

Videojuegos en la clase de física: implementación y evaluación del uso de Portal para enseñar movimiento en el plano

Video games in the physics classroom:
implementation and assessment of the use of
Portal to approach two- dimensional motion

Margarita del Rosario Escobar^{1*}, Laura María Buteler²

¹Departamento de Ciencia y Tecnología, Universidad Nacional de Tres de Febrero, Buenos Aires, Argentina.

²Facultad de Matemática, Astronomía y Física, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina.

*E-mail: mescobar@untref.edu.ar

Resumen

El mundo de los videojuegos, que cautiva a millones, puede ser una herramienta poderosa en el aula de física. Este trabajo presenta parte de una investigación doctoral sobre la construcción de conocimiento conceptual con el videojuego Portal. Se describe el proceso de implementación del videojuego, desde el diseño de los niveles hasta su integración en un curso de física universitaria. A lo largo de una secuencia didáctica de dos clases se observa cómo un grupo de estudiantes de ingeniería avanzan desde una concepción escalar hacia una interpretación vectorial de la velocidad en el movimiento en el plano. Los estudiantes alcanzaron las metas de aprendizaje esperadas, y los registros obtenidos permitieron una detallada descripción del proceso de aprendizaje con Portal.

Palabras clave: Física; Implicación productiva disciplinar; Videojuegos; Portal.

Abstract

The world of video games, which captivates millions, has become a powerful tool in the physics classroom. This work presents part of a doctoral research study on the construction of conceptual knowledge using the video game Portal. It describes the implementation process of the video game, from levels' design towards its integration into a university physics course. Throughout a two-class teaching learning sequence, it is observed how a group of engineering students progress from a scalar conception to a vector interpretation of velocity in two dimensional motion. The students achieved the expected learning goals, and the records obtained allowed for a detailed description of the learning process with Portal.

Keywords: Physics; Productive disciplinary engagement; Video games; Portal.

I. INTRODUCCIÓN

La integración de videojuegos en el aula ha mostrado ser una buena estrategia para aumentar la motivación y el compromiso de los estudiantes en las tareas asignadas. En el campo de la física, los videojuegos ofrecen un entorno

interactivo que facilitan el abordaje de conceptos de manera estimulante. Los videojuegos son espacios inmersivos de experimentación, con reglas y narrativas que desafían a los jugadores a través de metas y misiones atrapantes. Los entornos propios de los videojuegos estimulan la concentración en la realización de tareas específicas, generando motivación para superar obstáculos y completar niveles.

Una cuestión clave que emerge naturalmente en relación al uso de videojuegos en el aula de ciencias es cómo aprovechar su potencial para estimular el aprendizaje. ¿Cómo se conjugan la diversión y la predisposición al juego con el estudio de la física? Ante la propuesta de incorporarlos en las clases, probablemente muchos estudiantes se encontrarán bien predispuestos a sumergirse en esa realidad, pero... ¿por dónde empezamos?

Diversas investigaciones en los últimos años han reflejado cómo los videojuegos pueden ser herramientas efectivas para aprender contenido científico, conectando experiencias sensoriales, intuiciones y conceptos (Escobar y Buteler, 2018; Chen, Hwang y Yeh, 2022; Hussein, Ow y Elaish, 2022). En este trabajo presentamos el recorrido hacia la implementación de una secuencia didáctica que incorpora el videojuego Portal en un curso de física de ingeniería de una universidad nacional argentina. El trabajo recupera parte del proceso de una investigación doctoral que utilizó este videojuego para entender y caracterizar el aprendizaje del movimiento en el plano. Portal es un videojuego tipo puzzle con más de quince años en el mercado, reconocido por su potencial para aprender física. Sin embargo, al momento de comenzar el camino de nuestra investigación, existía poca evidencia que respaldara científicamente esta hipótesis. A lo largo de los últimos años, hemos publicado varios artículos que han documentado el progreso de la investigación doctoral, aportando pruebas que respaldan las hipótesis acerca de su potencial para el aprendizaje de la física (Escobar, 2023; Escobar y Buteler, 2022, 2023). Entre otras cosas pudimos observar que este videojuego estimula el conocimiento intuitivo de los estudiantes sobre el movimiento en el plano. Este atributo puede ser utilizado como punto de partida para desarrollar el aprendizaje alrededor de la naturaleza vectorial de la velocidad. Al incorporarlo en el contexto de una clase, pudimos, de hecho, documentar cómo los estudiantes conceptualizan el fenómeno del movimiento en el plano con ayuda del videojuego. El análisis de los registros hacía foco en la caracterización del proceso de construcción conceptual, analizando cómo un grupo de estudiantes de ingeniería modificaban sus interpretaciones de lo que pasaba en el juego en términos de la velocidad.

Este trabajo presenta de manera concisa el proceso de implementación del videojuego, desde el diseño de los niveles hasta su integración en la secuencia didáctica implementada en un curso de física universitaria con resultados exitosos. Los estudiantes alcanzaron las metas de aprendizaje esperadas, y los registros obtenidos nos permitieron describir en detalle el proceso de aprendizaje con Portal. Esperamos que este trabajo sea un aporte para la comunidad educativa, tanto sea para quienes estén pensando en usar videojuegos en la clase de física, como para aquellos que estén interesados en la investigación didáctica con esta tecnología.

A. Preguntas a desarrollar

Las preguntas que guían esta investigación son:

- ¿Cómo fue el recorrido en la implementación del videojuego Portal en una clase de física universitaria para enseñar movimiento en el plano?
- ¿Cómo fueron los resultados de la implementación en función del progreso de los estudiantes?

II. ENFOQUE TEÓRICO

El aprendizaje se construye en el marco de una actividad: el proceso de formación de las funciones psicológicas superiores se da a través de la actividad práctica e instrumental, no a nivel individual, sino en la interacción o cooperación social mediada por herramientas culturales que involucran al cuerpo entero (Vygotsky, 1978). Este hecho implica una consideración sobre la construcción social y cultural del aprendizaje, en interacción constante con complejas herramientas digitales (como un videojuego). Desde una óptica constructivista, el desarrollo humano es un proceso de crecimiento cultural, siendo la actividad humana el motor de dicho proceso. Aprender implica el despliegue del conocimiento previo, razón por la cual interesa analizar el desarrollo de ese conocimiento a lo largo del tiempo. La apropiación de estrategias discursivas y puntos de vista de los pares requiere de la interacción dialógica (Reznitskaya y Gregory, 2013). En función de las ideas de los demás, vamos transformando y refinando nuestra forma de ver el mundo (Herrenkohl, Palincsar, DeWater y Kawasaki, 1999).

En línea con la perspectiva constructivista, Engle y Conant (2002) sostienen que, para que exista aprendizaje sobre un determinado marco disciplinar, necesariamente tiene que existir lo que definen como **implicación disciplinar productiva** (productive disciplinary engagement). Para los autores, los estudiantes se encuentra implicados en una tarea cuando una gran mayoría participa en la clase para hacer contribuciones sustantivas al tópico bajo discusión, cuando esas contribuciones se realizan coordinadamente entre ellos, cuando están atentos unos a otros haciendo

contacto visual y preparados para participar, cuando se apasionan mostrando sus emociones, y cuando espontáneamente vuelven a implicarse en el tópico, continuando en ese estado por un largo período de tiempo. La implicación disciplinar productiva (IDP) es una forma más fuerte de implicación que incluye el **progreso intelectual en relación al área disciplinar en la que se está trabajando**. Esto se observa cuando los argumentos de los estudiantes son cada vez más sofisticados, cuando de las discusiones surgen nuevas e importantes preguntas, cuando reconocen una confusión, cuando hacen nuevas conexiones entre ideas ya existentes, o cuando logran una estructura que los lleva a la meta. Los autores proponen cuatro principios para el diseño de intervenciones didácticas que fomente este tipo de aprendizaje:

- I. **Proporcionar recursos relevantes** facilitando el acceso de los estudiantes a una variedad de materiales y modelos de argumentación que apoyen su aprendizaje y les ayuden a desarrollar argumentos más sofisticados.
- II. **Problematicar el contenido** involucrando a los estudiantes en problemas disciplinarios significativos que fomenten el pensamiento crítico y la curiosidad intelectual.
- III. **Dar autoridad a los estudiantes** otorgándoles la responsabilidad, voz y autonomía para resolver problemas por sí mismos, lo cual aumenta su confianza y motivación.
- IV. **Se responsabiliza a los estudiantes ante otros y atienden a las normas disciplinarias:** Mantener a los estudiantes responsables de justificar sus afirmaciones con evidencia y razonamiento disciplinario, y de considerar las contribuciones de sus compañeros.

Engle y Conant (2002) sostienen que, aunque estos principios no garantizan de antemano alcanzar la IDP, adoptarlos aumenta significativamente las probabilidades de lograrlo. La secuencia, informada por investigaciones previas en educación científica (Buteler, Nieva y Velasco, 2021), proporcionó un contexto áulico para observar el proceso de aprendizaje conceptual en el marco de una investigación doctoral (Escobar, 2023).

III. DISEÑO DE LA INTERVENCIÓN DIDÁCTICA

A. Sobre el recurso utilizado: ¿Por qué Portal?

El diseño y la narrativa del juego implican resolver situaciones de movimiento en un plano afectado por la gravedad, creando un entorno inmersivo que fomenta la reflexión sobre fenómenos y conceptos de la física. Diversas fuentes han destacado el potencial de Portal para el aprendizaje de la física clásica (Catelli, 2022; Foundry 10, s.f.; LaBonte, 2014; Schiesel, 2011). La mecánica del juego requiere que los jugadores naveguen a través de portales, lo que implica comprender conceptos como velocidad, trayectorias y los efectos de la gravedad. Estos desafíos reflejan escenarios físicos del mundo real y proporcionan a los estudiantes aplicaciones prácticas de conceptos teóricos. Dadas estas características, Portal puede servir como una poderosa herramienta educativa para abordar contenidos complejos de física. Al sumergir a los estudiantes en un entorno virtual donde pueden experimentar con magnitudes vectoriales y sistemas de referencia, el juego facilita una comprensión más profunda de estos conceptos.

Exceptuando los portales de teletransportación, las leyes de la dinámica newtoniana se mantienen en las instalaciones de Aperture Science (el escenario de Portal). En el modo de un solo jugador, Chell, el personaje principal, está equipada con un dispositivo que genera portales. Estos portales le permiten moverse dentro de las cámaras: al pasar por un portal, emerge del otro con una velocidad que mantiene su magnitud pero cambia en dirección y orientación con respecto al plano del portal (Figura 1).

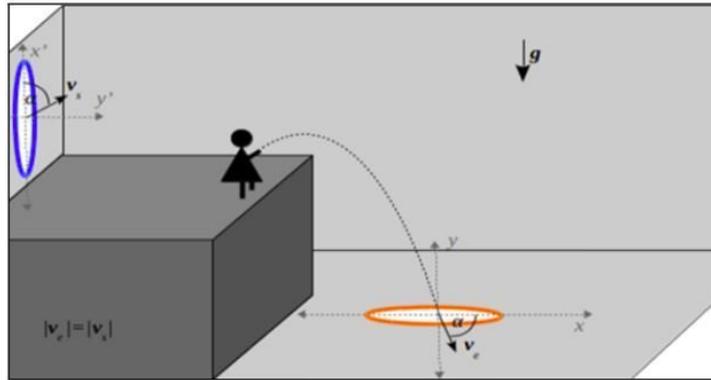


FIGURA 1. La velocidad al salir del portal de salida azul en la pared mantiene tanto su magnitud como su ángulo con respecto al plano de la superficie del portal de entrada naranja.

En Portal, al atravesar el portal de entrada con una cierta velocidad y dirección, seguirás moviéndote de la misma manera al salir del portal de salida (Figura 2). La posición del portal de salida ($x'y'z'$) está girada 90° con respecto al plano del portal de entrada. Los jugadores pueden usar esto para subir alto utilizando la velocidad que obtienen al caer. Los portales pueden colocarse en pisos, paredes, techos o plataformas. El vector de velocidad mantiene su magnitud y ángulo al salir del portal en la pared; por lo tanto, la magnitud y dirección de la velocidad de entrada son iguales a la magnitud y dirección de la velocidad de salida. Las predicciones o hipótesis de los jugadores sobre cómo lograr objetivos específicos pueden ser probadas mediante ensayo y error. Lograr un objetivo implica una secuencia de acciones que conducen a un resultado que puede ser positivo o negativo. El escenario del juego se transforma en un laboratorio virtual donde ejecutar una serie de acciones correctas permite avanzar hacia varios objetivos: avanzar al siguiente nivel, desentrañar los misterios de la trama, y más. Además, el juego proporciona a los usuarios acceso a la consola del programador para mostrar los datos de posición y velocidad de Chell (Figura 2), y para crear niveles personalizados a través de la Iniciativa de Pruebas Perpetuas (Valve, 2012). La PTI introduce el concepto de múltiples universos alternativos o un "multiverso", donde los usuarios pueden diseñar niveles y compartirlos en la plataforma Steam para el acceso de la comunidad o guardarlos para uso personal. Portal 2 también cuenta con la opción de "cámaras de la comunidad", que permite a los usuarios crear sus propias cámaras utilizando el creador de rompecabezas.

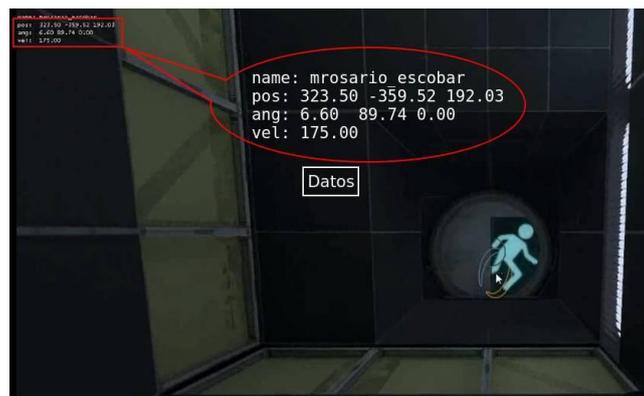


FIGURA 2. En la esquina superior izquierda, se muestran los datos de posición, velocidad y dirección del arma de Chell. Estos datos son útiles para analizar el movimiento.

B. Creación de niveles de Portal

Como mencionamos anteriormente, Portal permite a los usuarios crear niveles o "cámaras de prueba" a través de una interfaz muy fácil de usar que permite dejarlos disponibles para la comunidad Steam. El desafío estaba en cómo crear esos niveles: qué contenido de física se podía trabajar fácilmente con el videojuego, qué situaciones crear para tensionar el conocimiento de los estudiantes, cuánto tiempo les llevaría completar cada nivel. Ya habíamos hecho esto

para estudiar qué conocimiento intuitivo estimulaba el juego. Observamos así que los jugadores de Portal tienden a asociar el movimiento a la existencia de un ímpetu en la dirección del movimiento que actúa contra una resistencia (gravedad), así como también asumen la existencia de fuerzas impulsoras como causa del movimiento (Escobar y Buteler, 2022; McCloskey, 1983). Ahora teníamos que crear nuevos niveles para que los estudiantes logren articular esas intuiciones con el conocimiento normativo. Elaboramos dos niveles que se muestran a continuación (Figuras 3 y 4) y un nivel más que no se incluye, pero que tenía como objetivo ayudar a los estudiantes a desarrollar sus análisis (Escobar, 2022).

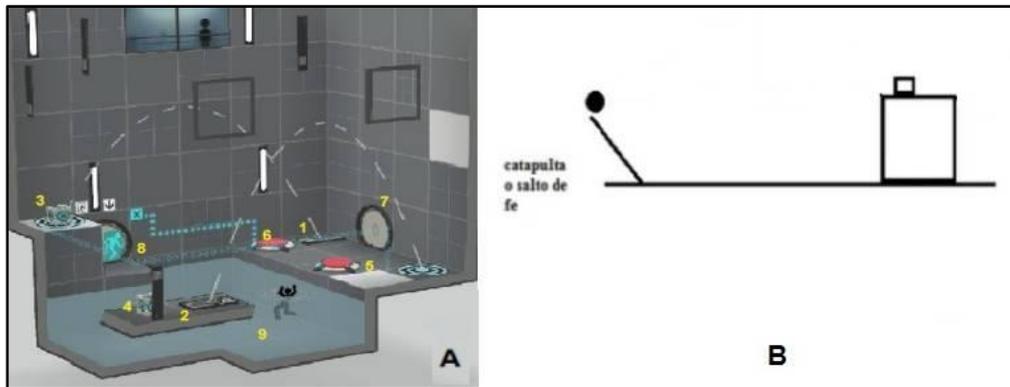


FIGURA 3. A. Chell entra a la cámara de pruebas por (7). La puerta (8) que permite a Chell salir de la cámara está conectada a dos botones (5) y (6) que deben mantenerse presionados para que ésta se mantenga abierta. Para ello, Chell debe alcanzar los cubos (3) y (4) teniendo en consideración que si toca el agua (9) muere. Para poder saltar el agua debe utilizar los saltos de fe (1) y (2) que actúan como catapultas. Este nivel no requiere necesariamente el uso de portales y las catapultas están ubicadas de manera tal que siempre Chell llega al mismo punto de un lado u otro del agua. **B.** Muestra un esquema del problema.

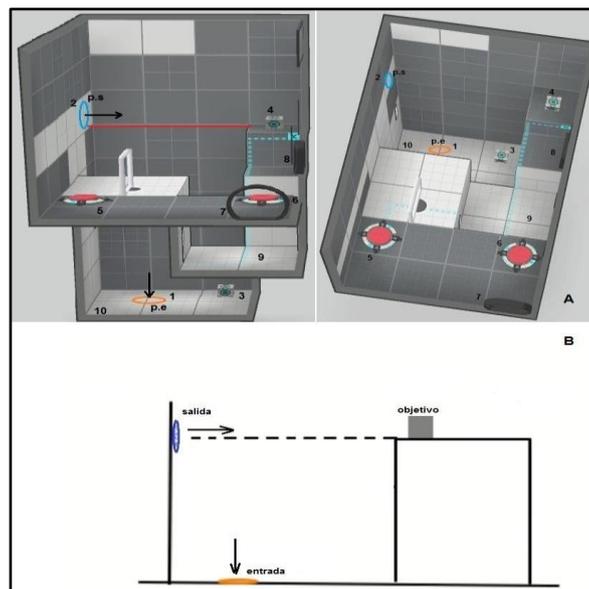


Figura 4. A. En esta cámara de pruebas (Figura 5.8.A) hay dos desniveles (9) y (10). Los jugadores deben tratar de alcanzar los cubos (3) y (4) para usarlos en los botones (5) y (6) que permiten abrir la puerta de salida (8) ubicada sobre la pared a la derecha. Para ello, Chell deberán realizar un p.e (1) en el desnivel (10) e intentar salir por el p.s (2). Si la dirección de salida es paralela a la línea roja que une el p.s con el cubo (4), Chell nunca logrará alcanzar el cubo, independientemente del módulo de la velocidad inicial. Por lo tanto, los jugadores deberán encontrar la manera de obtener el cubo, cambiando la dirección de la velocidad a la que entran al p.e para que la velocidad a la salida del p.s les permita alcanzar el cubo (4). **B.** Muestra un esquema del problema físico.

III. DISEÑO DE LA INTERVENCIÓN DIDÁCTICA

A. Población

La población de estudio está compuesta por ocho jóvenes estudiantes de ingeniería, con edades comprendidas entre veinte y veinticinco años, matriculados en una universidad pública en Argentina. Todos los estudiantes estaban inscritos en la materia física 1, que desarrolla conceptos introductorios de cinemática y mecánica clásica, incluidos sistemas de referencia, posición, velocidad, aceleración, y movimientos rectilíneo y en el plano. Proviene de un entorno socioeconómico medio, algunos solo estudiaban, otros tenían ingresos laborales y ninguno era sostén de hogar.

B. Secuencia didáctica

El desarrollo de la secuencia requiere algunos contenidos introductorios de mecánica abordados en clases anteriores en el marco del programa de física 1 para Ingeniería. Se trabaja con definiciones de velocidad y aceleración previamente abordadas, habiendo definido la trayectoria como el recorrido espacial a lo largo del tiempo desde un laboratorio fijo a la superficie de la Tierra. Durante el intercambio verbal los estudiantes recuperan las definiciones estudiadas en clases anteriores para las situaciones de tiro vertical y caída libre (aceleración de la gravedad paralela a la trayectoria), para luego converger en casos donde la velocidad no es colineal con la aceleración de la gravedad. La secuencia fue diseñada para avanzar hacia una concepción cinemática del movimiento y la velocidad, partiendo del conocimiento intuitivo de los estudiantes. Investigaciones previas muestran que cuando se estudia el movimiento en una dimensión, los estudiantes no se apropian de la dimensión vectorial de la velocidad, por lo que esperábamos que considerasen una descripción escalar de la velocidad al comienzo de la secuencia. Los niveles de Portal que creamos nos permitieron reconstruir el proceso de desarrollo conceptual hacia una comprensión científica y normativa. El objetivo está puesto en que avancen desde una interpretación escalar del movimiento, hacia una caracterización en términos de la velocidad y sus componentes.

Según los principios de diseño propuestos por Engle y Conant (2002), la secuencia debía contar con:

- a) **Recursos relevantes**, como el videojuego Portal.
- b) **Problematización de los contenidos** a través de los niveles creados, logrando que los estudiantes participen de la discusión sobre la trayectoria y la velocidad, desafiando sus sentidos comunes sobre el movimiento.
- c) **Que la autoridad se halle distribuida entre los estudiantes**, esto es, que todos los estudiantes se apropien de la clase, adoptando un papel activo en la definición, el tratamiento y la resolución de problemas. Para ello, es necesario que el docente debe redirigir las preguntas que le son realizadas a la clase, para que ésta las considere, las acepte o desestime. Aquí el docente juega un rol pasivo de gestión de la clase en vez de dador de respuestas.
- d) **Que los estudiantes estén atentos y con respeto** hacia las normas de la clase, es decir, que respeten los turnos del habla, que atiendan a las explicaciones de los demás y que las respondan.

Nuestra secuencia tenía como objetivo que los estudiantes refinen su comprensión de los fenómenos, compartiendo sus experiencias a través del diálogo y acuerdos respecto a la interpretación de lo experimentado en el juego. La Tabla I muestra la secuencia didáctica elaborada. Las estrategias a, b, c, d se explicitan al lado de cada actividad.

TABLA I. Secuencia didáctica para trabajar con el videojuego Portal en la clase de física.

<i>Clases</i>	<i>Objetivos</i>	<i>Actividades</i>
<p>1. ¿Qué relación hay entre la trayectoria parabólica y la velocidad?</p> <p>Esta pregunta nos permitiría entender cómo interpretan los estudiantes el movimiento en el plano en términos del concepto velocidad.</p>	<p>Caracterizar y discutir el movimiento de Chell en relación con la velocidad, la aceleración y las trayectorias parabólicas.</p>	<p>Jugar Portal (a, b). Dividir la clase en parejas para jugar dos niveles de Portal (Figuras 3 y 4). Se tiene preparado otro nivel para usar en caso de que los estudiantes expresaran dificultades.</p> <p>Diálogo entre estudiantes (a, b, c, d). Diálogo entre docente y grupos de dos estudiantes, a fin de desafiar sus ideas sobre el movimiento. Los estudiantes usarán papel, lápiz y el juego para dibujar, escribir, verificar y construir hipótesis tales como: ¿Qué caminos siguieron para salir? ¿Por qué? ¿Qué trayectorias sigue Chell?</p>
<p>2. ¿Cómo es la velocidad</p>	<p>Establecer la relación entre</p>	<p>Presentación de situaciones de Portal jugadas en la Clase 1 (a, b,</p>

<p>en el movimiento parabólico?</p> <p>Esta pregunta apuntaba a caracterizar cada componente del vector velocidad: una se mantiene constante, mientras la otra varía linealmente debido a la aceleración de la gravedad.</p>	<p>la trayectoria curvilínea y el vector velocidad durante el movimiento. Caracterizar la velocidad en el plano (dos componentes: una constante y otra que varía linealmente de acuerdo con la aceleración de la gravedad). Se busca asociar la trayectoria con la acción de la aceleración de la gravedad.</p>	<p>c, d). Al inicio de la clase, se muestra al grupo un video corto del nivel 2 representada en la Figura 4.A. Después de un intercambio inicial entre profesores y estudiantes, se muestra otro video del nivel 1, como se muestra en la situación 1, Figura 3.A (Escobar, 2024).</p> <p>Diálogo con estudiantes (a, b, c, d). Se propone analizar y comparar las dos situaciones. La primera es un lanzamiento horizontal y la segunda es un movimiento parabólico completo. Los estudiantes propondrán sus ideas, y la docente con algún programa de edición gráfica (Paint o KolourPaint), edita las Figuras 3.B y 4.B, anotando las ideas que surjan. El diálogo se da entre estudiantes y también entre estudiantes y docente. La docente muestra la pantalla utilizando un proyector. A través del análisis de la simetría de la parábola, el objetivo es caracterizar la velocidad de Chell como un vector en dos dimensiones, analizando el papel de la aceleración de la gravedad en relación con la trayectoria curvilínea.</p>
---	---	--

C. Características de la interacción dialógica

El enfoque dialógico fomenta intercambios entre todos los participantes de la clase: docente-estudiantes y estudiantes-estudiantes. A través de la evocación de situaciones recientes de Portal, la docente (D) ofreció disparadores para que los estudiantes desarrollaran sus ideas y las compartieran entre sí.

D: En cada caso tenían que alcanzar dos cubos, ¿Cómo hicieron para hacerlo? ¿Qué caminos tuvieron que seguir para poder salir? ¿Por qué?

Durante el diálogo, los estudiantes elaboraron interpretaciones del movimiento de Chell, lo que permitió a D plantear interrogantes. Durante estos intercambios, si surgían contradicciones en las interpretaciones, D intervenía para generar tensiones y promover una reevaluación de las respuestas. Por su parte, D evita introducir elementos o categorías de conocimiento formal que puedan influir o inducir los análisis de los participantes. En general, los intercambios reflejaron representaciones del movimiento asociadas a ideas intuitivas en relación a la fuerza y el movimiento: la cuestión de agentes que impulsan al cuerpo en el sentido de la velocidad se expresó con frecuencia en el discurso de los estudiantes.

IV. RESULTADOS

Durante la clase 1 los estudiantes discutieron sobre el movimiento de Chell en el nivel 1 (movimiento a través de la catapulta o salto de fe). Aquí, un punto clave era la velocidad en el punto máximo de la trayectoria. Al principio los estudiantes expresaban una interpretación del movimiento en términos de una velocidad escalar, que “crecía” o “disminuía”, apuntaba “hacia arriba” o “hacia abajo”. En todos los casos plantearon analogías con la velocidad en el tiro vertical. Esta asociación los lleva a afirmar que la velocidad es cero en el punto máximo de la trayectoria. Sin embargo, en esta lectura hay un dato al que no estaban atendiendo: Chell también avanza horizontalmente. Al tomar conciencia de este hecho, fueron capaces de inferir que la situación es diferente a la del tiro vertical, y que si Chell avanza también horizontalmente, la velocidad nunca puede ser cero en el punto máximo.

La clase 2 comenzó analizando el nivel 2, donde los jugadores se enfrentaron a lo que comúnmente se conoce como “tiro horizontal”. Chell salía a través de un Portal con una velocidad con una única componente horizontal. Aquí se expresaron ideas asociadas a diferentes nociones intuitivas, donde varios estudiantes sostenían que Chell, con suficiente velocidad, podría alcanzar un objetivo que se encuentra a cierta distancia y a la misma altura. Otros estudiantes sostenían que eso no era posible. El debate dio lugar a las lecturas 3 y 4. En este punto la docente interviene proponiendo analizar nuevamente cómo es el movimiento para el nivel 1 a través de un video (Tabla II, lectura 5). A partir de esta intervención, se observa que los estudiantes logran articular las lecturas entre un caso y otro, llegando todo el curso a acordar que Chell nunca podría alcanzar un punto distante a la misma altura (Tabla II, lectura 6). Al finalizar la clase 2, todos los estudiantes habían logrado avanzar desde una concepción escalar de la velocidad hacia considerarla como un vector en dos dimensiones.

Durante las dos clases en las que se analizó el movimiento de Chell en los niveles 1 y 2 del videojuego Portal, se observó el desarrollo conceptual de los estudiantes en relación a la velocidad en el movimiento en el plano. El análisis de los registros se centró en las interacciones verbales, lo cual nos permitió observar cómo se desarrolla el proceso de

desarrollo conceptual. Es decir: ¿cómo se describe el movimiento en el plano en función de la velocidad? Este proceso se destacó por ser colectivo, con aportes valiosos de todos los participantes. Los estudiantes llegaron a concluir que:

1. La velocidad de Chell siempre va a tener una componente constante en la dirección horizontal.
2. La velocidad de Chell es una suma de componentes en la dirección horizontal y vertical en todo momento.
3. La velocidad varía en la dirección vertical debido a la acción de la gravedad.

Las lecturas sucesivas del problema realizadas durante las dos clases evidenciaron el progreso en la comprensión de los estudiantes. A través del diálogo, la información obtenida del juego y la elaboración de redes de inferencias, los estudiantes lograron articular sus ideas intuitivas con el nuevo conocimiento (Escobar, 2023; Escobar y Buteler, 2023). Portal no solo ayudó a los estudiantes a comprender la relación entre la trayectoria parabólica y la velocidad, sino que también contribuyó a un entorno de aprendizaje colaborativo y participativo. Todos los estudiantes se encontraron implicados en las actividades propuestas. La Tabla II muestra algunos extractos de la interacción dialógica en cada clase.

TABLA II. Desarrollo de las sucesivas proyecciones o interpretaciones de los estudiantes en términos de la velocidad acerca del movimiento de Chell.

Clase 	Lecturas 	Red de inferencias  	Información extraída del juego 
1 (Situación 1, Figura 1)	1. “En cada punto de la trayectoria la velocidad es diferente : se hace cero en el punto máximo , disminuye al subir y aumenta al bajar”. 	“Al subir disminuye la velocidad porque vas en contra de la gravedad, y al bajar aumenta, porque vas a favor”.	- “La trayectoria es una curva que tiene un punto máximo”. - “La velocidad disminuye hasta la altura máxima y aumenta cuando empieza a bajar” [datos observados del juego].
1 (Situación 1, Figura 1)	2. “La velocidad no es cero en el punto máximo de la trayectoria”.	“Si Chell avanza horizontalmente, entonces siempre hay una velocidad constante en sentido horizontal”.	“Chell también avanza en la dirección horizontal”.
2 (Situación 2, Figura 2)	3. “Chell puede alcanzar el objetivo, si la velocidad es suficientemente alta ”. 	- “Se puede ir tan rápido horizontalmente, que la gravedad no llega a empujarla hacia abajo, entonces se alcanza una velocidad límite que permite llegar en línea recta a la plataforma”. - “La curva puede ser una cuadrática tan aplanada en el vértice, que parezca una línea recta, y así llegar al objetivo”.	- “La trayectoria de Chell es curvilínea a la salida del portal”. - “El punto de salida está a la misma altura que el punto de llegada”.
2 (Situación 2, Figura 2)	4. “La velocidad de Chell es una suma de vectores (dirección horizontal y vertical) en todo momento ”. 	- “La componente de la velocidad horizontal es constante y la vertical está acelerada”. - “La velocidad es tangente a la trayectoria en todo punto”.	- “Chell siempre está cayendo”. - “Chell siempre se mueve hacia la derecha (horizontalmente)”.
2 (Situación 1, Figura 1)	5. “La velocidad varía en la dirección vertical debido a la acción de la gravedad ”. 	- “La componente vertical de la velocidad cambia de sentido a partir de la altura máxima. - “ Si la gravedad apunta hacia abajo, la componente vertical de la velocidad tendría que disminuir hasta hacerse cero en la subida, para luego apuntar en el mismo sentido de la gravedad y comenzar a aumentar”.	“Chell sube hasta un punto máximo y luego desciende”.
2 (Situación 2, Figura 2)	6. “ No existe velocidad tal que Chell pueda llegar a la misma altura.”	- “Es imposible llegar a un punto a la misma altura, siempre hay aceleración hacia abajo”. - “Es imposible que un tramo de la trayectoria sea recto”.	“El punto de salida está a la misma altura que el punto de llegada”.

V. CONCLUSIONES

¿Cómo fue el recorrido en la implementación del videojuego Portal en una clase de física universitaria para enseñar movimiento en el plano? Las estrategias propuestas por Engle y Conant (2002) orientaron el diseño de la secuencia didáctica que incorporó el videojuego Portal, combinado con debates y análisis colaborativos. Durante las dos clases, los estudiantes analizaron el movimiento de Chell en dos niveles del videojuego, estableciendo una relación entre la trayectoria parabólica y la velocidad. Se observó la implicación disciplinar de los estudiantes en las actividades, aportando al debate desde sus conocimientos previos en física. Aunque estas ideas iniciales variaron en su proximidad al conocimiento científico, todas formaban parte de su corpus de conocimientos disciplinarios (Velasco y Buteler, 2023). En este sentido, el videojuego Portal sirvió como catalizador para el debate y la evolución de sus concepciones, permitiendo un proceso colectivo con contribuciones de todos los participantes.

Una de las mayores limitaciones del uso de Portal en el aula tiene que ver con la dificultad para trabajar con grupos amplios de estudiantes: la empresa Valve requiere que se compre el videojuego por cada dispositivo en el que se utilice. Por este motivo, fue necesario por ejemplo, trabajar con videos del juego en la segunda clase, cuando perfectamente los estudiantes podrían haberlo jugado en sus casas, incluso en modo cooperativo si la licencia fuese libre.

¿Cómo fueron los resultados de la implementación en función del progreso de los estudiantes? A lo largo de las dos clases, los estudiantes lograron avanzar desde una perspectiva intuitiva, inicialmente dirigida por sus conocimientos previos, hacia una comprensión más precisa y científica del movimiento en el plano en términos de la velocidad como entidad vectorial. Este proceso permitió dar cuenta de la implicación productiva disciplinar de los estudiantes, quienes evidencian un progreso significativo en su desarrollo conceptual hacia el conocimiento científico.

REFERENCIAS

Buteler, L., Nieva, C. y Velasco, J. (2021). La apropiación de la enseñanza y el aprendizaje de futuros docentes durante el curso de Didáctica de la física. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las Ciencias*, 3(18), 3601. doi: http://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i3.3601

Catelli, M. (20 de marzo de 2022). *Teaching With Portal 2: Spatial Thinking & Critical Analysis*. TeachThought <https://www.teachthought.com/critical-thinking/ideas-resources-for-teaching-with-portal-2>

Chen, P. Y., Hwang, G. J. y Yeh, S. Y. (2022). Three decades of game-based learning in science and mathematics education: an integrated bibliometric analysis and systematic review. *Journal of Computers in Education*, 9, 455-476. doi: <https://doi.org/10.1007/s40692-021-00210-y>

Engle, R. y Conant, F. (2002). Guiding Principles for Fostering Productive Disciplinary Engagement: Explaining Emergent Argument in a Community of Learners Classroom. *Cognition and Instruction*, 20(4), 399-483. doi: https://doi.org/10.1207/S1532690XCI2004_1

Escobar, M. R. (26 de julio de 2022). *Niveles de Portal creados*. Steam Community. <https://steamcommunity.com/workshop/filedetails/?id=2796729681>

Escobar, M. R. (2023). *Aprendizaje mediado por videojuegos: la potencialidad de Portal para el estudio del movimiento en el plano* [Tesis doctoral]. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. doi: <https://doi.org/10.52278/3962>

Escobar, M. R. (8 de julio de 2024). *Level 1 - Gravity 600.mp4*. [Media]. Figshare. doi: <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.26206865>

Escobar, M. R. y Buteler, L. M. (2018). Resultados de la investigación actual sobre el aprendizaje con videojuegos. *Revista de Enseñanza de la Física*, 30(1), 25-48. doi: <https://doi.org/10.55767/2451.6007.v30.n1.20317>

Escobar, M. R. y Buteler, L. M. (2022). Videojuegos y conocimiento intuitivo: la potencialidad de Portal para aprender física. *Revista electrónica de investigación en educación en ciencias*, 17(2), 59-72.

doi: <https://doi.org/10.54343/reiec.v17i2.330>

Escobar, M. R. y Buteler, L. M. (2023). Aprendizaje conceptual del movimiento en el plano con el videojuego Portal. *Revista de Enseñanza de la física*, 35, 107-114.

Recuperado de <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF/article/view/43284>

Foundry 10. (s.f.). *Teach with Portal 2*. Recuperado de <https://www.foundry10.org/resources/portal2>

Herrenkohl, L. R., Palincsar, A. S., DeWater, L. S. y Kawasaki, K. (1999). Developing scientific communities in classrooms: A sociocognitive approach. *Journal of the Learning Sciences*, 8(3-4), 451-493.

doi: <https://doi.org/10.1080/10508406.1999.9672076>

Hussein, M. H., Ow, S. H. y Elaish, M. M. (2022). Digital game-based learning in K-12 mathematics education: a systematic literature review. *Education and Information Technologies*, 27, 2859-2891.

doi: <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10721-x>

LaBonte, D. (9 de septiembre de 2014). *Game-Based STEM Instruction*. Edutopia.

<https://www.edutopia.org/blog/reinventing-science-fair-portal-2-don-labonte>

Reznitskaya, A. y Gregory, M. (2013). Student thought and classroom language: Examining the mechanisms of change in dialogic teaching. *Educational Psychologist*, 48(2), 114-133. doi: <https://doi.org/10.1080/00461520.2013.775898>

Schiesel, S. (10 de mayo de 2011). *Portal 2, a Video Brain Game - Review*. The New York Times. <https://www.nytimes.com/2011/05/11/arts/video-games/portal-2-a-video-brain-game-review.html>

Valve. (27 de abril de 2012). *Portal 2 Perpetual Testing Initiative* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=b7rZO2ACP3A>

Velasco, N. y Buteler, L. M. (2023). Implicación productiva en la disciplina sobre circuitos eléctricos utilizando Investigación Basada en el Diseño. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 20(2), 280208.

doi: https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2023.v20.i2.2802

Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in Society: Development of Higher Psychological Processes* (M. Cole, V. Jolm-Steiner, S. Scribner y E. Souberman, Eds.). USA: Harvard University Press.