte de los estudiantes, porque en ellas es donde se encuentran aquellos elementos indicativos de los procesos cognitivos y la interpretación, al contexto, al comportamiento humano en toda su complejidad. La unidad de análisis se constituye con el equipo docente y los estudiantes a través de situaciones problema, relacionadas.

La proposición de actividades de este tipo e integradas necesitan de una toma de conciencia sobre el tipo de actuaciones, los tiempos de reflexión, etc.

De modo de registrar y evidenciar los avances generados se ha comenzado por las respuestas que se alejan más del modelo científico consensado, enumeradas del (I) a (III) o a (IV) según corresponda. Su análisis permitió diferenciar tres o cuatro categorías de acuerdo al proceso cognitivo realizado. Las respuestas fueron contrastadas con la solución presentada en el parcial, muy cercanas en el tiempo, advirtiendo que correlacionan exquisitamente.

Una variable considerada ha sido el diseño del enunciado con bases epistémicas profundas llevando a una doble identificación de indicios: (i) una realizada por los propios estudiantes para ofrecer una solución y (ii) otra por los docentes investigadores sobre el estado del proceso de aprendizaje significativo en que se encuentran los individuos al momento de resolver.

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados muestran que el estudiante ha trabajado con la simulación funcionando como una guía de validación (o autoverificación) de saberes coherentes en la acción de resolución de cuestiones problemáticas complementarias al simulador; y a su vez al docente le ha permitido visibilizar, las competencias básicas requeridas para promover prácticas educativas que promuevan la interpretación de fenómenos complejos utilizando pensamiento computacional. Para ello, se analizaron los distintos registros efectuando una categorización relevante de las concepciones de los estudiantes y de los modos en que se vinculan esas concepciones, para tratar de observar qué y cómo pensaron. Los primeros resultados de la implementación de la propuesta evidencian que los problemas que enfrentan los estudiantes novatos al resolver problemas utilizando el pensamiento computacional van más allá de cuestiones sintácticas, sino que se pueden asociar principalmente con los procesos de abstracción y abducción requeridos. El uso de GeoGebra resulta de gran apoyatura para pensar las soluciones en base a la experiencia visual y tangible.

Se presentan los resultados de una primera implementación durante la cursada. La Tabla 1 muestra las categorías elaboradas según análisis de respuestas y su descodificación. Cabe aclarar que los enunciados alfabéticos corresponden a la etapa de predicción, anterior al uso del simulador.

TABLA I. Análisis de las respuestas obtenidas.

Enunciado	Categoría	Descodificación
a	I	No se tienen en cuenta consideraciones energéticas (principio de conservación de la energía), ni tampoco poseen capacidad de análisis de ecuaciones ni su significado físico.
	II	Comienzan a aproximarse a una concepción básica de las consideraciones energéticas. Pueden relacionar la velocidad con la energía cinética. Tienen claro la relación entre frecuencia con la energía del fotón incidente.
	III	Reconocen el postulado de Einstein $E = hf - \phi$ y pueden además darle sentido físico a cada uno de sus términos. Son conscientes de que existe una función trabajo que resulta del tipo de material con el que está construida la placa emisora.
b	I	Describen la funcionalidad técnica de la batería, sin tener concepciones relativas al aspecto de energía. En algunos casos se observó el total desconocimiento de valores o rango de valores que puede tomar la intensidad de corriente y su dependencia con la diferencia de potencial aplicado al circuito.
	II	Empiezan a darse cuenta de la relación entre la intensidad de corriente y la diferencia de potencial aplicado y la describen taxativamente.
	III	Contesta de manera adecuada con lo requerido en el enunciado y vincula la diferencia de potencial energéticamente con la frecuencia y la función trabajo. Ponen de manifiesto el aumento de energía cinética y su evidencia ante el aumento de velocidad
	IV	Ídem categoría III y además aplican expresiones energéticas que le dan significado a la relación de variables.
c	I	No reconocen la relación entre intensidad de luz incidente y energía de los electrones. Aseguran total independencia entre ambas variables.
	II	Evidencian la relación entre las magnitudes puestas en juego, pero no plantean un balance energético.
	III	Tienen en claro la transferencia uno a uno fotón / electrón y relacionan coherentemente la variación de una variable y su efecto en la otra.
	IV	Ídem a la categoría III. También pueden defender sus respuestas analíticamente con un análisis dimensional aplicado a las ecuaciones involucradas.
1	I	Enumeran taxativamente los valores sin representar ni reportar qué cambios fueron observados, ni las causas que le dieron origen.
	II	Expresan cambios observables en la celda, pero no justifican las causas que producen esos cambios.
	III	Ídem a la categoría II y comienzan a introducir justificaciones en relación a la frecuencia umbral, a la intensidad de la luz, entre otros.
	IV	Ídem categoría III, pero adicionalmente se hace evidente en sus justificaciones la frecuencia umbral y su relación con la función trabajo.

2	I	No evidencian ningún concepto relacionado al tema. No responde a la consigna o explicita concepto alguno.
	II	Describen lo observado en la celda sin dar una fundamentación teórica.
	III	Describen los cambios en la velocidad y cantidad de electrones y justifica la respuesta mediante el empleo de la ecuación que relaciona la frecuencia con la longitud de onda: $f = c/\lambda$.
	IV	Exponen de manera explícita, no sólo la ecuación de frecuencia y velocidad de la luz, sino que enuncian el postulado de Einstein: $E = hf - \phi$
	V	Determinan correctamente el metal que compone la placa del circuito del simulador a través de conceptos de frecuencia umbral y función trabajo.
3	I	No evidencian ningún concepto relacionado al tema.
	II	Esta respuesta se encuentra correspondida con el enunciado b. Un gran porcentaje difirió en esta respuesta respecto del enunciado b. Especifican que le ocurre a la celda en términos técnicos con ausencia total de fundamentación física.
	III	Evidencian los cambios en la velocidad de los electrones y los asocia con su energía cinética.
	IV	Plantean la ecuación de la energía cinética en función de la velocidad de los electrones y la iguala a la expresión que tiene a la diferencia de potencial con la carga del electrón: $E_{\text{cinética}} = 1/2m_e V_e^2 = eV$

Una gran mayoría de los estudiantes ha informado que la predicción sobre el fenómeno antes y después del uso del simulador no coincidió en algunas cuestiones, lo cual los llevó a reflexionar y reorganizar la jerarquía de conceptos como respuesta a este disparador (discrepancia entre saberes previos y la actuación). Lo que evidencia un importante compromiso con la tarea y el trabajo responsable.

En otros casos, si bien pueden observarse estas discordancias, los estudiantes, sin embargo, afirman coincidir entre saberes previos y los resultados obtenidos.

La totalidad de los alumnos coincidió en que el simulador de efecto fotoeléctrico tiene un gran potencial como herramienta cognitiva, ya que brinda un entorno amigable, mediante la utilización de ciertos detalles como el cambio de color en la luz incidente al variar la longitud de onda, que permite la agrupación de la luz a través de su contenido energético.

Los estudiantes han identificado situaciones problema, han buscado y seleccionado información, proponen conjeturas de solución, ejecutan hipótesis, evalúan la solución presentada, efectúan análisis de resultados y

realizan trabajo colaborativo. Lo que muestra cómo los estudiantes aplicaron estrategias colaborativas para evaluar los aciertos o desaciertos al momento de implementar una solución, y que esta respondiera a la realidad institucional. Lo anterior concuerda con la afirmación de [29] sobre las estrategias de problematización y acuerdos del grupo de trabajo, lo que aporta al desarrollo cognitivo para la resolución de problemas apoyados por las TIC.

Manifestaron, además, el beneficio de la posibilidad de visualización de fenómenos microscópicos, cuya descripción, sin la ayuda de estas herramientas, es normalmente en abstracto y un tanto difícil de imaginar.

Como debilidades destacaron la escasa diferencia de velocidad en la animación del entorno de simulación entre electrones que viajan con menor y mayor energía cinética.

En aspectos a mejorar, sugirieron la posibilidad de representación de ciertas variables en ejes cartesianos, donde sea visible y variable; por ejemplo, la frecuencia umbral. Es decir, que se pueda cambiar el tipo de material de la placa emisora de electrones.

En este caso, se puede observar de manera positiva la utilización de trabajos prácticos no sólo con fines de aprendizaje sino –sobre todo– como mediación de aprendizaje. Es decir, el empleo de mediaciones capaces de provocar una «organización sustitutiva» de las funciones superiores le llevó a Vigotsky a proponer la posibilidad de proporcionar al individuo recursos metacognitivos, dicho en términos actuales. Podemos ver cómo, a partir de esta visión, fueron materializándose los fundamentos de conceptos tales como autorregulación, mediación, metacognición, que circulan en el contexto educativo. En [30] pueden consultarse sustentos teóricos en este sentido en relación con la resolución de problemas.

Una interpretación alternativa es que el estudiante ejecuta su modelo en la mente y puede chequearlo en el software como representación externa siguiendo a Johnson-Laird. Cuando está aprendiendo un tema nuevo hasta lograr su dominio, el software GeoGebra puede resultar muy útil, dada su funcionalidad para probar distintas posibilidades (control de variables, identificación de parámetros, etc.) tanto de funcionamiento como de mecanismos que lo permitan hacer correr. El diseño de algoritmos eficientes implica inherentemente el diseño de tipos de datos abstractos. La abstracción nos da el poder de escalar, remontar, ascender, de abrirnos camino y bregar con la complejidad.

Resumiendo, se ha realizado una doble identificación de indicios: una realizada por los propios estudiantes para ofrecer soluciones y otra por docentes e investigadores acerca del estado en el que se encuentran como proceso de aprendizaje significativo en individuos. Concomitantemente los logros obtenidos son dobles: (a) tener los estudiantes a disposición una guía de autorregulación de saberes y (b) detectar tanto docentes como investigadores niveles de logro, de dificultad, aspectos a mejorar, etc. Las figuras 2, 4 y 5 muestran algunas respuestas obtenidas por parte de los estudiantes.

b. ¿Qué función tiene la diferencia de potencial de la pila en el circuito? Justifique.

Para entender esto primero es necesario saber que si ϕ es la energía mínima necesaria para que un electrón escape del metal. Si el electrón absorbe una energía E , la diferencia $E-\phi$, será la energía cinética del electrón emitido.

$$E_e = E - \phi$$

La batería del circuito tendrá la función de aplicar una diferencia de potencial V apropiada entre E y el colector C , poder captar estos **fotoelectrones** y medirlos como una corriente fotoeléctrica i . Vemos que, si V es positiva y lo suficientemente grande, la corriente fotoeléctrica alcanza un valor de saturación constante, en el que todos los fotoelectrones expulsados de E son captados por C .

Si reducimos V a cero y luego la invertimos, la corriente fotoeléctrica no disminuye inmediatamente a cero porque los electrones emergen del emisor E con velocidades distintas de cero. Algunos llegarán al colector aun cuando la diferencia de potencial se oponga a su movimiento. Sin embargo, si hacemos que la diferencia de potencial se invierta y se haga lo suficientemente grande, llegamos a un valor V_0 , llamado potencial de frenado, en el que la corriente fotoeléctrica cae realmente a cero. Esta diferencia de potencial, multiplicada por la carga electrónica e , nos da la energía cinética K_{max} de los fotoelectrones emitidos más energéticos:

$$K_{max} = eV_0$$

Estudiante A₅

FIGURA 2. Respuesta obtenida en la consigna b.

c. ¿Qué sucede cuando la intensidad de luz es baja? ¿Cómo es su relación respecto a la cantidad de fotoelectrones desprendidos? Detalle la justificación.

Cuando la intensidad de la luz es baja, habrá menor número de electrones, pero con la misma energía cinética, es decir, con la misma velocidad. En conclusión, la intensidad de la luz modifica la cantidad de fotoelectrones desprendidos, pero no modifica su velocidad.

Estudiante A₁

c. ¿Qué sucede cuando la intensidad de luz es baja? ¿Cómo es su relación respecto a la cantidad de fotoelectrones desprendidos? Detalle la justificación.

Mientras mayor sea la intensidad de la luz mayor será la cantidad de fotoelectrones desprendidos de la superficie

Estudiante A₁₀

FIGURA 3. Respuestas obtenidas en la consigna c.

2) En estas condiciones, podría decir de qué metal se trata?. Justifique

Como el mayor valor de longitud de onda del cual se desprenden electrones es 544 nm, la frecuencia umbral será:

$f = c/\lambda$
 $f = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s} / 544 \cdot 10^{-9} \text{ m}$
 $f = 5.5147 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$
 La función trabajo será la energía del fotón a las más baja frecuencia
 $E = h \cdot f$
 $E = 6.62 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \cdot (5.5147 \cdot 10^{14} \text{ Hz})$
 $E = 3.65 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ energía del fotón
 Convirtiendo a eV:
 $E = 2.28 \text{ eV}$

Elemento	ϕ (eV)	Elemento	ϕ (eV)
Aluminio	4.28	Magnesio	3.58
Bario	2.5	Mercurio	4.5
Cadmio	4.07	Niquel	5.01
Calcio	2.9	Niobio	4.3
Carbono	4.83	Platino	2.3
Cesio	2.1	Platino	6.35
Cobalto	5.0	Platino	5.11
Cobalt	4.7	Plata	4.73
Cu	5.1	Sodio	2.28
Hierro	4.5	Uranio	3.0
Plomo	4.14	Zinc	4.3

El elemento es el sodio

Estudiante A₁₀

Dejando fijos los valores de la Intensidad de luz y de voltaje, desplace el deslizador de las longitudes de onda a valores menores. y presione "RUN"

2. ¿Qué observa?

Al dejar los parámetros de voltaje e intensidad de luz fijos y solo variar el deslizador de longitud de onda, se puede observar que a medida que esta longitud es menor, se incrementa la frecuencia y también lo hace la energía cinética de los electrones, entonces se podrán transferir de una placa a otra con mayor rapidez dichos electrones.

Estudiante A₁₃

FIGURA 4. Respuestas obtenidas en la consigna 2.

3. Dejar fijo un valor de longitud de onda de 494 nm, de intensidad de luz de 3 W/m^2 y variar la diferencia de potencial, ¿Qué ocurre con la velocidad de los electrones? ¿Qué sucede con ciertos valores diferencia de potencial? Justifique su respuesta.

Para ciertos valores de diferencia de potencial la velocidad cambiará, sin embargo, cuando el voltaje es "negativo", los electrones son repelidos por la placa que va conectada al polo positivo de la pila debido a que también tendrá carga negativa y cargas iguales se repelen.

Estudiante A₁

Presione "RESET" Deje en fijo un valor de longitud de onda de 494 nm, de intensidad de luz de 3 y varíen el voltaje,

3- ¿Qué ocurre con la velocidad de los electrones? Se visualiza en la simulación que cuando el voltaje se hace cero los electrones cambian de dirección aunque la corriente continua pasando. A medida que el voltaje disminuye se va frenando el paso de electrones, ya que la dirección del voltaje de la batería es de ánodo a cátodo, y el de los fotoelectrones debido a su carga negativa son impulsados por el campo eléctrico desde el cátodo hacia el ánodo.

Estudiante A₅

FIGURA 5. Respuestas obtenidas en la consigna 3.

VII. CONCLUSIONES

En este estudio de clases de Física integrada se han analizado los distintos modos de utilización de una simulación diseñada y programada como herramienta cognitiva, aunque principalmente como herramienta metacognitiva buscando favorecer la construcción de esquemas y la jerarquización de conceptos, y persiguiendo una aproximación al aprendizaje significativo de aspectos introductorios en física moderna; en relación con otros aspectos no menos centrales.

Para desarrollar pensamiento computacional se ha trabajado en el diseño de situaciones problema nuevas y accediendo a una memoria externa extra como es un simulador con un programa flexible, logrando que sea una herramienta permanente de consulta y tomando conciencia de su valor.

Advertimos que posibilita – desde otro lugar – el trabajo con inasibles condiciones de contorno en ambientes de modelado como eje organizador para la construcción de significados como habíamos anunciado.

Ha permitido colaborar con el aprendizaje significativo de los estudiantes en situación de emergencia sanitaria; es decir, en situación de aprendizaje y enseñanza forzados que pueden ser extendidos y complementados en tiempos de post-pandemia.

Por lo tanto, se puede concluir que el diseño de la simulación es apropiado y complementario con otras herramientas cognitivas de uso más frecuente, ya que favorece procesos de aprendizaje significativo crítico en contextos discursivos activos.

Una ventaja de su programación bajo el entorno de GeoGebra, entre muchas otras, es su disponibilidad online a través de la página web y su distribución a través de redes sociales.

En este momento las tecnologías nos están invadiendo con un valor extraordinario, pero nunca sustituyendo al docente ni a su equipo. Aprender con el docente es invaluable. El docente transfiere emoción, sentimiento. Transmite humanidad.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido desarrollado dentro del Proyecto de Desarrollo Tecnológico y Social PDS 2020-2021 aprobado y subsidiado por CICITCA (UNSJ) y SeCyT, Resol. 589/R-2020 – CS-UNSJ. Código: 21/I1479.

REFERENCIAS

- [1] Romo Rojas, F., Mora, C., *El estrés en maestros de física ante la necesidad de impartir clases virtuales: La nueva realidad académica derivada de la pandemia de la COVID-19*, *Latin-American J. Phys. Educ.* **14**, 2303 (2020).
- [2] Rocha, M., *La educación más allá de los muros escolares: posiciones discursivas docentes sobre el uso de espacios diversificados en la enseñanza de ciencias naturales en la educación básica*, (Universidad Nacional de La Plata, Argentina, 2020).
- [3] Escudero, C., González, S., Jaime, E., *El papel del aprendizaje significativo en la articulación entre ciencias básicas y tecnologías aplicadas*. The Role of Meaningful Learning in the Articulation between Basic Sciences and Applied Technologies., *Aprendiz. Significativa em Rev.* **8**, 28–38 (2018).
- [4] Roa, M., Islas, S., *Simulaciones de mecánica: potencialidades y limitaciones a partir del análisis de modelos matemáticos y físicos*, en: Escudero, C., Stipcich S., (Eds.), *Pasaporte a la enseñanza las Ciencias la modelización como eje organizador para la construcción significativa*, (Noveduc, Buenos Aires, 2016).
- [5] De Prada Pérez De Azpeitia, F.I., *Infrared thermography: An amazing resource for teaching physics and chemistry*, *Rev. Eureka*, **13**, 617–627 (2016). <https://doi.org/10.25267/Rev>.
- [6] Krijtenburg-Lewerissa, K., Pol, H., Brinkman, A., van Joolingen, W., *Insights into teaching quantum mechanics in secondary and lower undergraduate education: A literature review*, *Phys. Rev. Phys. Educ. Res.* **13**, 010109 (2017). <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.13.010109>.
- [7] Miranda, A., *Los significados en el contexto de interacción con simulaciones en el aula*, en: Santos, G., Stipcich S., (Eds.), *Tecnol. Educ. y Conceptualización En Física*, (Consejo Editorial, Buenos Aires, 2010).
- [8] Castrillón, J., Freire, O., Rodríguez, B., *Mecánica cuántica fundamental, una propuesta didáctica*, *Rev. Bras. Ensino Fis.* **36** 1–12 (2014). <https://doi.org/10.1590/s1806-11172014000100023>.
- [9] Roza Clavijo, M., Walteros, A., Cortés, C., *La actividad experimental como una parte fundamental para la enseñanza de la física moderna: el caso de la mecánica cuántica*, *Tecné Episteme y Didaxis TED* **45**, 191–206 (2019). <https://doi.org/10.17227/ted.num45-9846>.
- [10] Fanaro, M., Elgue, M., Otero, M., *Secuencia para enseñar conceptos acerca de la luz desde el enfoque de Feynman para la Mecánica Cuántica en la Escuela Secundaria: un análisis basado en la teoría de los campos conceptuales*, *Cad. Bras. Ensino de Física* **33**, 477 (2016). <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2016v33n2p477>

- [11] González, S., *La enseñanza de conceptos básicos de Física Cuántica para un aprendizaje significativo del Modelo Atómico Actual.*, (Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Argentina, 2015).
- [12] Greca, I.M., Freire, O., *Does an emphasis on the concept of quantum states enhance students' understanding of quantum mechanics?*, *Sci. Educ.* **12**, 541–557 (2003). <https://doi.org/10.1023/a:1025385609694>.
- [13] Pereira de Pereira, A., Cavalcanti, C.J. de H., Ostermann, F., *Concepções relativas à dualidade onda-partícula: uma investigação na formação de professores de física*, *Rev. Eletrônica Ensino Las Ciências* **8**, 72–92 (2009). <https://doi.org/http://hdl.handle.net/10183/94786>.
- [14] Burbules, N., Callister, T., *Educación: Riesgos y promesas de las nuevas tecnologías de la información*, Ediciones Granica, S. A., (2006). <https://books.google.com.ar/books?id=Y31MX9xOtrgC>.
- [15] Schwartzman, G., Fabio, T., Trechh, M., *Dispositivos tecnopedagógicos en línea: Medios interactivos para aprender*, En *Aprendizaje Abierto y Aprendiz. Flex. Más Allá Formatos y Espac. Tradic.*, Montevideo, pp. 163–184 (2014). <https://doi.org/10.13140/2.1.2539.2646>.
- [16] Togyer, J., *Research Notebook: Computational Thinking--What and Why? The Link Magazine*, (Spring. Carnegie Mellon University, Pittsburgh, 2011). <https://www.cs.cmu.edu/link/research-notebook-computational-thinking-what-and-why>.
- [17] Santos, G., *Pensamiento computacional y resolución de problemas en la Enseñanza de las Ciencias*. Curso-Taller de Posgrado, GUDIEC-FI-UNSJ, (2018).
- [18] Onrubia, J., *Aprender y enseñar en entornos virtuales: actividad conjunta, ayuda pedagógica y construcción del conocimiento*, *Rev. Educ. a Distancia* **2**, 1-16 (2016). <https://doi.org/10.6018/red/50/3>.
- [19] Klassen, S., *The Photoelectric Effect: Reconstructing the Story for the Physics Classroom*, *Sci. Educ.* **20**, 719–731 (2011). <https://doi.org/10.1007/s11191-009-9214-6>.
- [20] Escudero, C., Jaime, E. A., *Hacia la conciencia cuántica a partir del efecto fotoeléctrico*, *Enseñanza Las Ciencias*, **34** 183-200 (2016).
- [21] Santos, G., Bouciguez, M. J., *Introducción al pensamiento computacional con GeoGebra en la formación de los profesores de ciencias*, en: I Congr. Iberoam. Docentes (Congreso Virtual), Algeciras, España, (2018).
- [22] Coll, C., Rochera, M., Colomina, R., *Situated uses of ICT and mediation of joint activity in a primary education instructional sequence*, *Electron. J. Res. Educ. Psychol.* **8**, 517–540 (2010).
- [23] Vergnaud, G., *La théorie des champs conceptuels*, *Rech. En Didact. Des Mathématiques* **10**, 133–170 (1990).
- [24] Vergnaud, G., *The development of multiplicative reasoning in the learning of mathematics*, en: Harel, G., Confrey J., *Dev. Mult. Reason. Learn. Math.*, (State University of New York Press, NY, 1994). <https://books.google.com.ar/books?id=4MwZlZgvaGYC>.
- [25] Escudero, C., Jaime, E., *Los docentes frente al aprendizaje. El caso de la interacción de la luz con la materia: efecto fotoeléctrico*, 1º Workshop. Enseñanza La Física En Argentina, Tandil, 141–152 (2013).
- [26] Johnson-Laird, *Mental Models*, Cambridge University Press, 1984. <https://doi.org/10.1017/S0033291700003767>.
- [27] Greca, I. M., Moreira, M. A., *Além da detecção de modelos mentais dos estudantes uma proposta representacional integradora (Beyond the detection of students' mental models. An integrative representational approach) (Beyond the detection of students' mental models. An integrative repre*, *Investig. em Ensino Ciências*. **7**, 31–53 (2002).
- [28] Shodell, M., *The Question-Driven Classroom: Student Questions as Course Curriculum in Biology*, *Am. Biol. Teach.* **57**, 278 -281 (1995). <https://doi.org/10.2307/4449992>.
- [29] Escudero, C., *Una mirada alternativa acerca del residuo cognitivo cuando se introducen nuevas tecnologías. El caso de la resolución de problemas en ciencias*, *Teoría La Educ. Educ. y Cult. En La Soc.* **10**, 1, Dedic. a Converg. Tecnológica La Prod. Pedagog. High Tech. **10**, 272-292. (2009).
- [30] Escudero, C., *Interacción y actividad instrumental vygotskyana en una perspectiva ausubeliana de aprendizaje*, *Rev. Enseñanza La Física* **20**, 41–54. (2007). <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF/article/view/8047>.