

# Creación de un prototipo de realidad virtual sobre mecánica rotacional en el ballet mediante la investigación basada en diseño

Creation of a virtual reality prototype about rotational mechanics of ballet through design-based research

Diana Herrero-Villarreal<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Cátedra de Física, Universidad Estatal a Distancia, San José, Costa Rica. De la rotonda la Betania 500 m este, carretera a Sabanilla, Mercedes de Montes de Oca.

\*E-mail: [dvillarreal@uned.ac.cr](mailto:dvillarreal@uned.ac.cr)

Recibido el 15 de junio de 2021 | Aceptado el 1 de septiembre de 2021

## Resumen

La realidad virtual y el aprendizaje basado en juegos tienen gran potencial para una enseñanza de la física que trascienda la transmisión del conocimiento. En un contexto de educación a distancia como el de la Universidad Estatal a Distancia de Costa Rica, donde la mayoría de estudiantes son mujeres, tomando en cuenta la Educación CTIAM, desde una enseñanza de las ciencias con enfoque de género se decide retomar una rama feminizada del saber para enseñar física: el ballet. Mediante la metodología de la investigación basada en el diseño, se estructura un proceso interdisciplinario en colaboración con un espacio Maker de la UNED el FabLab Kätrare, para desarrollar un prototipo de realidad virtual y abordar dos temas de mecánica rotacional en el ballet: relación entre el centro de masa y el equilibrio estático y conservación del momento angular. Se desarrolla un prototipo de una aplicación de realidad virtual inmersiva, filmada con cámara 360°, que incorpora animaciones, explicaciones teóricas, demostraciones de ballet y un espacio de Juego. El prototipo puede incorporarse en procesos de enseñanza y aprendizaje a distancia de tipo aprendizaje basado en juegos.

**Palabras clave:** Enseñanza de la mecánica rotacional; Física del ballet; Realidad virtual; Educación CTIAM; Aprendizaje basado en juegos.

## Abstract

Virtual reality and game-based learning have great potential for teaching physics beyond knowledge transmission. In a distance education context such as the one in the Universidad Estatal a Distancia of Costa Rica, where most students are women, taking in consideration STEAM education and gender approach to science teaching, it is decided to work with a feminized area of knowledge to teach physics: ballet. Through a design-based investigation methodology, an interdisciplinary process is structured, collaborating with a Maker Space of the UNED, the FabLab Kätrare, to develop a virtual reality prototype about two Rotational Mechanics topics in Ballet: the relation between mass center and static equilibrium and angular momentum conservation. An immersive virtual reality app is developed, filming with a 360° camera, incorporating animations, theoretical explanations, ballet demonstrations and a game space. The prototype can be incorporated in game-based learning, distance education learning and teaching processes.

**Keywords:** Rotational mechanics teaching, Physics of ballet, Virtual reality, STEAM education, Game based learning

## I. INTRODUCCIÓN

La enseñanza de la física en muchas instituciones sigue centrándose en una metodología conductista de transmisión de conocimiento, sin lograr una auténtica comprensión de los temas abordados (Bonwell y Eison, 1991; Chen, 2017; Laws, Sokoloff y Thornton, 1999).

Ante este panorama, desde una visión del aprendizaje constructivista, se impulsan propuestas como el aprendizaje activo, aprendizaje basado en juegos y la educación ciencias, tecnología, ingeniería, artes y matemática (CTIAM), con el objetivo de generar aprendizajes profundos, significativos y auténticos (Chen, 2017). Además, recientemente se han desarrollado tecnologías con gran potencial para enseñar ciencias y física. La realidad virtual, permite incorporar elementos sensoriales, así como generar simulaciones (Obrist y Martínez, 2015) y tiene a su vez especial utilidad para producir experiencias de aprendizaje con carácter lúdico y asincrónicas, con gran potencial en Educación a Distancia o incluso en procesos de educación virtual como los que se han dado por la pandemia por covid-19.

Este trabajo se genera en un contexto de educación a distancia, en la UNED Costa Rica. La cátedra de física, desde donde nace esta iniciativa, cuenta con una población mayoritariamente de mujeres formándose como docentes de ciencias, matemáticas o ingenieras. Se retoman elementos de la enseñanza de las ciencias con enfoque de género para poder dar cuenta de las características de la población.

Se elige la física del ballet para desarrollar temas de mecánica rotacional mediante un prototipo de aplicación de realidad virtual de tipo inmersivo.

El objetivo general es concebir un prototipo experimental de realidad virtual para la enseñanza de contenidos de dinámica rotacional aplicada al ballet en estudiantes de educación e ingeniería a nivel de pregrado, con mayoría femenina. Los objetivos específicos son

1. Identificar los contenidos de dinámica rotacional que se aplican al ballet y podrían representarse utilizando la realidad virtual, con estudiantes de educación e ingeniería a nivel de pregrado, con mayoría femenina.
2. Construir un guion físico para un entorno de realidad virtual donde se presente la forma en que se expondrían los contenidos de dinámica rotacional a incluir en el prototipo experimental.
3. Producir un prototipo experimental de realidad virtual llamado física del ballet mediante un trabajo interdisciplinario apoyado en el espacio Maker del FabLab Kättrare, UNED.

## II. MARCO TEÓRICO

### A. Aprendizaje Basado en Juegos

El aprendizaje basado en juegos (ABJ), también conocido en inglés como *game-based learning* parte de que se puede utilizar el juego para lograr aprendizajes. En el ABJ, la meta es aprender y el juego funciona como medio (Michael y Chen, 2001, en Landers, 2015). Para que una actividad de aprendizaje se considere juego, las autoras Bedwell, Pavlas, Heyne, Lazzara y Salas (2012) establecen las siguientes características que debe cumplir: lenguaje de acción, retroalimentación, presencia de conflicto o reto, control sobre el juego, locación definida, ficción del juego, interacción humana, inmersión y reglas o metas.

El mismo Piaget había teorizado sobre la importancia del juego en el desarrollo infantil (Plass *et al.*, 2015) y desde los años ochenta, se viene destacando el potencial de incorporar juegos al aprendizaje (Bedwell, Pavlas, Heyne, Lazzara y Salas, 2012). El aprendizaje basado en juegos permite motivar, involucrar al estudiantado, concebir el error como parte del proceso de aprendizaje (Plass, Homer y Kinzer, 2015), lograr el nivel de aplicación, desarrollar estrategias cognitivas, facilitar la organización del conocimiento y aprendizajes psicomotores, mejorar la capacidad de compilación (Bedwell *et al.*, 2012), así como la solución de problemas (Al Azawi, Al-Faliti y Al-Blushi, 2016).

En educación superior se ha incursionado en incorporar elementos lúdicos en cursos, como medallas al completar actividades o estructurar el curso como búsqueda del tesoro (Pho y Dinscore, 2015). Para enseñar física, concretamente, existen actividades como Crayon Physics y Newton's Playground, para resolución de problemas (Plass, Homer y Kinzer, 2015).

### B. Realidad Virtual y Enseñanza de la Física

La realidad virtual (RV) se puede definir como *“una experiencia totalmente inmersiva que presenta un mundo completamente nuevo alrededor y al cual podemos acceder mediante el uso de lentes, visores y/o cascos especiales”* (Observatorio de innovación educativa, 2017, p. 4). La RV permite interactuar con un ambiente que no depende de su

entorno real. Se caracteriza por la capacidad de inmersión utilizando un visor, una computadora o un teléfono portátil, manipulación y navegación con equipos periféricos como guantes, joysticks o ratones (Zapatero, 2011).

El uso de esta tecnología en la educación se ha incrementado, así como las publicaciones al respecto (Aznar-Díaz, Romero-Rodríguez, y Rodríguez-García, 2018). La reacción entre poblaciones jóvenes ha sido de considerarlas de uso intuitivo, motivación y aceptación (Santamaría y Mendoza, 2010; Aznar-Díaz, Romero-Rodríguez y Rodríguez-García, 2018).

En la enseñanza de la física se ha utilizado la simulación para generación de datos (López, 2016), se ha aplicado a la realización de prácticas de laboratorio (Smith, 2015) y se ha utilizado para observatorios astronómicos virtuales (Suárez, 2017). Es particularmente valiosa para trabajar temas complejos o abstractos, como la teoría de la relatividad o el electromagnetismo (Savage, Searle y McCalman, 2006).

### C. Educación CTIAM

La educación ciencia, tecnología, ingeniería, arte y matemática (CTIAM) tiene su raíz en la noción de ciencia, tecnología, ingeniería y matemática (CTIM, en inglés STEM, de science, technology, engineering y mathematics), un constructo político originado en los Estados Unidos de América, para identificar ese grupo de disciplinas. Ha sido de utilidad, entre otras cosas, para evidenciar la desigualdad en la participación de las mujeres en estas ramas, catalogadas tradicionalmente como masculinas. El sector educación desarrolló una propuesta educativa acorde a la que se conoce como Educación CTIM (a veces nombrado como STEM) (Ghanbari, 2015).

Las artes se incorporan al enfoque CTIM en Corea del Sur en 2011 para formar entonces la propuesta CTIAM. La educación CTIAM pretende incorporar elementos culturales del entorno, así como potenciar comprensiones holísticas de los fenómenos y las relaciones entre estas ramas, potenciar la creatividad como elemento necesario tanto en artes como en ciencias o ingenierías, motivar, colaborar y mejorar la solución de problemas (Quigley, 2017), así como el pensamiento crítico (Ghanbari, 2015). Se ha argumentado que la incorporación del arte al aprendizaje de las ramas CTIM beneficia el “*acercamiento de las niñas hacia las disciplinas científicas*” (Corfo & Fundación Chile, 2017, p. 9).

### D. Enseñanza de la Física con Enfoque de género

Desde la academia, se han identificado múltiples mecanismos laborales, familiares, educativos e ideológicos que van disuadiendo o excluyendo a las mujeres de participar en la ciencia, ingeniería, matemáticas. Se producen entonces los fenómenos de la segregación horizontal y la segregación vertical con el respectivo techo de cristal (Bian, Leslie y Cimpian, 2017; Camacho, 2017; Else, 2019; Gotfried, Owens, Williams, Yon y Musto, 2017; Heerdt y De Lourdes Batista, 2017; The National Academies of Science Engineering and Medicine, 2018; Turrión, 2019 y UNESCO, 2019).

En la enseñanza de la física, autoras como Díaz, Gonorazky y Marzano (2008) han señalado que se forja la ideología patriarcal, heteronormatividad y el sexismo mediante el currículum oculto, lo cual perjudica el desempeño de las mujeres. Las propuestas para contrarrestar esto incluyen la necesidad de crear materiales didácticos que tomen en cuenta el aporte de las mujeres a las ramas CTIM, (Álvarez-Lires, Arias-Correa, Serrallé y Varela, 2014), así como utilizar lenguaje que no sea androcéntrico ni sexista, gestionar el aula de forma equitativa, tomar en cuenta la dimensión ética de la ciencia y rescatar saberes feminizados para enseñar ciencia (Cantero, 2016). Este trabajo trabaja en el marco de este último punto, retomando un saber feminizado como es el Ballet (Carlés, 2012; Eljaiek, 2015) para enseñar física.

### E. Física del ballet: mecánica rotacional

Se eligen para este prototipo algunos temas de mecánica rotacional porque son temas de estudio de cursos de física de la UNED, tienen potencial para proponer simulaciones interactivas relacionadas y por sus posibilidades estéticas y lúdicas (mantenerse inmóvil y girar por ejemplo). Se ahonda en el tema del equilibrio estático mediante el concepto de *balancés* en ballet, definido como un instante en que el cuerpo se encuentra “*en equilibrio estacionario sin tendencia a rotar debido al efecto de la gravedad*” (Laws, 2008, p. 20).

Se debe considerar que las condiciones para que se dé el equilibrio estático son:

$$\sum \vec{F}_{ext} = 0 . \quad (1)$$

$$\sum (\vec{\tau}_{ext})_O = 0 . \quad (2)$$

Calculando las torcas con respecto a un punto fijo O en un marco de referencia inercial.

El centro de gravedad es un aspecto clave para lograr un *balancé* por lo que se retoma en el módulo correspondiente a *balancés*. Se expone que el centro de gravedad y el centro de masa suelen ubicarse en el mismo lugar en las condiciones en que se ejecuta ballet. El centro de masa ( $\vec{r}_{cm}$ ) se puede definir como

$$\vec{r}_{cm} = \frac{\sum_i m_i \vec{r}_i}{\sum_i m_i} \quad (3)$$

donde  $m_i$  es la masa de una partícula y  $\vec{r}_i$  su vector posición.

Una persona que desee encontrarse en equilibrio estático debe alinear su centro de gravedad sobre el área formada por el borde de su punto de apoyo sobre el suelo a lo que se conoce como área de soporte (Laws, 2008).

Las otras dos magnitudes físicas que se describen son el momento de inercia  $I$  y el momento angular  $\vec{L}$  definidos como (Young y Freedman, 2013):

$$I = \int r^2 dm . \quad (4)$$

Donde  $dm$  es un diferencial de masa y  $r$  es la distancia a la que se encuentra ese diferencial.

$$\vec{L} = I\vec{\omega} . \quad (5)$$

Donde  $I$  es el momento de inercia y  $\vec{\omega}$  es la velocidad angular y es el caso de un cuerpo rígido con simetría axial (Resnick, Halliday & Krane, 2004).

Ahora bien, la relación entre la torca y el momento angular está dada por:

$$\sum \vec{\tau} = \frac{d\vec{L}}{dt} . \quad (6)$$

Donde  $\frac{d\vec{L}}{dt}$  es la tasa de cambio en el tiempo del momento angular y  $\sum \vec{\tau}$  es la torca neta externa. Se puede deducir de la ecuación (6) que cuando la torca neta externa es cero, el momento angular del cuerpo no varía en el tiempo.

Según la ecuación (5), se da entonces que dado  $\vec{L}$  constante, un cambio en  $I$  se reflejará en un cambio inversamente proporcional en  $\vec{\omega}$ . La conservación del momento angular se trabaja en el prototipo con el caso de los giros de Ballet y cómo, para el momento en que se conserva el momento angular ( $L$ ) en el giro, modificar la posición de varias partes del cuerpo genera cambios en el momento de inercia ( $I$ ) que a su vez inciden en la velocidad angular ( $\vec{\omega}$ ).

### III. METODOLOGÍA

El presente trabajo se enmarca en la metodología de la investigación basada en diseño (IBD). Para esto se ajusta el esquema de etapas (De Benito y Salinas, 2016) a las siguientes: ubicación del problema; fundamento teórico; definición del objetivo; plan de trabajo interdisciplinario; elaboración de un guion del contenido físico; validación del contenido físico y producción del material.

Ubicación del problema: el trabajo se origina en una necesidad de la cátedra de Física de la Universidad Estatal a Distancia (UNED), en Costa Rica. Esta cátedra ofrece cursos de física a las carreras de Enseñanza de las Ciencias Naturales, Ingeniería Agronómica, Ingeniería Agroindustrial y Enseñanza de la matemática. Con una población de mayoría femenina, se busca realizar una propuesta que tome en cuenta el enfoque de género. Dado que se conoce del trabajo realizado por el FabLabKättrare, como espacio Maker de la UNED con Realidad Virtual y esta tecnología está en auge en la educación y tiene ciertas características que le generan gran potencial para la educación a distancia, se decide incursionar en esa tecnología.

Fundamento teórico del proyecto: La fundamentación teórica se da en torno a la enseñanza de la física desde el aprendizaje basado en juegos, la realidad virtual para la enseñanza de la física, así como el enfoque de género para enseñar ciencias y la educación CTIAM como base para desarrollar temas de mecánica rotacional desde el ballet.

Definición del objetivo: Se definen los objetivos de la investigación, dentro de las posibilidades reales de la investigadora y el equipo de trabajo, limitando el proceso a desarrollar el material, más no a probarlo con población estudiantil.

Plan de trabajo interdisciplinario: Se expuso la idea al contacto del FabLab Kättrare, programador, quien conforma un equipo de trabajo integrado por un programador, un productor audiovisual y un ingeniero industrial que trabaja en animación. A este equipo se suman una bailarina de ballet estudiante de Física así como una bailarina dispuesta a supervisar la coreografía.

Se elabora un plan de trabajo que consiste en: 1. Reuniones para negociar características del prototipo. 2. Elaboración de un guion técnico. 3. Validación del guion. 4. Grabación del material en el Teatro Nacional de Costa Rica (TNCR). 5. Programación del prototipo.

Elaboración de un guion del contenido físico: Se produce un guion sobre los contenidos a desarrollar con todo el vocabulario y las ecuaciones necesarias. Se detalla cada palabra a ser leída, qué animaciones incluir y cómo presentar las ecuaciones.

Validación del contenido físico: Con una especialista doctora en física y con trayectoria artística como bailarina de ballet.

Producción del material: Como equipo interdisciplinario, se adapta el guion físico a uno técnico. Se realiza la grabación en el TNCR con la cámara 360°. El equipo del FabLab se centra posteriormente en la programación, animación y desarrollo del prototipo.

#### IV. RESULTADOS

Se produjo un prototipo de aplicación, para celular inteligente, llamada “Física del ballet”. Se descarga en el celular y puede correrse en Android sin necesidad de internet. Con un visor de realidad virtual en el que colocar el dispositivo móvil, se logra tener una experiencia inmersiva, educativa y lúdica. Todo ambientado en una imagen 360° desde el escenario del TNCR, donde se mueve la mirada (mediante el visor) por todo el entorno pudiendo visualizar a una bailarina con animaciones de efectos, áreas, ecuaciones, así como una coreografía o el TNCR en 360°. El prototipo producido se presenta de la siguiente forma:

- Introducción: Narración con voz en off sobre una bailarina de Ballet que estudia Física y demostrará aspectos que tienen en común ambas disciplinas, mientras se la observa pasar entre las butacas y subir al escenario.
- Pantalla de Menú: Incluye los tres elementos (Teoría, Observación, Juego) de cada Módulo (*Balancés* y Giros). Se elige la opción a abrir moviendo la cabeza con el visor para colocar el cursor sobre la palabra.
- Créditos: Fotografía 360° de las personas involucradas directamente en la producción del material para el momento en que se grabó en el ambiente del TNCR.

El orden en que se experimenta con las partes de los módulos es libre, por lo que puede adaptarse a diversas metodologías de enseñanza. Podría ser utilizado en procesos constructivistas donde se empiece por jugar y experimentar con la situación de estudio (el equilibrio estático o el girar) o bien observar una coreografía de Ballet de la que se destacan con animaciones ciertos elementos, para dar pie a una reflexión e investigación posterior apoyada por el espacio de Teoría, construyendo así el propio conocimiento.

La opción de Juego reúne las características de las actividades de aprendizaje recopiladas por Bedwell *et al.* (2012) para ser considerada un juego: Se incluyen frases retadoras como lenguaje de acción, se brinda retroalimentación sobre el logro o no de la meta, se brindan retos, la persona usuaria controla lo que sucede, se ambienta en el TNCR, con cierta narrativa sobre una bailarina que estudia Física, la experiencia es inmersiva y existen reglas. Se espera así que el prototipo tenga el potencial de motivar y cautivar.

##### A. *Balancés* y centro de gravedad

El Módulo de *Balancés* se centra en la definición de centro de masa y cómo se utiliza este concepto físico para mantener el equilibrio estático en los *balancés*.

En el espacio de Teoría se define el concepto, animando adonde se ubica este punto en el cuerpo de una bailarina y como este se desplaza al ella moverse, así como su aplicación al Ballet para describir el movimiento parabólico de un cuerpo en un *grand jetté* y al concepto de equilibrio cuando se combina con el de área de soporte en Ballet. En el espacio de Observación se visualiza una coreografía en un ambiente inmersivo en 360° con ciertos elementos animados.

En el espacio de Juego se puede interactuar con la aplicación en un reto que consiste en mantener el equilibrio durante 5 segundos en las posiciones de Ballet que van apareciendo en pantalla. La aplicación interpreta como pérdida de equilibrio cuando el visor se sale de un área circular animada en el escenario. Se tienen hasta dos oportunidades para lograr el reto. Se asigna un puntaje en función de la cantidad de posiciones logradas sin perder el equilibrio, dos puntos si se logra en el primer intento y uno si es en el segundo.



**FIGURA 1.** Se muestran varias imágenes capturadas del Juego del Módulo Balancés. Las instrucciones se visualizan en un primer recuadro. En el segundo se observa el primer reto con la primera posición a mantener en equilibrio durante 5 segundos (Segunda posición en *relevé* con brazos a los lados), los siguientes retos se presentan como puntos de interrogación. En el tercer cuadro se puede observar el último de los cinco retos (*arabesque*) y el cronómetro en 2 segundos con el visor aún dentro del área circular. En el cuarto cuadro se presentan los Resultados obtenidos de cada intento de los cinco retos y el puntaje total obtenido.

### B. Giros y conservación del momento angular

En el espacio de teoría de este módulo, se define momento de inercia como la forma en que la masa de un cuerpo se distribuye en el espacio en torno a un eje de rotación. Se detalla cómo los cambios en la posición de una bailarina generan modificaciones en el momento de inercia utilizando animaciones para ilustrar la distancia del eje de rotación y sus variaciones. Se hace referencia al torque y su rol determinante en que una persona realice un giro de ballet, así como la relación entre la cuarta posición que suele utilizarse para iniciar giros y el brazo de palanca. Se utiliza el potencial estético del *fouetté* para exponer como, una vez girando, si el momento de inercia se conserva, la bailarina extiende brazos o piernas para incrementar su momento de inercia y disminuir su velocidad angular y viceversa. El espacio de observación consiste en una coreografía de ballet donde se incluyen varios giros en los que se anima cierto efecto estético.

El juego para este módulo consiste en poner a girar la visión y que la persona pueda decidir si desea extender sus brazos para frenar el giro (disminuir su velocidad angular) o bien acercarlos al cuerpo para acelerar (incrementar su velocidad angular).



**FIGURA 2.** Se muestran las instrucciones para el juego del módulo de giros que consisten en: elegir el triángulo circulado para iniciar a girar, colocar el visor sobre el ícono con brazos cerrados sobre el pecho para frenar, el de brazos abiertos para acelerar y el de brazos a los costados para detenerse por completo. En el cuadro a la derecha se pueden visualizar los tres íconos con las butacas del TNCR al fondo, como se mira el ambiente mientras gira la visión.

El prototipo es un material didáctico de carácter inmersivo que puede experimentarse con varios sentidos: vista, oído, incluso sentido de orientación, enriqueciendo la comprensión de los contenidos abordados no solamente desde lo cognitivo. Incluso podría considerarse la opción de juego como una actividad práctica ya que requiere de una interacción con el entorno en la que la persona usuaria manipula ciertas variables para obtener resultados diferentes. En el caso del equilibrio manipula en teoría la ubicación de su centro de gravedad sobre su área de soporte para mantenerse estático y en el caso de los giros es el momento de inercia el que simbólicamente se modifica al abrir o cerrar los brazos con los comandos.

## V. CONCLUSIONES

El presente trabajo tiene como principal logro haber producido un prototipo de realidad virtual para enseñar contenidos de mecánica rotacional en el ballet con tecnología de punta. Mediante una experiencia inmersiva de video 360° filmada en el TNCR, se genera un material con características tanto educativas como lúdicas, que podría ser utilizado desde el aprendizaje basado en juegos combinando arte y ciencia como lo propone la educación CTIAM.

El enfoque de género en la enseñanza de las ciencias se evidencia en el prototipo en la temática elegida (áreas feminizadas del saber), el destaque de las vocaciones científicas en jóvenes mujeres como la bailarina del material quien estudia física.

Se realiza un importante aporte a la enseñanza de la física bajo el modelo de educación a distancia por las características de una aplicación de realidad virtual que se puede descargar en celulares inteligentes con Android y luego experimentar de manera sincrónica y a distancia.

Se logra evidenciar el potencial de la metodología de investigación basada en diseño para generar materiales didácticos basados en tecnología. Así como la relevancia de los espacios Maker como el FabLab Kättrare para la generación de este tipo de recursos educativos, donde se logran los objetivos únicamente gracias al trabajo interdisciplinario de múltiples personas.

Una limitación de la investigación fue la imposibilidad de probar el prototipo con población estudiantil debido a dificultades para obtener permisos de uso de los audios y a la pandemia por covid-19 que ha dificultado poder reunir estudiantes en un espacio donde se les faciliten los visores de realidad virtual. Se recomienda continuar con la validación del uso del prototipo para así integrar las mejoras necesarias como la investigación basada en diseño lo establece, así como continuar incursionando en la realidad virtual para enseñar física en modelos de educación a distancia.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Universidad Estatal a Distancia de Costa Rica por el apoyo brindado, al equipo de coordinación de la Maestría Científica en Física Educativa del Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada, Unidad Legaria del IPN México por el impulso para trabajar en este proyecto. Así como al equipo del FabLab Kättrare que hizo posible la existencia del proyecto y del prototipo.

## REFERENCIAS

- Al-Azawi, R., Al-Faliti, F. y Al-Blushi, M. (2016). Educational Gamification Vs. Game Based Learning: Comparative Study. *International Journal of Innovation, Management and Technology*, 7(4), 132-136. doi: 10.18178/ijimt.2016.7.4.659
- Álvarez-Lires, F., Arias-Correa, A., Serrallé, J.F. y Varela, M. (2014). Elección de estudios de ingeniería: Influencia de la educación científica y de los estereotipos de género en la autoestima de las alumnas. *Revista de Investigación en Educación*, 12(1), 54-72.
- Aznar-Díaz, I., Romero-Rodríguez, J.M., y Rodríguez-García, A.M. (2018). La tecnología móvil de Realidad Virtual en educación: una revisión del estado de la literatura científica en España. *EDMETIC, Revista de Educación Mediática y TIC*, 7(1), 256-274, doi: <https://doi.org/10.21071/edmetic.v7i1.10139>
- Bedwell, W., Pavlas, D., Heyne, K., Lazzara, E. y Salas, E. (2012). Toward a Taxonomy Linking Game Attributes to Learning: An Empirical Study. *Simulation & Gaming*, 20(10), 1-32. DOI: 10.1177/1046878112439444
- Bian, L: Leslie, S. y Cimpian, A. (2017): Gender stereotypes about intellectual ability emerge early and influence children`s interests. *Science*, (6323) , 389-391. Doi: 10.1126/science.aah6524
- Bonwell, C. y Eison, J. (1991). Active Learning: Creating Excitement in the Classroom. The George Washington University, School of Education and Human Development. doi:10.1017/S1049096513001145
- Camacho, J. (2017). Identificación y caracterización de las creencias de docentes hombres y mujeres acerca de la relación ciencia – género en la educación científica. *Estudios Pedagógicos*, 43(3), 63-81.
- Cantero, B. (2016). Inclusión del género en la enseñanza de las ciencias (tesis doctoral). Universitat Autònoma de Barcelona, España. (Tesis doctoral). Recuperado de <https://ddd.uab.cat/record/166152>
- Carlés, A.A. (2012). *Coreógrafas, directoras y pedagogas: la contribución de la mujer al desarrollo del Ballet y los cambios de paradigmas en la transición al s. XXI*. Universidad Politécnica de Valencia, España. Recuperada de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/21066/tesisUPV4013.pdf>

Chen, V. (2017). Are Active Learning Classrooms Authentic Learning Environments? An Examination of Students' and an Instructor's Lived Experiences in an Active Learning Classroom (tesis doctoral). Queen's University, Canadá. Recuperado de [https://qspace.library.queensu.ca/bitstream/handle/1974/23790/Chen\\_Victoria\\_201712\\_PhD.pdf?sequence=2](https://qspace.library.queensu.ca/bitstream/handle/1974/23790/Chen_Victoria_201712_PhD.pdf?sequence=2)

Corfo & Fundación Chile (2017). Preparando a Chile para la sociedad del conocimiento. Recuperado de [http://ww2.educarchile.cl/UserFiles/P0001/Image/portal/documentos/STEM\\_FCh\\_digital.pdf](http://ww2.educarchile.cl/UserFiles/P0001/Image/portal/documentos/STEM_FCh_digital.pdf)

De Benito, B., Salinas, J. (2016). La Investigación Basada en Diseño en Tecnología Educativa, *Revista Interuniversitaria de Investigación en Tecnología Educativa*, 0, 44-59. DOI: <http://dx.doi.org/10.6018/riite/2016/260631>

Díaz, F., Gonorazky, S. y Marzano, V. (2008). "Las mujeres manejan mal y no saben ni cambiar la rueda pinchada" alcances y consecuencias del sexismo en las clases de física. En Bender, G., Reynoso, L. y Sztrajman, J., *III Jornadas de Educación en Física y Biofísica*. Simposio dirigido por Ciclo Básico Común Universidad de Buenos Aires, Argentina. Recuperado de [https://www.researchgate.net/profile/Sonia\\_Gonorazky/publication/236877836\\_Fisica\\_y\\_Sexismo\\_en\\_las\\_clases\\_universitarias/links/0deec519d2b723aca5000000/Fisica-y-Sexismo-en-las-clases-universitarias.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Sonia_Gonorazky/publication/236877836_Fisica_y_Sexismo_en_las_clases_universitarias/links/0deec519d2b723aca5000000/Fisica-y-Sexismo-en-las-clases-universitarias.pdf)

Eljaiek, H. (2015). *Cuerpo y sujeto político en el Ballet*. (tesis de maestría). Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá. Recuperado de <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/6271/1/EljaiekAvenida%C3%B1oHernandoJose2015.pdf>

Else, H. (2019, 19 de febrero). Nearly half of US female scientists leave full-time science after first child. *Nature*. doi: 10.1038/d41586-019-00611-1

Ghanbari, S. (2015). Learning across disciplines: A collective case study of two university programs that integrate the arts with STEM. *International Journal of Education & the Arts*, 16(7). Recuperado de <http://www.ijea.org/v16n7/> el 10 de marzo, 2019.

Gottfried, M., Owens, A. Williams, D., Yon, H. y Musto, M. (2017). Friends and Family: A Literature Review on How High School Social Groups Influence Advanced Math and Science Coursetaking. *Education policy analysis Archives*, 25(62), 1-23. doi: <http://dx.doi.org/10.14507/epaa.25.2857>

Heerdt, B. y Batista, I.d.L. (2017). Representaciones sociales de ciencia y género en la enseñanza de las Ciencias. *Práxis Educativa*, 12(3), 995-1012. doi: 10.5212/PraxEduc.v.12i3.017

Landers, R. (2015). Developing a Theory of Gamified Learning. *Simulation and Gaming*, 45(6), 752-768. DOI: 10.1177/1046878114563660

Laws, K. (2008). *Physics and the Art of Dance (2nd edition)*. Nueva York: Oxford University Press.

Laws, P. Sokoloff, D. y Thornton, R. (1999). Promoting Active Learning Using the Results of Physics Education Research. *UniServe Science News*, 13, 14-19. Recuperado de [http://sydney.edu.au/science/uniserve\\_science/newsletter/vol13/sokoloff.html](http://sydney.edu.au/science/uniserve_science/newsletter/vol13/sokoloff.html)

National Academies of Science Engineering and Medicine. (2018). *Sexual Harassment of Women: Climate, Culture, and Consequences in Academic Sciences, Engineering, and Medicine*. Recuperado de <https://www.nap.edu/download/24994>

Obrist, B. & Martínez, E. (2015). *Aplicación de la Realidad Virtual en una experiencia de aprendizaje*. X Congreso sobre Tecnología en Educación & Educación en Tecnología, Paraguay. Recuperado de [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/49065/Documento\\_completo.pdf?sequence=1](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/49065/Documento_completo.pdf?sequence=1)

Observatorio de innovación educativa. (2017). *Realidad Aumentada y Virtual*. Recuperado de <https://observatorio.tec.mx/edu-trends-realidad-virtual-y-realidad-aumentada>

Pho, A. y Dinscore, A. (2015). Game-Based Learning. *Tips and Trends*, spring 2015. Recuperado de <https://acrl.ala.org/IS/wp-content/uploads/2014/05/spring2015.pdf>

- Quigley, C., Herro, D. y Jamil, F. (2017). Developing a Conceptual Model of STEAM Teaching Practices. *School Science and mathematics*, 117(1-2), 1-12. Doi: 10.1111/ssm.12201
- Resnick, R. Halliday, D. & Krane, K. (2004). *Física (4a ed)*. México: CECSA
- Santamaría, L. y Mendoza, J.F. (2010). Realidad Virtual: Potencial Educativo. *Ingenio Magno*, 1(1). Recuperado de <http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/ingeniomagno/article/view/12/12>
- Savage, C., Searle, A. C. y McCalman, L. (2006). Real Time Relativity. Recuperado de [www.anu.edu.au/Physics/Savage/RTR](http://www.anu.edu.au/Physics/Savage/RTR)
- Smith, G. (2015). Combining Physical and Virtual Laboratories: Effects of perceptual features of Science Laboratory Environments on learners' Conceptions. (tesis doctoral). University of Winsconsin-Madison, Estados Unidos de América.
- Suárez, J.C. (2017). Pulsating stars and the Virtual Observatory. *EPJ Web of Conferences*, 152. Doi: 10.1051/epjconf/201715202009
- Turrión, E. (2019, 23 de febrero). Las mujeres que están destapando la cultura del acoso en la ciencia. *Tercera Vía*. Recuperado de <http://terceravia.mx/2019/02/las-mujeres-que-estan-destapando-la-cultura-del-acoso-en-la-ciencia/>
- UNESCO. (2019). Descifrar el código: La educación de las niñas y las mujeres en ciencias, tecnología, ingeniería y matemáticas (STEM). Recuperado de <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000366649>
- Wang, F., Hannafin, M.J. (2005). Design-based research and technology-enhanced learning environments. *Educational Technology Research and Development*, 53(4), 5-23. DOI: 10.1007/BF02504682
- Young, H. y Freedman, R. (2013). *Física Universitaria Sears y Zemansky*. Ciudad de México: Pearson.
- Zapatero, D. (2011). La realidad virtual como recurso y herramienta útil para la docencia y la investigación. *Revista Iberoamericana de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología*, 6, 17-23. Recuperado de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/14205>