

# Videogames and intuitive knowledge: the potential of Portal for learning physics

Rosario Escobar<sup>1</sup>, Laura Buteler<sup>2</sup>

mescobar@untref.edu.ar, laura.buteler@unc.edu.ar,

<sup>1</sup> Departamento de ingeniería de sonido, Universidad Nacional de Tres de Febrero, Mosconi 2736, Sáenz Peña, Argentina.

<sup>2</sup> Instituto de Física Enrique Gaviola y Facultad de Matemática, Astronomía, Física y Computación, Universidad Nacional de Córdoba, Av. Medina Allende, Córdoba, Argentina.

## Resumen

Diversas investigaciones en los últimos veinte años dan cuenta del potencial de los videojuegos como recurso para enseñar física. Sin embargo, la investigación con base teórica sobre el aprendizaje mediado por videojuegos se halla aún en desarrollo incipiente. Este trabajo presenta el análisis de entrevistas realizadas a estudiantes de primer año de ingeniería luego de jugar con el videojuego Portal. Tomando como lente teórica el modelo de conocimiento en piezas, se observa que los estudiantes apelan a elementos de conocimiento intuitivo de física para resolver situaciones en el contexto de juego. Los resultados de este trabajo se proponen como aporte a la investigación sobre videojuegos en relación al proceso de enseñanza - aprendizaje de la física.

**Palabras clave:** videojuegos; Portal; física; conocimiento en piezas; Newton

## Intuitive knowledge and videogames: the power of Portal in Physics learning

### Abstract

Over the past twenty years there's been developed a lot of research in the area of digital games as a resource to Physics learning. However, well theoretical framed research in this area is still scarce. This work deploys the analysis of first year engineering students interviews soon after they played Portal. The data analysis through the knowledge in pieces theory allows to describe the intuitive knowledge expressed by students when trying to tell the experience with the game. The present report aims to provide evidence concerning the relation between Physics learning and the use of videogames.

**Keywords:** videogames; Portal; Physics; knowledge in pieces; Newton

## Connaissances intuitives et jeux video : la puissance de Portal dans l'apprentissage de la physique

### Résumé

Au cours des vingt dernières années, de nombreuses recherches ont été développées dans le domaine des jeux numériques en tant que ressource pour l'apprentissage de la physique. Cependant, la recherche bien encadrée théoriquement dans ce domaine est encore rare. Ce travail déploie l'analyse d'interviews d'étudiants-ingénieurs de première année peu après avoir joué à Portal. L'analyse des données à travers la théorie des connaissances en morceaux permet de décrire les connaissances intuitives exprimées par les élèves lorsqu'ils tentent de raconter l'expérience avec le jeu. Le présent rapport vise à fournir des preuves concernant la relation entre l'apprentissage de la physique et l'utilisation des jeux vidéo.

**Mots clés:** jeux video ; Portal ; physique ; connaissance en morceaux ; Newton

## 1. INTRODUCCIÓN

La industria de los videojuegos resultó una de las ganadoras de la pandemia. Durante el 2020 su crecimiento se estimó entre 10% y 15% y con estos números superó a los sectores del cine y el deporte juntos (Clement, 2021; Batchelor, 2021; La Izquierda Diario, 2020). Según datos del Observatorio de la Industria Argentina de Videojuegos, en el 2020 el sector movió unos 87 millones de dólares (incluye empresas y freelancers); con alrededor de 1950 profesionales trabajando en la industria. Sus principales mercados son Estados Unidos y Canadá, el consumo local y le sigue la Unión Europea. Siete de cada diez compañías nacieron después del 2005 (Revale y Minotti, 2021).

A la par del crecimiento en la industria de los videojuegos, la investigación en áreas asociadas al uso de nuevas tecnologías en contextos de instrucción, también ha observado un crecimiento notable en los últimos veinte años. Aunque gran parte de la literatura muestra expectativas sobre el uso de videojuegos en la enseñanza en contraposición a la experiencia de aprendizaje sin este tipo de tecnologías (Rebetez y Betrancourt, 2007; Egenfeldt-Nielsen, 2005; Frété, 2002; Prensky, 2001; Martínez-Garza et al., 2013), existen discrepancias y una extensa diversidad de enfoques conceptuales y metodológicos en relación a qué observar, y a cuáles son las variables para evaluarlos como herramientas para el aprendizaje (Schöbel et al., 2021). Dichas expectativas se asocian a la infinidad de recursos que la introducción de juegos digitales en la enseñanza permiten desplegar (Jackson, 2009; Shaffer et al., 2005; Hutchison, 2007; Turkay et al., 2014). Algunas características que suelen destacarse de los videojuegos en relación a su potencialidad como herramientas de aprendizaje son:

- la posibilidad de establecer diferentes niveles de dificultad en la consecución de objetivos, apuntando a la zona de desarrollo próximo de los estudiantes (Vygotsky, 1978);
- la manipulación de objetos virtuales que colabora con la construcción intuitiva de conocimiento a la vez que puede ayudar a comprender sistemas complejos (Clark et al., 2009);
- la posibilidad de encarnar diferentes identidades que reaccionan y se emocionan de manera diferenciada, lo cual puede ser un aporte a la construcción y desarrollo de diferentes subjetividades y puntos de vista (Squire, 2008).

El presente trabajo, de carácter exploratorio, busca aportar evidencia empírica a favor de un videojuego, Portal, en el aprendizaje de un contenido de física. ¿Por qué Portal? Una característica que suele destacarse de este videojuego es la supuesta potencialidad del juego para el aprendizaje de contenido de física clásica (Physics Central, 2011; Catelli, s.f., Schiesel, 2011; Physics with portals, 2014; Foundry10, s.f.; LaBonte, 2014). Sin embargo, y a pesar de que el juego en su segunda versión ya tiene más de diez años en el mercado, la evidencia acerca de cómo puede colaborar con el proceso de enseñanza - aprendizaje es escasa. Las autoras sostienen que si el videojuego plantea situaciones que pueden interpretarse desde la mecánica newtoniana (en este caso de movimiento en el plano), entonces la interacción entre el conocimiento previo y el videojuego es un punto

clave a analizar (Sengupta et al., 2015). Dado que Portal no fue específicamente diseñado para aprender física, las evidencias a favor de su valor educativo podrían aportar a la discusión sobre qué parámetros son relevantes al evaluar un videojuego como recurso en la enseñanza.

## 2. ESTADO DEL ARTE

En 2018 las autoras de este trabajo publicaron una revisión bibliográfica dirigida a caracterizar la investigación de los últimos años en relación al uso de videojuegos en el aula de ciencias (Escobar y Buteler, 2018). En aquel trabajo se presentaron tres lineamientos o ejes interrelacionados que seguía la investigación hasta el momento, así como las diferentes posiciones dentro de la comunidad científica durante ese período.

En primer lugar se observaron una gran cantidad de trabajos dirigidos a evidenciar las ventajas de los videojuegos en términos de resultados de aprendizaje. Al respecto, varios investigadores coinciden en que los videojuegos facilitan el aprendizaje constructivo, situado y experiencial, el cual se vería amplificado por la activa experimentación y la inmersión en el juego (Johnson- Glenberg et al., 2014; Maguth et al., 2014; Ebrahimzadeh y Alavi, 2016). El alto nivel de interactividad, fácil y rápido acceso y actualización, el alto nivel de “customización”, la utilización de atractivos gráficos y su alta aceptación en la sociedad (Girard et al., 2012) son variables que intervienen en este consenso. No obstante, las observaciones indicarían que no todos los resultados experimentales apoyan esta hipótesis y, en consecuencia, sería necesaria más investigación en torno a este punto (Girard et al., 2012). Al respecto, autores como Hong et al. (2009) señalan “la ausencia de herramientas objetivas, válidas y confiables para medir el valor educativo” de los juegos en muchos de estos trabajos. En el mismo sentido, Tettegah et al. (2015) sostienen que la evidencia en la que se basa la eficacia de los videojuegos como herramienta para aprender tiende a ser principalmente actitudinal pues, aunque se observa una actitud positiva de los estudiantes hacia aprender jugando, los resultados de transferencia de aprendizaje desde el contexto del juego a las tareas científicas se limita al dominio de determinadas habilidades cognitivas. Es decir, varios autores señalan cierta debilidad teórica y metodológica en muchos de los trabajos que siguen esta línea (Whitton, 2014; Tettegah et al., 2015, Mayer et al., 2014; Israel et al., 2016).

Una segunda línea de trabajos se asociaba al aporte de los videojuegos a la construcción social de aprendizaje en contraste con esquemas más tradicionales de enseñanza, donde suele predominar la transmisión oral de docentes a estudiantes (Annetta et al., 2009; Tanes y Cemalcilar, 2010, Girard et al., 2012). Nuevamente, resalta de estos trabajos la diversidad de indicadores y variables de análisis, como ser: la motivación, el involucramiento con la temática, la forma de organización social para abordar las actividades propuestas (trabajos tipo colaborativos – cooperativos), la interacción docente – estudiante, el refuerzo de habilidades de cooperación y liderazgo, la asistencia entre pares, la revisión y feedback de los temas enseñados y la utilización

de distintos tipos de representaciones en el abordaje de un mismo eje temático (Tseklevs et al., 2016; Gee, 2003; Mayo, 2007, Girard et al., 2012). Al respecto varios autores (van der Spek et al., 2011; Squire, 2008), señalan que esta amplia diversidad de indicadores y unidades de análisis pueden conducir a resultados contradictorios, advirtiendo sobre la necesidad de que la investigación avance en cuestiones metodológicas que permitan evaluar a los videojuegos por su calidad y contenido, sobre todo en aquellos diseñados específicamente para aprender ciencias<sup>1</sup>.

La tercera línea comprende la interacción entre videojuegos y procesos o demandas cognitivas asociados al aprendizaje conceptual (Stafford y Vaci, 2022; Young et al., 2012, Tobias y Fletcher, 2007). Gran parte de las investigaciones en este eje analizan funciones cognitivas específicas para medir el aprendizaje: la memoria de trabajo (Lee y Heertert, 2017), la atención (Connolly et al., 2012) y también otro indicador de aprendizaje con videojuegos (Girard et al., 2012) conocido como inmersión o flow (Csikszentmihalyi, 1990).<sup>2</sup> Varios autores en esta línea también proponen categorías para estudiar el impacto de los videojuegos sobre la cognición (Connolly et al 2012; Rebetez y Betrancourt, 2007; Gentile y Gentile, 2005; O'Neill et al, 2005; Wouters et al, 2009). O'Neill et al. (2005) por ejemplo, asocian determinadas “demandas cognitivas” a la comprensión del contenido, resolución de problemas, comunicación, autorregulación, entre otros. Wouters et al. (2009) por su parte, proponen un modelo basado en desempeños que los videojuegos podrían estimular, los cuales se asocian tanto a la cognición y las habilidades motoras como a los afectos y la comunicación. Estudios más recientes en esta línea (Lee y Heertert, 2017) analizan el impacto de los videojuegos sobre la memoria de trabajo, llegando a la conclusión de que una mayor amplitud en la memoria de trabajo de jugadores expertos, no necesariamente representa mejoras en el aprendizaje. Se observó también que el grueso de la bibliografía apunta al análisis de procesos psicológicos aislados como indicadores de aprendizaje. En contraste con un abordaje reducido al plano cognitivo individual, también se encuentran trabajos orientados a la interacción entre videojuegos y estudiantes en un sentido dinámico (Sengupta et al., 2015; Clark et al. 2015), es decir, con foco en el proceso sociohistórico de construcción conceptual. Estas investigaciones analizan el impacto de los videojuegos en el aprendizaje a través de la interacción con los usuarios. Parte del foco de estas investigaciones está puesto en analizar el despliegue de conocimiento intuitivo asistido por videojuegos, a través de entrevistas clínicas.

En síntesis, se encontró que el área de investigación en videojuegos y aprendizaje de ciencias se halla mayormente poblada de investigaciones que, en términos generales, muestran expectativas en relación al uso de videojuegos. Se destaca el amplio espectro de resultados de investigación sujetos a variables como: diseño de juego, objetivos, narrativa y diversidad de características propias de estas

tecnologías (Peterson et al., 2020; Girard et al., 2012). En términos generales existe cierto nivel de acuerdo en la comunidad científica sobre la efectividad del uso de videojuegos en contextos de aprendizaje. Uno de los puntos a los cuales suele converger dicho consenso descansa en la hipótesis de la inmersión en la actividad de juego (Csikszentmihalyi, 1990), fenómeno asociado a un incremento en la motivación de los sujetos para aprender, lo cual se traduciría en mejores resultados de aprendizaje (Papastergiou, 2009; Annetta et al., 2010; Baker et al., 2010, Knight et al., 2010, Sitzmann, 2011). Por último, se observa que los estudios con perspectiva únicamente cognitiva tienden a reducir la diversidad de enfoques, categorías de análisis e indicadores de aprendizaje a procesos psicológicos aislados del contexto sociocultural en el cual ocurre la actividad de juego.

## 2.1 Propuesta para orientar la investigación en videojuegos y aprendizaje en contextos de aprendizaje de física

A partir del estado de la investigación en videojuegos en el aula de ciencias, surge la cuestión sobre qué variables a definir para evaluar estos recursos como herramientas en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Aprender implica el despliegue de conocimiento previo de los estudiantes, razón por la cual interesa analizar el desarrollo de ese conocimiento a lo largo de una intervención. Más allá del análisis de funciones cognitivas específicas, interesa caracterizar en detalle la interacción entre el recurso digital y el conocimiento previo de los aprendices. ¿Cómo se analiza el impacto de un videojuego en el aprendizaje (de física en este caso)?, ¿qué registros interesan obtener? ¿Qué enfoques teóricos - metodológicos se ajustan a estas preguntas? Las autoras de este trabajo, posicionadas en una perspectiva cognitiva sociocultural, consideran necesario trascender la investigación reducida a determinadas funciones psicológicas hacia un análisis más detallado y dinámico de la interacción entre el videojuego y el conocimiento que los estudiantes ya poseen. En este sentido, consideran relevante profundizar la investigación sobre el proceso de conceptualización o construcción de conceptos científicos asistido por estos recursos (Sengupta et al., 2015; Clark et al. 2015).

## 3. DESCRIPCIÓN DE PORTAL

Portal es un videojuego de tipo rompecabezas o puzzle (Roach y Hicks, 2021): se trata de un acertijo que involucra desafíos conceptuales asociados al pensamiento lógico a través de la manipulación de objetos. La trama del juego se desarrolla en las instalaciones de un laboratorio de la empresa ficticia “Aperture Science”. Esta empresa recluta voluntarios por medio de una serie de complejas pruebas. Los jugadores toman el rol de Chell, una aspirante que se somete a estas pruebas, quien deberá ir atravesando distintas cámaras o salas de escape con diferentes obstáculos. Cada

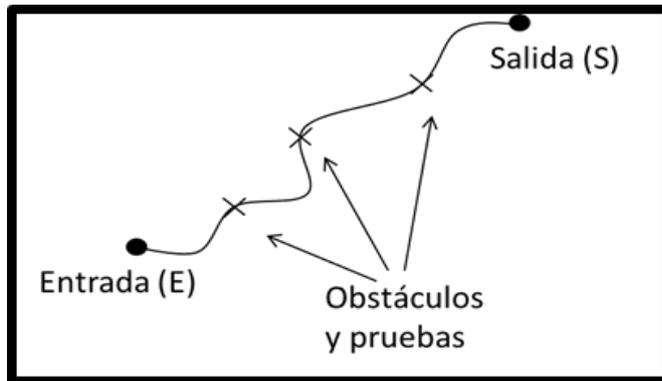
<sup>1</sup> Como los denominados *serious games* o *juegos serios*.

<sup>2</sup> Concepto que refiere a un estado psicológico asociado al nivel de abstracción de la realidad y concentración de los jugadores producida por la actividad de juego.

cámara es un escenario virtual en el que aparecen objetos que cumplen determinadas funciones. Estos objetos, utilizados acertadamente en el momento indicado, habilitan nuevas acciones.

Los jugadores tienen que aprender cómo se vinculan estos elementos con el escenario del juego, qué funciones tienen y a través de qué acciones se puede avanzar hasta encontrar la salida (figura 1). Los jugadores también se hallan provistos de un arma que dispara portales de teletransportación. Si el jugador dispara una vez sobre una

pared, aparece un portal brillante en el punto de impacto. Si dispara una segunda vez en otro lugar, aparece un segundo portal. De esta manera, el jugador puede llegar de un punto a otro de la cámara de pruebas entrando por un portal y saliendo por otro. Los portales también permiten al jugador evitar obstáculos, atravesar diferentes barreras e incluso aniquilar enemigos haciendo pasar por el portal distintos objetos para que impacten sobre ellos (Ewalt, 2011). Luego de salir de la cámara de pruebas, el personaje es conducido a un ascensor que se dirige hacia el siguiente nivel.

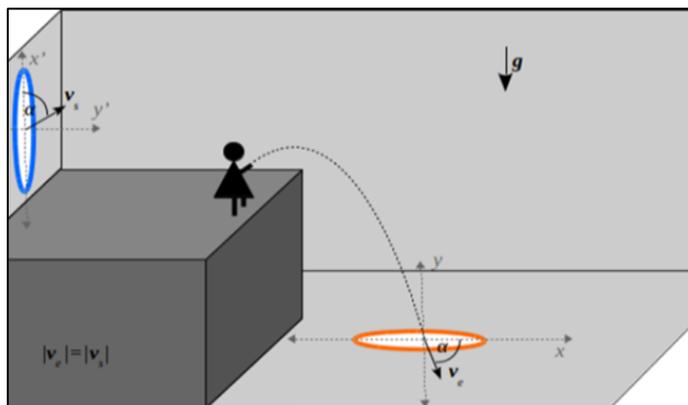


**Figura 1:** Representación esquemática del recorrido. Se gana el juego cuando se logra ir desde E hasta S, sorteando todas las pruebas y obstáculos que van apareciendo.

**Fuente:** elaboración propia

La velocidad a la salida de un portal conserva su dirección, módulo y sentido relativo al plano del portal. Salvo por los portales de teletransportación, en el universo de Portal se cumplen las leyes de la dinámica newtoniana. Si el jugador cae en un portal desde cierta altura, al ser válidas las leyes de Newton, llegará con mayor velocidad al suelo cuanto más alto se tire. Si al caer al portal naranja (figura 2) el vector velocidad presenta cierto ángulo y cierta magnitud respecto

de él, éstos se conservarán al salir por el portal azul. Los jugadores pueden usar esta conservación a su favor, por ejemplo, para alcanzar lugares a cierta altura aprovechando el impulso adquirido en la caída. En el ejemplo de la figura 2, las coordenadas del portal azul (salida)  $x'y'$  se encuentran rotadas  $90^\circ$  respecto de las coordenadas  $xy$  del portal naranja (entrada).



**Figura 2:** El vector velocidad conserva su magnitud y ángulo al salir por el portal azul, por lo tanto la velocidad de entrada  $v_e$  es igual en módulo y dirección a la velocidad de salida  $v_s$ .

**Fuente:** elaboración propia

Las predicciones o hipótesis de los jugadores en relación a alcanzar determinados objetivos son verificables mediante prueba y error: se hunde o no se hunde. Se cae o no se cae. Alcanzar una meta implica llevar a cabo una serie de acciones hacia un resultado que puede resultar positivo o negativo. El escenario del juego se convierte así en un laboratorio virtual en el que un conjunto de acciones

acertadas permite avanzar hacia la consecución de una meta: pasar al siguiente nivel, ganar puntos, etcétera. El juego también permite al usuario: (a) acceder a la consola del programador para mostrar datos de posición y velocidad del personaje, (b) construir sus propios niveles de juego, lo cual representa cierta versatilidad en la elaboración de desafíos.

Todas estas características permiten trabajar diferentes situaciones de movimiento en el plano con Portal.

## 4. MARCO TEÓRICO

### 4.1 Teoría del conocimiento en piezas y la física intuitiva

Al interactuar con el mundo físico, los humanos gradualmente vamos adquiriendo una elaborada intuición<sup>3</sup> de cómo las cosas funcionan, qué tipo de eventos son necesarios, probables, posibles o imposibles (diSessa, 1993). En el aula de física, por ejemplo, esto se expresa en los análisis que hacen los estudiantes sobre determinados fenómenos: aun partiendo de descripciones correctas, se evidencian ciertas inconsistencias o contradicciones en comparación con la interpretación desde la perspectiva formal o teórica de la física. Este tipo de conocimiento nunca desaparece, más bien, durante el proceso de aprendizaje el conjunto de situaciones en las que se utiliza se reduce notablemente integrándose a una estructura de conocimiento más abarcativa. Es decir, su activación se vuelve más local y menos general para interpretar la realidad. Por ejemplo, en el aprendizaje del movimiento de cuerpos en el plano las dificultades suelen estar asociadas a un sentido, percepción o idea de que las cosas se mueven gracias a un ímpetu continuo intrínseco adquirido por el objeto cuando éste es lanzado con cierta velocidad: una vez que el ímpetu o el empuje “se agota”, los cuerpos se detienen. Esta interpretación de la realidad tendría origen en la interacción diaria con el mundo. Se trata de una percepción cinestésica subjetiva de que los cuerpos se mueven en el sentido de aplicación de la fuerza que históricamente se remonta a la era pre-newtoniana (McCloskey, 1983b). El conocimiento intuitivo entonces, emerge como un primer abordaje de los problemas y resulta útil en tanto permite interpretar una gran cantidad de fenómenos.

#### 4.1.1 Caracterización de p-prims

Como se mencionó anteriormente, los p-prims se expresan a través del discurso: en las explicaciones, descripciones y en las hipótesis. “Espontáneamente, los sujetos proponen hipótesis sobre una dada situación y sus explicaciones son datos críticos. La evidencia sobre cuán satisfechas están las personas con su descripción y sus implicaciones predictivas sobre las situaciones son particularmente importantes al establecer prioridades” (diSessa, 1993, p. 16). En este sentido, la interpretación de los datos es indirecta e implica el análisis del discurso.

Los enunciados candidatos a p-prims suelen satisfacer a grandes rasgos las siguientes características (diSessa, 1993):

a) Se presentan como microeventos o pequeños elementos de conocimiento, actuando en conjunto con otros razonamientos y guiando localmente la resolución o interpretación de problemas.

b) Son autoevidentes (no necesitan explicación, principio de obviedad) y no son de utilidad en la organización de estrategias de resolución de modo explícito.

c) Carecen de forma proposicional explícita: las personas hacen predicciones en base a los p-prims, pero las predicciones no son los p-prims en sí. El acceso consciente a los p-prims es limitado y son detectables en relación al grado de satisfacción con la comprensión del problema.

d) Suelen expresarse en términos subjetivos sensoriomotores o de sensaciones corporales. Esto contribuye a cierta desarticulación en las argumentaciones.

#### 4.1.2 Conjunto básico de p-prims asociados a la fuerza y el movimiento

Como ya se mencionó, los atributos intuitivos de los p-prims asociados a la fuerza y al movimiento están ligados a sensaciones subjetivas de agencia y movimiento del propio cuerpo. DiSessa (1993) plantea la existencia de al menos once p-prims de esta clase. A continuación se describen las dos categorías de p-prims que se expresaron en el análisis.

**P- prim de tipo Ohm.** Sentido intuitivo en el que un agente o ímpetu causal actúa contra una resistencia o interferencia para producir un resultado. En general aparece para justificar relaciones de proporcionalidad, tales como: “cuanto más esfuerzo o intensidad del ímpetu, mayor resultado”, por ejemplo: a mayor velocidad de salida, más alto o más lejos se puede llegar. Estos efectos eventualmente podrían compensarse mutuamente, por ejemplo: a mayor esfuerzo, mayor resistencia lo cual implicaría la ausencia de cambio en el estado de un sistema (diSessa, 1993).

**Fuerza como motor.** Este p-prim se desarrolla desde la acumulación de abstracciones de situaciones cotidianas que involucran el empuje de un objeto desde el reposo. Supone que la acción de una fuerza sobre un cuerpo genera su movimiento en la misma dirección y se suele utilizar para explicar el movimiento en circunstancias generales (diSessa, 1993, Sengupta et al., 2015). Objeto, empuje y resultado, son las características abstraídas en este p-prim, de tal manera que cuando se activa, queda afuera la consideración sobre la influencia de la velocidad previa (Sengupta et al., 2015). Este p-prim participa a la hora de dar cuenta de situaciones tales como deflexiones, como en el caso del tiro parabólico.

## 4.2 Pregunta de la investigación

Este trabajo tiene como objetivo hacer un aporte en la comprensión de las potencialidades de un videojuego para aprender movimiento en el plano. Más concretamente, se propone relevar elementos de conocimiento intuitivo de física en el discurso de estudiantes en relación a una situación del juego. La pregunta de investigación es:

<sup>3</sup> DiSessa se refiere a esta intuición como *sentido de mecanismo*.

- ¿Cómo se expresa el conocimiento intuitivo de física de los estudiantes en relación al movimiento en el plano en la interacción con el videojuego Portal?

Las autoras de este trabajo sostienen que la respuesta a esta pregunta representa un aporte a la investigación didáctica, en tanto aporta elementos para entender cómo un popular videojuego puede ser un recurso en el aula de física, en tanto facilita a la explicitación de ideas previas en relación al movimiento en el plano. Responder esta pregunta abre perspectivas hacia una próxima instancia de investigación sobre la potencialidad de Portal para tensionar y refinar esas ideas en la dirección del conocimiento científico.

## 5. METODOLOGÍA

Las experiencias con Portal se desarrollaron por fuera del horario de clase, por lo tanto no constituyen una intervención didáctica. Se convocaron estudiantes de ingeniería de una universidad nacional de Argentina para una experiencia con videojuegos. La convocatoria inicialmente fue dirigida a aficionados y usuarios de videojuegos, es decir, un segmento amplio de población universitaria. Todos los participantes conocían el juego y/o lo habían jugado. Se conformaron tres grupos de dos estudiantes cada uno, a quienes se les propuso jugar un nivel de Portal para luego ser entrevistados. Previamente se les había propuesto jugar otros dos niveles de familiarización

con el juego y los comandos. Los voluntarios ya habían cursado la asignatura (física 1) que desarrolla el contenido de movimiento en el plano como las situaciones que se presentan en el juego. La experiencia de juego duró entre 45 segundos y 5 minutos dependiendo del grupo. Para facilitar el intercambio fluido entre participantes durante el juego y obtener más y mejores datos, se decidió que el número óptimo de jugadores por grupo sea de dos. Se tomó registro audiovisual de la pantalla del juego y de los intercambios entre jugadores. Al finalizar el juego se realizó una entrevista a cada grupo. El enfoque de esta investigación es del tipo interpretativo y el diseño se enmarca como exploratorio (Vazquez- Bernal, 2005). Se analizaron las interacciones con Portal a través de las elaboraciones y caminos de resolución que siguieron los participantes para salir de la cámara de pruebas y pasar al siguiente nivel.

### 5.1 El problema presentado en Portal

La figura 3 representa dos vistas 3-d del mapa del lugar. Los jugadores tienen que usar los portales para alcanzar un cubo por medio de un lanzamiento en tiro oblicuo. Al entrar en la cámara se observa el cubo a la derecha, una pared lisa a la izquierda, el escalón (lo primero que los jugadores pisan) y en el entrepiso un botón y la salida. Mientras el botón se mantenga presionado, la puerta de salida permanece abierta, así que para poder salir, habrá que ubicar el cubo en el botón para que la puerta se mantenga abierta.

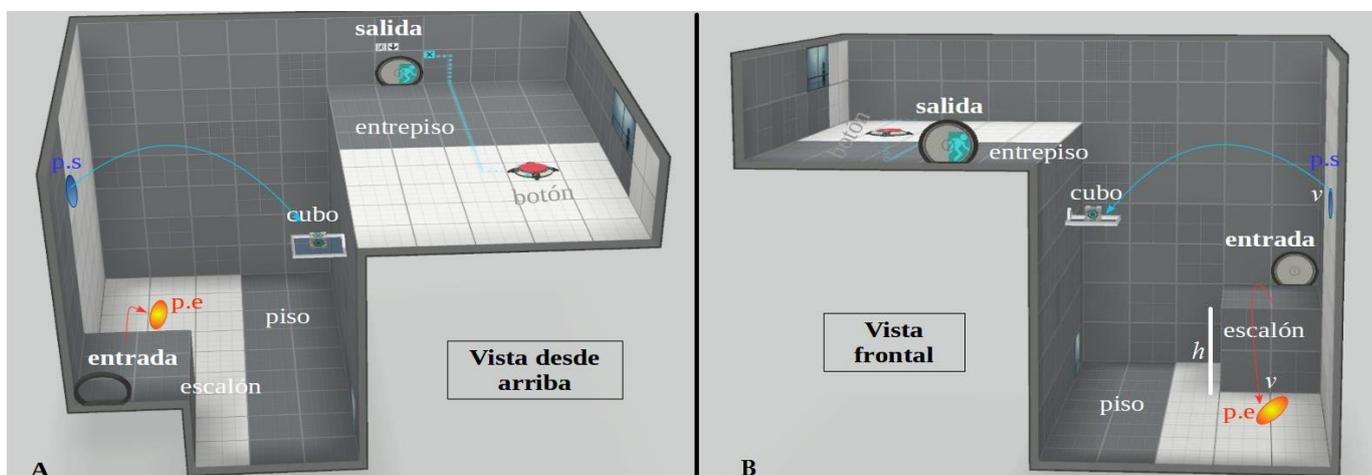


Figura 3: Vista superior (A) y lateral (B) de la cámara de pruebas.

Fuente: elaboración propia

Para poder alcanzar el cubo, los jugadores tienen que generar un portal de entrada (p.e.) en el piso debajo del escalón y un portal de salida (p.s.) en la pared opuesta a la posición del cubo. Debido a que la magnitud y el ángulo de la velocidad se conservan respecto del plano del p.s. (figura 2), la velocidad adquirida en la caída le permitirá al jugador alcanzar el cubo. Una vez logrado este objetivo, ya ubicados sobre la plataforma donde éste se encuentra apoyado, el procedimiento para llegar al entrepiso es el mismo: generar

un p.e. en el piso, y salir volando por un p.s. en la pared opuesta para poder escalar al entrepiso superior.

### 5.2 La física involucrada en Portal

El problema detallado en 5.1 implica al menos dos análisis desde la física asociado a la cinemática del problema y a

conceptos de dinámica newtoniana tales como cantidad de movimiento, impulso y energía:

- ¿Cómo hay que entrar y salir de los portales para poder alcanzar el cubo?
- ¿Dónde hay que ubicar los portales para poder alcanzar el cubo?

Al atravesar el portal, se conserva el módulo de la velocidad (o de la cantidad de movimiento), pero no así su dirección y sentido, análogamente a un rebote elástico. Los cuerpos “rebotan” en él cuando lo atraviesan p.e. y salen en sentido contrario por p.s (Canal Sixty Symbols, 2013). Este problema convoca a un análisis tanto sobre la trayectoria de los cuerpos que atraviesan el portal como sobre el efecto de los portales en el movimiento. El conocimiento intuitivo que se espera encontrar estará asociado a la trayectoria y al cambio en el estado de movimiento (McCloskey, 1983b) en un espacio aproximadamente newtoniano (con gravedad). El conjunto de predicciones y supuestos intuitivos se puede agrupar en los primitivos que conforman el *conjunto básico de fuerza y movimiento* descritos en el marco teórico (diSessa, 1993). En el Anexo se desarrolla una breve descripción de la física involucrada en el problema presentado por el videojuego a modo de referencia para analizar el discurso de los estudiantes.

### 5.3 Obtención de registros

Los datos se obtienen a partir de los registros audiovisuales en dos momentos:

- 1) *Durante el juego.* En esta instancia se analizan los diálogos entre estudiantes, en relación con las acciones realizadas
- 2) *Durante la entrevista.* Luego de la etapa de juego, se llevaron a cabo entrevistas cortas semiestructuradas (Sengupta et.al., 2015) para indagar sobre cómo fue la experiencia con Portal, elaboraciones del problema planteado y métodos para salir de la cámara. En esta instancia solo se registró el audio. Buscamos información más detallada que diera cuenta de métodos de resolución, interpretación de resultados, elaboración de estrategias, hipótesis, percepción de la dificultad, y cualquier información que pudiera ser considerada crítica para la identificación de p-primos. Los registros tanto de las filmaciones como de los audios se volcaron en una tabla para cada grupo, como ilustra la figura 4.

Grupo	2
Transcripción	<p>J4: Nunca jugué en cooperativo porque lo tenía trucho (<i>rie</i>)  <i>Entran en la cámara.</i>            J4: A ver qué te dice ahí a la derecha...            J3: Ahhh...  <i>Observan qué tipos de obstáculos pueden llegar a encontrar (abajo del número de nivel aparecen unos indicadores).</i>  <i>Entran en la cámara. Observan la pared y el piso desde el escalón.</i>            (*) J4: A ver si hacés el salto desde acá, así llegás al otro lado. Señala la pared.            J3: Hmmm... va probando un par de portales en la pared, lo más alto posible y trata de calcular para poder caer en la plataforma donde está el cubo. Parece entender muy bien lo que tiene que hacer.</p>
Duración aproximada	3 minutos
Entrevista	<p>Ent: qué fue lo que más les costó de los niveles? Hubo alguna dificultad en alguna parte que puedan mencionar?            J3: no me pareció, pero...            J4: no, yo creo que...            Ent: si se tenían que avivar de algo...            J4: porque uno, el primero lo pasaste sin hacer... ehh, una de las cosas que...            J3: te daba opciones de más...            Ent: puede ser...            J4: sí, creo que ese te salteaste algo...            J3: pero si llegás al final no te salteás nada...            J4: claro sí...            Ent: en el primero tenés que alcanzar un cubo...            J3: tenés que llegar al final...            Ent: sí sí, pero primero tenés que pasar por una instancia...            J3: la única dificultad en ese fue el tema de los controles, o...</p>

**Figura 4:** Registros audiovisuales de las entrevistas e intercambios durante el juego. (\*) En cursiva se incluyen comentarios de los investigadores.

**Fuente:** elaboración propia

## 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El análisis del discurso constituye el método de la teoría de conocimiento en piezas (diSessa, 1993) para analizar los registros. Se buscaron datos críticos en los registros, es decir, aquellos asociados al sentido de mecanismo de los

participantes en relación a la dinámica y/o la física del juego: las hipótesis, la experimentación o “medición” de variables (por ejemplo, calculando relaciones entre distancias para lograr que las trayectorias permitan alcanzar un objetivo), la construcción de argumentos en base a la evidencia, relaciones causa-efecto y representaciones de los

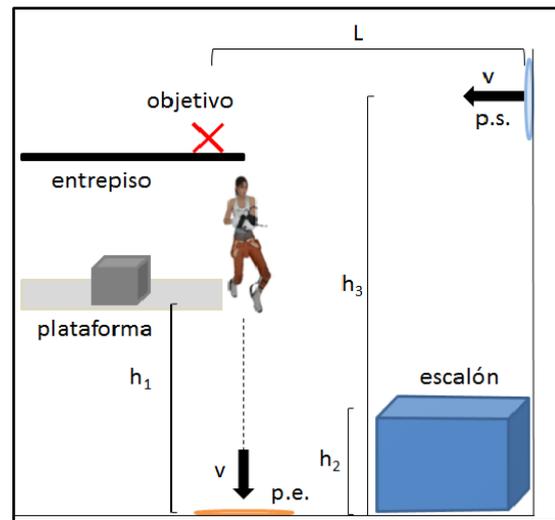
estudiantes (Baudino et al., 2019). Dado que los p-prims se expresan en el discurso, se analiza el conocimiento intuitivo en los registros a la luz de los p-prims caracterizados en 4.1.1 y 4.1.2.

A continuación se presenta el análisis de cuatro extractos que muestran la activación del conocimiento intuitivo de física de los participantes para resolver situaciones en el juego. El análisis de los datos críticos se realizó a partir de la caracterización de p-prims detallada en 4.1.1. En tanto fue posible, se trianguló la información extraída durante el juego (Okuda Benavides y Gómez Restrepo, 2005) con las verbalizaciones de los estudiantes en las entrevistas realizadas posteriormente a la instancia de juego. La investigadora se referencia como Ent y los participantes convocados a participar de manera voluntaria en la experiencia son: J1, J2, J3, J4, J5 y J6.

*P-prim del tipo Ohm (1)*

J5: ah, y ahí qué hay? [Señala la ventana de observación de la cámara]...  
 J6: nada, nada...  
 J5: ¿seguro?  
 J5: ¿allá arriba cómo llego? [Señalando el entrepiso].  
 J6: para mí tenés que subirte ahí arriba [señalando la plataforma del cubo] y de ahí saltar al portal **y que te saque así. Como vas a quedar más lejos, desde más alto vas a volar más...**  
 J5: bueh, entonces me tengo que llevar esto de nuevo [señala el cubo]

J6 propone saltar desde la plataforma para poder salir por el p.s. de manera de alcanzar el entrepiso (figura 5). “Desde más alto vas a volar más” implica una relación de proporcionalidad entre la altura de lanzamiento hacia p.e. y el “vuelo” a la salida de p.s. que le permite alcanzar el entrepiso (ecuación 4, Anexo). La frase expresa una afirmación sobre un evento que pareciera no necesitar



explicación (principio de obviedad), a la vez que resulta satisfactoria en el marco del problema. El intercambio también expresa una lectura de la situación en base a percepciones sensoriales -subjetivas- sobre el movimiento (“y que te saque así”): la ausencia de categorías cinemáticas en la interpretación en voz alta del fenómeno da cuenta de esto. Si bien la afirmación conduce a una predicción correcta en el marco del juego, no es generalizable (o invariante): no queda claro, por ejemplo, en términos de qué variables se define el “vuelo”. Se expresa entonces una relación de proporcionalidad entre una variable (distancia de lanzamiento al p.e) y un resultado esperado no definido en términos de variable cinemática alguna. A la vez, esta relación de proporcionalidad, definida así, podría expresar el hecho de que para alcanzar el objetivo, es necesario vencer un obstáculo, que en este caso sería la distancia de separación entre el punto de lanzamiento y el punto de llegada: cuanto mayor sea, mayor deberá ser la altura desde la cual lanzarse al p.e para alcanzar el objetivo. Esta caracterización podría interpretarse como un **primitivo fenomenológico del tipo Ohm** (diSessa, 1993).

**Figura 5:** Esquema de la situación del ejemplo 1.  
**Fuente:** elaboración propia

Durante la entrevista posterior se obtuvieron más elementos que aportan a esta caracterización del conocimiento intuitivo de los jugadores. Se observa a continuación cómo responden J5 y J6 ante la pregunta acerca del método llevado a cabo para alcanzar el cubo partiendo desde el escalón (figura 3).

Ent: ¿cómo hicieron para agarrar el cubo?  
 J6: tuvimos que hacer un portal abajo y **uno bien alto** así cuando caíamos volabas por ahí  
 J5: o sea tenías que saltar, **ponerlo justo, depende de dónde estaban puestos los dos portales era la velocidad con la cual vos caías** [en la plataforma] **o no...**

Para J6 el p.s. tiene que estar “bien alto” y J5 agrega que hay que “ponerlo justo”, de tal manera que las ubicaciones de p.e y p.s. determinan la concreción o no del objetivo. La expresión “bien alto” reaparece en el discurso, reafirmando

la hipótesis del “cuanto más mejor” detallada anteriormente. La intervención de J5, por su parte, da cuenta de un intento de refinar la explicación del método: la velocidad con la que se llega a la plataforma “depende de dónde estaban puestos los dos portales”.

*P- prim del tipo Ohm (2)*

Aquí los jugadores analizan la relación entre la ubicación espacial de los portales y puntos de lanzamiento al p.e y salida del p.s: relaciones entre distancias. En un intervalo muy corto se expresan dos análisis diferentes (microeventos) articulados en torno al tiro oblicuo para alcanzar objetivos usando los portales. Estos análisis están dirigidos a: resolver cómo llegar desde el escalón hasta el cubo (figura 3) y cómo llegar desde la plataforma del cubo al entrepiso (figura 5). Al igual que en el caso anterior, se observan aparentes relaciones de proporcionalidad entre las

coordenadas del objetivo (horizontal y vertical), la ubicación del portal de salida p.s. (horizontal y vertical) y la altura desde donde hay que lanzarse al portal de entrada p.e. para salir con la máxima velocidad posible (los puntos de la cámara de pruebas en donde el personaje fija la atención son datos que aportan a este análisis).

J3: [calcula la relación entre la altura del portal de salida respecto del piso y la altura a la que se encuentra el cubo para lanzarse con él desde el escalón al portal de entrada que está en el piso. Considera la relación entre la altura del escalón desde el cual se lanza para poder alcanzar el objetivo].

J3: **¿a ver si está bien arriba?** No...[Corrige. Ubica el portal de salida lo más alto que se puede. Se lanza de nuevo y cae nuevamente en la plataforma].

J3: Bien

J4: **¿te parás arriba del cubo?** [Refiriéndose a alcanzar el piso superior]

J3: no, me tiro desde acá que es más alto

J4: **¿es más alto eso?**

J3: yo creo...[se lanza, funciona]

J3: sí....

Por otro lado, las expresiones “a ver si está bien arriba”, “¿es más alto eso?” pueden leerse también como inquietudes de los jugadores respecto a “quedarse cortos” o no poder alcanzar los objetivos. Estas tensiones, si bien expresan límites concretos a superar para avanzar en la realidad del juego, son subjetivas en tanto denotan percepciones y limitaciones del propio cuerpo (encarnado en el personaje) para alcanzar los objetivos. En este sentido, para poder llegar al objetivo sería necesario salir con la mayor velocidad posible o ubicar los portales de salida lo más alto posibles, o lanzarse desde lo más alto posible hacia el portal de entrada. Es decir, un “cuanto más mejor” en relación a un cuerpo que debe vencer la limitación o “resistencia” impuesta por la relación geométrica entre distancias, propia del **primitivo fenomenológico del tipo Ohm**. Durante la entrevista los jugadores dan por supuesto que la altura desde donde se lanzan al p.e. es un factor determinante para alcanzar los objetivos (principio de obviedad). Acerca de la pregunta sobre las dificultades y cómo lograron salir de la cámara hicieron alusión a la importancia de manejar con fluidez los comandos (con el teclado). Reaparece en la entrevista la relación de proporcionalidad entre la velocidad de salida y la altura de llegada: cuanto mayor sea la velocidad de salida del p.s, “más alto vas a llegar”. La relación entre la velocidad de salida y la altura final depende de la altura a la que se ubica el portal (ecuación 2, Anexo).

J3: la única dificultad en ese fue el tema de los controles, o sea, pegar, caer justo en el lugar donde **tenés que caer para agarrar velocidad que necesitás para saltar más alto...**

Ent: vos decís que te tenés que dar cuenta de eso...

J3: no, o sea, el tema de los controles: tenés que hacer una **caída muy larga**, tenés el control en el medio del aire y **caer justo en el lugar que tenés que caer cuando vas a una velocidad**, eso es lo que me pareció más difícil, el tema de mecánica.

### *P- prim fuerza como motor*

En este ejemplo se analiza la entrevista al grupo formado por los estudiantes J1 y J2. Los jugadores resolvieron el nivel en 45 segundos y los registros durante el juego no aportan datos críticos. Los participantes expresan sus impresiones del juego. J1 plantea una interpretación del funcionamiento de los portales y sobre cómo utilizarlos a favor.

Ent: ¿qué fue lo que más les costó en general?

J1: creo que sin el conocimiento del hecho de que vos **tengas cierta fuerza cayendo y poder saltar y usar esa fuerza para direccionarla para el otro lado**, digamos, sin saber eso por ahí es un poco más complejo.

Según lo expresado por J1, Chell “traería” cierta fuerza al entrar al p.e, que luego es “reutilizada” para impulsar el cuerpo al salir de p.s. La *fuerza* en esta afirmación sería considerada un atributo, algo que “carga” el cuerpo en movimiento y que el portal “redirecciona”: **fuerza como motor**. Ent intenta hacer que J1 desarrolle su afirmación, tomando casi sus mismas palabras. J1 reafirma:

Ent: eso de caer y...

J1: ..y **la misma fuerza para caer es la que usás para saltar para adelante**

Ent: claro...

J1: Creo que sin ese conocimiento habría sido más complejo

Ent: O sea que te tenés que dar cuenta de qué?

J1: **de la fuerza que tenés cayendo...**

Se observa también en este último fragmento cierta estabilidad en la representación de la fuerza como objeto independiente sobre el cual actúa el portal (modificando su dirección), cuando en realidad es el portal el que actúa sobre el cuerpo provocando el cambio en el sentido de la velocidad que trae (ver 5.1). En este registro, la fuerza es la causa del movimiento sobre la cual actúan los portales, es decir, la **fuerza actúa como motor**.

### *Energía como motor*

A continuación, J1 introduce el concepto de energía para ampliar su explicación. Este ejemplo es análogo al anterior, pero en este caso la energía es el agente impulsor del movimiento en el sentido de la velocidad. Ent vuelve a preguntar con una frase incompleta dirigida a considerar la energía para impulsarse al salir del portal. Se manifiesta una equivalencia entre los conceptos energía y energía cinética. Según J1, la energía es la que le proporciona movimiento al cuerpo.

J1: Tenés que ser consciente de que cuando caés vas acumulando energía...

Ent: claro, que después utilizás....

J1: tal cual...

J2 todavía no había hablado y Ent se dirige a él. Se observa entonces que J2 retoma la afirmación de J1 acerca de la

energía, apropiándose de los dichos y agregando que la energía es el agente que impulsa al cuerpo a llegar más lejos.

Ent: de lo que viste...¿qué te pareció? Algo que te haya llamado la atención...

J2: hubo dificultad porque no sabía lo que acabo de decir del impulso [notar acá que habla en primera persona refiriéndose a lo que dijo J1, apropiándose del discurso del compañero], **de la propia energía potencial del cuerpo, como que te impulsa a...cómo es?.. A saltar más lejos**, pero si lo hubiera intentado por mi cuenta, lo hubiera sacado...

Se observa aquí con más claridad la función de la energía - ahora potencial- como agente impulsor del movimiento: cuanta “más energía haya”, más lejos se va a impulsar el cuerpo.

## 6. CONCLUSIONES

En 4.2 se formuló la pregunta de investigación: ¿Cómo se expresa el conocimiento físico intuitivo en relación al movimiento en el plano en la interacción con el juego?

Los registros obtenidos durante el juego dan cuenta de hipótesis y elaboraciones basadas en intuiciones sobre resultados esperables y relaciones entre variables (4.1.1). Se observa una descripción estructurada en sensaciones de movimiento y relaciones de causalidad de carácter tautológico (principio de obviedad) entre eventos y variables. Estas intuiciones expresan una prominente sintaxis causal en términos de agente- paciente bajo la forma de dos primitivos fenomenológicos del conjunto básico de fuerza y movimiento (diSessa, 1993): p-prim de tipo Ohm y fuerza (o energía) como motor (ver 4.1.2). Los jugadores refieren a los movimientos del personaje como si fueran realizados por ellos mismos (uso de primera y segunda persona del singular). Aun cuando la mayoría de los participantes había jugado Portal con anterioridad, las descripciones de las situaciones permanecían en el plano del conocimiento intuitivo. Esto representa una ventaja del juego, en tanto implica que la experiencia personal de los estudiantes con el juego no interfiere en el uso didáctico de Portal.

Las categorías de la teoría del conocimiento en piezas (ver 4.1.1 y 4.1.2) resultaron adecuadas para caracterizar la interacción entre el conocimiento intuitivo de física y el videojuego en un contexto social. Las autoras consideran que el método empleado para relevar las ideas intuitivas de los estudiantes sobre el movimiento en el plano también resulta adecuado.

## 7. IMPLICACIONES DEL ESTUDIO

El avance hacia el conocimiento formal de física se construye a partir de elementos de conocimiento intuitivo. En este sentido, las investigadoras consideran que este trabajo -de carácter exploratorio- resulta un aporte frente a la necesidad de evidencia empírica sobre el uso de videojuegos en el aprendizaje de física. La caracterización de la física intuitiva que emerge de la interacción con Portal

puede tomarse como punto de partida para futuras investigaciones dirigidas a estudiar la relación entre el uso del videojuego y el aprendizaje de la física del movimiento en el plano. El siguiente paso en la caracterización de Portal como herramienta para aprender física sería avanzar en una intervención didáctica y analizar con mayor detalle el desarrollo del conocimiento conceptual alrededor del movimiento en el plano. En este sentido, se pueden diseñar niveles que permitan verificar o refutar hipótesis sobre problemas presentados con anterioridad, o utilizar las grabaciones durante el juego para indagar sobre la toma de decisiones o, a partir de los datos de posición y velocidad que también pueden obtenerse del juego, graficar curvas de posición y velocidad. A partir de los p-primos observados se pueden abordar conceptos como velocidad de caída, energía potencial, energía cinética e incluso analizar la relación entre la aceleración y la deflexión de la velocidad en el movimiento parabólico. Cada afirmación, hipótesis y/o conclusión de los estudiantes, se corresponde con una relación entre variables (ver Anexo).

En esta experiencia todos los grupos intercambiaron y acordaron sus acciones con los compañeros, lo cual da cuenta de la importancia que la experiencia de juego se desarrolle en un entorno social (en este caso de dos jugadores por grupo) y no en solitario. Este hecho convoca a seguir investigando en relación a la dimensión sociocultural del aprendizaje, por ejemplo, afinar la caracterización de la interacción entre estudiantes, docentes y el videojuego en un sentido colectivo.

Frente a la diversidad de enfoques, categorías y unidades de análisis abordada en la introducción, la respuesta a la pregunta de investigación también aporta una propuesta metodológica para seguir discutiendo un abordaje más profundo en vistas de futuras investigaciones.

## 8. REFERENCIAS

Annetta, B. L. A., Murray, M. R., Laird, S. G., Bohr, S. C. y Park, J. C. (2006). Incorporating video games in the classroom serious games. *Educause Quarterly*, 3, 16–22.

Batchelor, J. (2021). *GamesIndustry.biz presents... The Year in Numbers 2021*. GamesIndustry.biz. <https://www.gamesindustry.biz/articles/2021-12-21-gamesindustry-biz-presents-the-year-in-numbers-2021>

Baudino, N., Velasco, J., Coleoni, E. y Buteler, L. (2019). La interacción mediante el habla. Una revisión del discurso en las aulas de ciencias. *REIEC*, 14 (Diciembre), 29-44.

Carey, S. (1985). *Conceptual change in childhood*. Cambridge, MA: MIT Press/Bradford Books.

Carey, S. (1991). Knowledge acquisition: Enrichment or conceptual change? En S.Carey y R. Gelman (Eds.), *The epigenesis of mind* (257-291). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Catelli, M. (2011). Ideas and Resources For Teaching with Portal 2. <https://www.teachthought.com/critical-thinking/ideas-resources-for-teaching-with-portal-2/>

- Clark, D. B., Nelson, B., Sengupta, P., & D'Angelo, C. M. (2009). Rethinking science learning through digital games and simulations: Genres, examples, and evidence. Trabajo entregado al *National Research Council Workshop on Gaming and Simulations*, 6- 7 de Octubre.
- Clark, D. B., Sengupta, P., Bradey, C. E., Martínez- Garza, M. M., Killingsworth, S. S. (2015). Disciplinary integration of digital games for science learning. *International Journal of STEM Education*, 2:2, DOI: 10.1186/s40594-014-0014-4.
- Clement, J. (23 de noviembre de 2021). *Video gaming market size worldwide 2020-2025*. Statista.com. <https://www.statista.com/statistics/292056/video-game-market-value-worldwide/>
- Connolly, T. M., Boyle, E. A., MacArthur, E., Hainey, T. y Boyle, J. M. (2012). A systematic literature review of empirical evidence on computer games and serious games. *Computers & Education*, 59, 661-686.
- Csikszentmihalyi, M. (1990). *Flow: The psychology of optimal experience*. New York, NY: Harper-Perennial.
- diSessa, A. (1993). Toward an epistemology of physics. *Cognition and Instruction*, 10(2-3), 105-225.
- Ebrahimzadeh, M. y Alavi, S. (2016). Motivating EFL Students: E- learning enjoyment as a Predictor of Vocabulary Learning through Digital Video Games. *Cogent Education*, 3.
- Egenfeldt-Nielsen, S. (2005). *Beyond edutainment: exploring the educational potential of computer games*. PhD tesis, IT-University of Copenhagen.
- Escobar, R. y Buteler, L. (2018). Resultados de la investigación actual sobre el aprendizaje con videojuegos. *Revista de Enseñanza de la Física*, 30(1), 25-48.
- Eton (2020). Crisis y Tecnología: “Tonight we riot” y la apertura de ideas anticapitalistas en los nuevos videojuegos. *La Izquierda Diario*. <https://www.laizquierdadiario.com/Crisis-y-tecnologia-Tonight-we-riot-y-la-apertura-de-ideas-anticapitalistas-en-los-nuevos>
- Ewalt, D. M. (2011). *What is Portal 2, and Why Should You Care?*. Forbes. <https://www.forbes.com/sites/davidewalt/2011/04/19/what-is-portal-2-and-why-should-you-care/?sh=3c0ff0052e1d>
- Foundry10, (s.f). *Portal* 2. <http://www.foundry10.org/programs/games-and-learning/portal-2>
- Frété, C. (2002). *Le potentiel du jeu vidéo pour l'éducation*. Master tesis, University of Geneva.
- Gee, J. P. (2003/2007). *What video games have to teach us about learning and literacy*. New York: Palgrave Macmillan.
- Girard, C., Ecalle, J. y Magnan, A. (2012). Serious games as new educational tools: how effective are they? A meta-analysis of recent studies. *Journal of Computer Assisted Learning*, 29(3), 207-219.
- Hutchison, D.(2007). Video Games and the Pedagogy of Place. *The Social Studies*, 98(1), 35-40.
- Gopnik, A., y Wellman, H. M. (1994). The theory theory. En L. A. Hirschfeld y S. A. Gelman (Eds.). *Mapping the mind. Domain specificity in cognition an culture* (257-293). Cambridge University Press.
- Greitzer, F. L., Kuchar, O. A. y Huston, K. (2007). Cognitive science implications for enhancing training effectiveness in a serious gaming context. *Journal on Educational Resources in Computing*, 7, 3, 2.
- Jackson, J. (2009). Game- based teaching: what educators can learn from videogames. *Teaching Education*, 20(3), 291-304.
- Johnson- Glenberg, M. C., Savio- Ramos, C.Perkins, K. K., Moore, E. B., Lindgren, R.,Clark, D., Brady, C., Sengupta, P., Martinez-Garza, M., Adams, D. , Killingsworth, S., Van Eaton, G., Gaydos, M., Barany, A. , Squire, K., Holbert, N. (2014). Embodied Science Education: Design Principles and Rolling It Out. Learning and Becoming in Practice: *The International Conference of the Learning Sciences (ICLS) Proceedings*, 3, 1199- 1208.
- Johnson-Glenberg, M. C., Megowan-Romanowicz, C., Birchfield, D. A., & Savio-Ramos, C. (2016). Effects of Embodied Learning and Digital Platform on the Retention of Physics Content: Centripetal Force. *Frontiers in Psychology*, 7. doi:10.3389/fpsyg.2016.01819.
- Hammer, D. (1996). Misconceptions or p-prims: How may alternative perspectives of cognitive structure influence instructional perceptions and intentions? *The Journal of the Learning Sciences*, 5(2), 97-127.
- Israel, M., Wang, S. y Marino, M. T. (2016). A Multilevel Analysis of Diverse Learners Playing Life Science Video Games: Interactions Between Game Content, Learning Disability Status, Reading Proficiency, and Gender. *Journal of Research in Science Teaching*, 53(2), 324-345.
- Ketelhut, D. J., y Schifter, C. C. (2011). Teachers and game-based learning: Improving understanding of how to increase efficacy of adoption. *Computers & Education*, 56, 539-546.
- LaBonte, D. (9 de septiembre de 2014). *Game - Based STEM Instruction*. Edutopia. <https://www.edutopia.org/blog/reinventing-science-fair-portal-2-don-labonte>
- Lee, Y. H. y Heetert, C. (2017). The effects of cognitive capacity and gaming expertise on attention and comprehension. *Journal of Computer Assisted Learning*, 33(5), 473-485.

- Maguth, B. M., List, J. S. y Wunderle, M. (2014). Teaching Social Studies with Video Games. *The Social Studies*, 106(1), 32-36.
- Malykhina, E. (12 de septiembre de 2014). *Fact or fiction? Video Games are the future of Education*. Scientific American. <http://www.scientificamerican.com/article/factor-fiction-video-games-are-the-future-of-education/>
- Martínez-Garza, M., Clark, D. B. y Nelson, B.C (2013). Digital games and the US National Research Council's science proficiency goals. *Studies in Science Education*, 49(2), 170-208.
- Mayer, I., Bekebrede, G., Harteveld, C., Warmelink, H., Zhou, Q., van Ruijven, T., Lo, J., Kortmann, R. y Wenzler, I. (2014). The research and evaluation of serious games: Toward a comprehensive methodology. *British Journal of Educational Technology*, 45(3), 502-527.
- Mayo, M.J. (2007). Games for Science and Engineering Education. *Communications of the ACM*, 50(7), 31-35.
- McCloskey, M. (1983a). Naive theories of motion. En D. Gentner y A. Stevens (Eds). *Mental models* (299-323). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- McCloskey, M. (1983b). Intuitive physics. *Scientific American*, 122-130.
- McPartlan, P. [Sixty Symbols]. (8 de abril de 2013). *Momentum and Portal* [Archivo de Video]. Youtube. [https://www.youtube.com/watch?v=ASUUN0W4\\_JY](https://www.youtube.com/watch?v=ASUUN0W4_JY)
- Mitgutsch, K. y Alvarado, N. (2012). Purposeful by design?: a serious game design assessment framework. En Ryan W. (Eds), *Proceedings of the International Conference on the foundations of digital games*, 121-128.
- Okuda Benavidez, M. y Gómez-Restrepo, C. (2005). Métodos en investigación cualitativa: triangulación. *Revista Colombiana de Psiquiatría*, 34(1), 118-124.
- Peterson, M., White, J., Mirzaei, M. S., & Wang, Q. (2020). A Review of Research on the Application of Digital Games in Foreign Language Education. In M. Kruk, & M. Peterson (Ed.), *New Technological Applications for Foreign and Second Language Learning and Teaching* (69-92). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-2591-3.ch004>
- Physics Central (21 de septiembre de 2011). *Teaching with Portals: videogames in the classroom*. American Physical Society. <http://physicsbuzz.physicscentral.com/2011/09/teaching-with-portals-videogames-in.html>
- Physics with portal (25 de septiembre de 2014). <https://physicswithportals.com/>
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W. y Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66, 211-227.
- Prensky, M. (2001). *Digital game-based learning*. New York: McGraw-Hill.
- Rebetez, C. y Betrancourt, M. (2007). Video game research in cognitive and educational Sciences. *Romanian Association for Cognitive Science*, 9(1), 131-142.
- Revale, J. y Minotti, J.I. (2021). *Informe General del Observatorio Argentino de la Industria del Videojuego*. Universidad Nacional de Rafaela y Asociación de Videojuegos Argentina. <https://www.adva.vg/observatorio/>
- Roach, J. y Hicks, M. (29 de marzo de 2021). *The best puzzle games of all time*. Digitaltrends. <https://www.digitaltrends.com/gaming/best-puzzle-games/>
- Schiesel, S. (10 de mayo de 2011). *Physics, with wormholes by you*. The New York Times. <https://www.nytimes.com/2011/05/11/arts/video-games/portal-2-a-video-brain-game-review.html>
- Schöbel, S., Saqr, M., Janson, A. (2021). Two decades of game concepts in digital learning environments. A bibliometric study and research agenda. *Computers & Education*, 173. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2021.104296>
- Sengupta, P., Krinks, K.D. y Clark, D. B. (2015). Learning to Deflect: Conceptual Change in Physics During Digital Game Play. *Journal of the Learning Sciences* 24(4), 638-674.
- Shaffer, D. W., Squire, K. R., Halverson, R. y Gee, J. P. (2005). Video games and the future of learning. *Phi Delta Kappan*, 87(2), 105-111.
- Sherin, BL. (2001). How students understand physics equations. *Cognition and Instruction*, 19(4), 479-541.
- Squire, K. D. (2008). Video Game- Based Learning: an Emerging Paradigm for Instruction. *Performance Improvement Quarterly*, 21(2), 7-36.
- Stafford, T. y Vaci, N. (2022). Maximizing the Potential of Digital Games for Understanding Skill Acquisition. *Current Directions in Psychology Science*, 31(1), 49-55. <https://doi.org/10.1177%2F09637214211057841>
- Tettegah, S., McCreery, M. y Blumberg, F. (2015). Toward a Framework for Learning and Digital Games. *Research. Educational Psychologist*, 50(4), 253-257.
- Tseklevs, E. Cosmas, J. y Agoun, A. (2016). Benefits, barriers and guideline recommendations for the implementation of serious games in education for stakeholders and policymakers. *British Journal of Educational Technology*, 47(1), 164-183.
- Turkay, S., Hoffman, D., Kinzer, C. K., Panthipar, C. y Vicari, C. (2014). Toward Understanding the Potential of

Games for Learning: Learning Theory, Game Design Characteristics, and Situating Video Games in Classrooms, Computers in the Schools. *Interdisciplinary Journal of Practice, Theory, and Applied Research*, 31:1-2, 2-22.

van der Spek, E. D., Wouters, P. y van Oostendorp, H. (2011). Code red: triage or Cognition-based design rules enhancing decision making training in a game environment. *British Journal of Educational Technology*. 42(3), 441-455.

Vázquez-Bernal, B. (2005). *La interacción entre la reflexión y la práctica en el desarrollo profesional de profesores de Ciencias Experimentales de Enseñanza Secundaria: estudio de casos* (tesis doctoral). Universidad de Huelva. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10272/2227>

Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Watzl, S. (2017). *Structuring mind. The Nature of Attention & How it Shapes Consciousness*. Oxford University Press.

Young, M. F., Slota, S., Cutter, A. B., Jalette, G., Mullin, G., Lai, B., Simeoni, Z., Tran, M. y Yukhymenko, M. (2012). Our Princess Is in Another Castle: A Review of Trends in Serious Gaming for Education. *Review of Educational Research*, 82(1), 61-89.

## ANEXO

### Conservación de la energía mecánica

Al tirarse desde una cierta altura, aumenta la energía cinética y el cuerpo adquiere velocidad debido al trabajo del peso. Cuanto más alto sea el punto de lanzamiento, la velocidad al llegar al p.e y por tanto, la velocidad  $v$  a la salida del p.s será mayor.

$$\Delta E_m = 0 \Leftrightarrow \Delta E_p = m \cdot g \cdot h = \frac{m \cdot v^2}{2} \Leftrightarrow |v| = \sqrt{2gh}$$

(ecuación 1)

### Trayectoria parabólica

La trayectoria parabólica se debe a la acción de la aceleración de la gravedad no colineal con la velocidad del cuerpo. No hay ningún elemento empujando el cuerpo ni fuerza paralela a la velocidad.

#### (i) ¿Qué relación hay entre la velocidad a la salida de p.s y altura del objetivo?

El p.s debe ubicarse por encima de la altura respecto del piso del objetivo, de manera tal que la diferencia entre la altura  $h$  del p.s y la altura final  $h_f$  de llegada viene dada por la ecuación 2.

$$h_f = h - \frac{1}{2} g t^2, t = L/v \quad (\text{ecuación 2})$$

$$- \Delta h = h - h_f = gL^2/2v^2 > 0$$

A medida que  $h_f$  se acerca a  $h$ ,  $-\Delta h \rightarrow 0$  y por lo tanto, la velocidad  $v$  a la salida de p.s deberá aumentar según la ecuación 2.

#### (ii) ¿Qué relación hay entre la velocidad de llegada al objetivo y la altura desde la cual lanzarse al p.e?

La velocidad con la que Chell llega al objetivo cuando sale de p.e. depende de la altura  $h$  desde la que Chell se lanza al p.e y la distancia horizontal  $L$  desde el p.s. hasta el objetivo final (ecuaciones 1 y 3).

$$v_{fx} = v = \sqrt{2gh} \quad (\text{ecuación 1})$$

$$v_{fy} = -gt = -gL/v = -gL/\sqrt{2gh}$$

(ecuación 3)

#### (iii) ¿Qué relación hay entre la altura del objetivo y la altura de lanzamiento al p.e?

Al introducir la ecuación 1 en la ecuación 2, tenemos:

$$- \Delta h = L^2/4h > 0 \quad (\text{ecuación 4})$$

Cuanto más alto se desee llegar, mayor tendrá que ser la velocidad a la salida de p.s, por lo tanto, mayor será la altura  $h$  de lanzamiento al p.e.