

Retroalimentación Háptica como medio para el aprendizaje encarnado del concepto de fuerza en la asignatura de Física en la educación secundaria obligatoria en España

Francia Andrea Castellanos Ortíz

Máster en Psicología de la Educación



MÁSTERES
DE LA UAM
2019 – 2020

Facultad de Psicología

TRABAJO FIN DE MÁSTER

“Retroalimentación Háptica como medio para el aprendizaje encarnado del concepto de fuerza en la asignatura de Física en la educación secundaria obligatoria en España”.

“Haptic Feedback as a means for the embodied learning of the concept of force in the subject of Physics in compulsory secondary education in Spain”.

Máster Oficial en Psicología de la Educación

Autor: FRANCIA ANDREA CASTELLANOS ORTIZ

Tutora: M^a DEL PUY PÉREZ ECHEVERRÍA

Curso académico de la defensa: 2019/2020

Tabla de contenido

1. Introducción	5
2. Marco Teórico	5
2.1 Dificultades en el Aprendizaje del Concepto de Fuerza en la Física.....	5
2.2 Háptica y Aprendizaje General de las Ciencias y la Física.....	9
2.3 Función Epistémica de la Háptica en el Aprendizaje de la Física	13
2.4 Retroalimentación Háptica y Práctica Experimental en la Física	17
3. Propuesta de Investigación	19
3.1 Objetivos.....	21
3.2 Metodología.....	21
3.3 Instrumentos	22
3.3.1 Dispositivo e Interfaz Háptica	22
3.3.2 Diseño de las Actividades de la Interfaz Visual-Háptica	23
3.3.3 Cuestionario Fuerza	24
3.3.4 Guía Explicitación de la Experiencia Visual-Háptica	26
3.3.5 Encuesta de Usabilidad	28
3.4 Procedimiento.....	29
3.4.1 Grupo 1. Interacción con la Interfaz Visual-Háptica y Explicitación Individual.....	29
3.4.2 Grupo 2. Interacción con la Interfaz Visual sin Háptica y Explicitación Individual	30
3.4.3 Grupo 3. Control.....	32
3.5 Análisis de Datos	33
4. Limitaciones y Futuras Líneas de Investigación.....	33
5. Referencias.....	36

Anexos

Anexo 1. Propuesta de Diseño de Experiencia Perceptual Háptica.....43

Anexo 2. Cuestionario (pretest- postest).....51

Anexo 3. Cuestionario Explicitación de la Experiencia56

Anexo 4. Encuesta de Usabilidad64

Anexo 5. Folleto Experiencia de Aprendizaje Háptica66

Resumen

El análisis de las dificultades en el aprendizaje de las ciencias ha permitido identificar que los estudiantes presentan ideas previas sobre la naturaleza y los fenómenos científicos que, en parte, por su origen sensorial profundamente encarnado, persisten aunque los alumnos aprueben los diferentes cursos académicos. Gran número de investigaciones en Física se ha interesado en la enseñanza del concepto de fuerza por su importancia en el currículo y los obstáculos en la comprensión de su acepción básica, lo cual ha requerido el ajuste e innovación en las didácticas de enseñanza, motivando, entre otras cosas, la adaptación de dispositivos hápticos (táctiles) capaces de simular interacciones en entornos virtuales con retroalimentación de fuerza. En el presente documento se realiza una propuesta de investigación cuasi-experimental, que tiene por objetivo estudiar la experiencia perceptual del diseño sensorial háptico como un recurso para la enseñanza-aprendizaje del concepto de fuerza, en una muestra de 90 estudiantes de 12-13 años que se encuentran en 2º de la Educación Secundaria Obligatoria. Se espera que los resultados del estudio demuestren que (a) la háptica facilita la identificación de las fuerzas presentes en una interacción (b) contribuye a la interpretación de la fuerza como un agente independiente a las propiedades de los objetos y (c) favorece el aprendizaje de la tercera ley de Newton.

Palabras clave: Háptica, Educación Científica, Ideas Previas, Aprendizaje de la Física, Concepto de Fuerza.

Abstract

The analysis of the difficulties in learning science has identified that students present previous ideas about nature and scientific phenomena that, in part, because of their profoundly incarnated sensory origin, persist even though students approve of the different academic courses. A great deal of research in Physics has been interested in the teaching of the concept of force because of its importance in the curriculum and the obstacles in understanding its basic meaning, which has required adjustment and innovation in teaching practices, motivating, among other things, the adaptation of haptic (tactile) devices capable of simulating interactions in virtual environments with force feedback. In this document a quasi-experimental research proposal is made, which aims to study the perceptual experience of haptic sensory design as a resource for teaching-learning the concept of force, in a sample of 90 students aged 12-13 years who are in 2nd year of Obligatory Secondary Education. The results of the study are expected to demonstrate that (a) haptics facilitates the identification of the forces present in an interaction (b) contributes to the interpretation of force as an agent independent of the properties of objects and (c) favours the learning of Newton's third law.

Key words: Haptic, Scientific Education, Previous Ideas, Physics Learning, Concept of Force.

1. Introducción

Las concepciones espontáneas que los seres humanos construyen sobre el mundo, son producto en gran medida de experiencias sensorperceptivas, desde las cuales se realizan inferencias causales y se confiere significado a las actividades que se desarrollan en la cotidianidad. Estas ideas son validadas y aceptadas implícitamente, consolidando un conocimiento intuitivo que prevalece sobre otras concepciones estructuradas y simbólicas, como las propias del aprendizaje de los contenidos de las ciencias (véase, Carrascosa, 2005; Pinto, Alibeiras y Gómez, 1996; Pozo y Gómez, 2004).

En la enseñanza de la Física se ha identificado que estas concepciones dificultan el aprendizaje de conceptos como la fuerza, debido a que son opuestas a los criterios científicos y en parte a que su estructura y coherencia interna facilita que persistan a pesar de varios años de instrucción formal en la asignatura (Pozo y Gómez, 2014). Los conocimientos previos sobre la fuerza han sido ampliamente estudiados y documentados dada su relevancia en ramas de la Física como la mecánica clásica, por lo que, presentan un papel fundamental en el currículo escolar (véase, Gómez, 2008; Mora & Benítez, 2007).

Debido a la necesidad de ofrecer nuevas posibilidades que contribuyan a superar los desafíos en el área, se propone demostrar la conveniencia de introducir información sensorial háptica en la enseñanza del concepto de fuerza, con el fin de contribuir a su aprendizaje por medio de su explicitación progresiva.

Lo anterior es posible mediante el uso de dispositivos multimodales (visual-hápticos), que permiten que los estudiantes exploren en un contexto virtual interacciones y perciban estímulos sensoriales de forma diferenciada a través del tacto activo. En las actividades de exploración en la interfaz se puede obtener información valiosa sobre las propiedades de los objetos, por tanto, la experiencia es tangible y se favorece la representación de los conceptos del “mundo inobservable”, como fuerzas, cargas, campos, entre otros, (Véase, Hamza-Lup, & Baird, 2012; Han & Black, 2011; Hancock et al, 2015).

Con el fin de considerar los diferentes aspectos que se incluyen en la propuesta, se acordó inicialmente su desarrollo de acuerdo con las fases que tradicionalmente se contemplan en investigación, sin embargo, debido a los imprevistos suscitados el presente año por la crisis sanitaria, se presentó la imposibilidad sobrevenida de cumplir con parte de la organización establecida.

2. Marco Teórico

2.1 Dificultades en el Aprendizaje del Concepto de Fuerza en la Física

Aproximadamente en la década de los setenta del pasado siglo, se empezó a conceder importancia al estudio de las dificultades que los estudiantes presentan en el aprendizaje de las ciencias. Dentro de la evolución de estas investigaciones se identificó la elevada exigencia cognitiva que demanda el estudio de conceptos abstractos, así como la presencia de concepciones previas sobre los fenómenos científicos estudiados resistentes al cambio (Pozo, 2014).

En los seres humanos, estas concepciones se encuentran presentes en forma de teorías implícitas, principalmente en los temas que demandan un interés particular en contexto, dado que cumplen

una función adaptativa al facilitar la predicción y control de los eventos diarios, al tiempo que permiten disminuir la incertidumbre frente a los sucesos que son difíciles de comprender y que requieren en ocasiones respuestas inmediatas (Pozo, 2014; Pozo y Gómez, 2004). Aunque son funcionales en la cotidianidad, con frecuencia constituyen una fuente de error cuando se transfieren al aprendizaje de áreas específicas del conocimiento científico, siendo diametralmente opuestas a la estructura de asignaturas como la Física que se imparten en bloques de contenido que suponen altas cargas cognitivas en periodos cortos de tiempo.

En las investigaciones sobre el aprendizaje previo existen aspectos comunes a las diferentes formulaciones, que explican su resistencia al cambio, a pesar de los esfuerzos realizados por mejorar las instrucciones (véase, por ejemplo, Campanario y Otero, 2000; Hestenes, Wells & Swackhamer, 1992; Pozo y Gómez, 2004). Entre las características que presentan mayor prevalencia se encuentran:

- Son aprendidas sin distinción de edad, género, cultura y forman parte de las expresiones del lenguaje coloquial.
- Su génesis y reforzamiento se ha atribuido a experiencias cotidianas, las cuales son compartidas socialmente (familia, pares, medios de comunicación), así mismo, pueden tener su origen en metodologías o analogías incorrectas en las aulas.
- Parecen poseer una estructura y consistencia interna. Son de carácter implícito, por lo que los estudiantes no tienen consciencia de su existencia.
- Un gran número de ideas previas son elaboradas por medio de un razonamiento causal directo.
- Por lo general se encuentran indiferenciadas de otros conceptos y contextos, por lo que se presentan confusiones cuando son aplicadas a situaciones específicas.

En la enseñanza de conceptos de Física es fundamental el reconocimiento de las concepciones implícitas de los estudiantes, debido a que revelan parte de las suposiciones que tienen los alumnos sobre la naturaleza de los fenómenos estudiados y a partir de las cuales, realizan sus interpretaciones y construyen hipótesis que afectan la comprensión de los contenidos. En este aspecto la fuerza ha sido ampliamente estudiada (véase, por ejemplo, Moreira, 1994; Regales y Matachana, 2008), no solo por su relevancia científica, también por su importancia histórica, puesto que, desde su formulación Aristotélica hasta el actual marco de conocimiento, es un ejemplo para los alumnos sobre como nociones semejantes a sus conocimientos intuitivos han evolucionado y constituyen los cimientos de la Física contemporánea (Rivera-Juárez, Vargas y Cabrera-Muruato, 2018).

El aprendizaje de la fuerza aparece como uno de los temas introductorios de la Física en el segundo curso de Educación Secundaria Obligatoria (2ºESO), que corresponde a estudiantes de doce a trece años (BOE, 2015) con el título "El movimiento y las fuerzas". En términos generales se plantean como metas que los alumnos logren en este período (a) reconocer las fuerzas, sus efectos y los conceptos de aceleración, velocidad media e instantánea y (b) entender las fuerzas de la naturaleza (gravitatorias, eléctricas y magnéticas).

De acuerdo con lo anterior, el objeto del aprendizaje de la Física en la ESO se enfoca al estudio de los fenómenos cercanos a los estudiantes. Normalmente en las didácticas de clase se trabaja de forma inicial desde problemas cualitativos, que pueden ser resueltos por medio de un razonamiento teórico sin utilizar los formalismos matemáticos (Pozo y Gómez, 2004); sin embargo, la operativización de los conceptos por medio de cálculos numéricos suele ser incluida rápidamente (en algunos casos se privilegia sobre otro tipo de aprendizaje), sin verificar si los estudiantes han logrado entender los fundamentos teóricos.

En los cursos posteriores se siguen estudiando los mismos temas, pero requiriendo su transferencia a otros contextos y con un nivel avanzado de dificultad. Los docentes suponen que estos fueron revisados en los ciclos previos, sin advertir que los estudiantes aunque logran realizar cálculos para los cuales es necesario memorizar fórmulas, mantienen sus teorías implícitas desde donde orientan sus interpretaciones, sin percibir la necesidad de construir explicaciones en sus propios términos, que sean coherentes con los postulados científicos (véase por ejemplo, Regales y Matachana, 2008; Rivera-Juárez, Vargas y Cabrera-Muruato, 2018).

En el caso del concepto de fuerza, el avance en la construcción de instrumentos de evaluación para identificar las concepciones alternativas de los estudiantes, evidencia una grave y general incompreensión tanto en su acepción básica como en los principios de la dinámica (Hestenes, Wells & Swackhamer, 1992²). Algunas de las ideas previas (IP) identificadas sobre el concepto general de fuerza y la tercera ley de Newton que con mayor frecuencia se encuentran en los alumnos, se relacionan con concebir las fuerzas como una parte constitutiva (intrínseca) de los objetos. Al establecer una asociación entre fuerza y movimiento, los estudiantes asumen que un objeto “posee” fuerza mientras se mueve y va perdiéndola hasta que se para (Pozo y Crespo, 2004).

Asimismo, debido a que no conciben las posibles interacciones en los diferentes escenarios o “problemas” que se les plantean, no logran identificar las fuerzas, por lo que asumen que existe una fuerza de acción sobre un objeto en particular, que depende exclusivamente del “cuerpo” que realiza la acción o confunden las fuerzas con la acción que provocan (deformación, cambio de movimiento, etc.). Frecuentemente los alumnos avanzan en los cursos hacia temas más complejos sin haber resuelto los malentendidos en los axiomas básicos, por lo que al continuar hacia el estudio de la dinámica de Newton los desafíos en la comprensión se incrementan (Driver, Guesne y Tiberghien, 1992).

Respecto a la tercera ley de la dinámica, se identifica que los estudiantes consideran que primero ocurre la acción de un objeto sobre otro y posteriormente la reacción que se produce. Se observa un sesgo de dominancia de las características externas de los objetos en donde el más grande o más rápido produce más fuerza (Pozo y Gómez 2004), o se entiende la fuerza como una característica de seres vivos o de

² El *Forcé Concept Inventory* (Hestenes, Wells & Swackhamer, 1992) es el cuestionario que se sugiere utilizar en la presente propuesta, posee una adaptación al castellano (Macia-Barber, 1995) y se encuentra diseñado con el objetivo de reconocer el balance entre las respuestas que provienen de las concepciones previas y las del aprendizaje formal de la física. Se usa principalmente para identificar el impacto de las estrategias de enseñanza en el aprendizaje del concepto de fuerza.

objetos animados (en movimiento). Estas ideas se oponen radicalmente al marco teórico de la interacción de sistemas en la instrucción formal, en donde se propone que:

- Las fuerzas son una medida de interacción. Las fuerzas son acciones (agentes, entes) sobre un cuerpo, que resultan de su interacción con otros, que pueden producir su deformación y que influyen sobre su movimiento (Iparraguirre, 2009).
- La interacción es mutua y simétrica (tercera Ley de la Dinámica).
- Cuando un cuerpo para, es porque actúa una fuerza contra el movimiento. Esta premisa produce dificultades debido a que en la cotidianidad se observa que siempre es necesaria la aplicación de una fuerza para iniciar un movimiento, pero debe recordarse que también puede ser necesaria para detener un cuerpo en movimiento (Iparraguirre, 2009).
- Cuando en un objeto no actúan fuerzas o se encuentran en equilibrio, permanece en reposo o sigue en movimiento a velocidad constante y en línea recta.

En las didácticas es frecuente que se trabaje de forma superficial la parte conceptual y en algunos casos no se menciona una definición en concreto sobre la fuerza, debido a que se introduce rápidamente las magnitudes vectoriales, para dar paso a los aspectos cuantitativos, sin facilitar a los estudiantes los recursos necesarios para conformar un “*campo fenomenológico*” coherente con las propuestas de la ciencia.

En la heterogeneidad de los métodos empleados en el aula existen herramientas que pueden ser en ciertos casos más útiles que otras, no obstante, aunque en este campo hay variedad de propuestas para trabajar las ideas previas, los resultados no han sido alentadores (Hewson, 1990). Debido a estas dificultades se ha visto la necesidad de hacer más accesible la Física que se enseña en la educación obligatoria, por lo que, desde diferentes enfoques se propone involucrar la experiencia corporal de los aprendices (sensopercepción) como un elemento clave para favorecer los procesos de formalización de los fenómenos físicos (Han & Black, 2011).

Para este propósito se han considerado los dispositivos tecnológicos táctiles como una herramienta útil para enriquecer y formalizar la experiencia sensomotriz (Vicovaro, 2014), dado que, en el diseño de entornos virtuales hápticos, es posible que los alumnos detecten las fuerzas sobre su propio cuerpo, como si estuvieran sujetos a ellas.

Gran parte del éxito de la adopción de una nueva tecnología depende de la planeación pedagógica frente a los objetivos epistémicos que se quieren alcanzar (de Aldama y Pozo, 2019), por lo que, la mediación para explicitar la experiencia es fundamental. No se considera que estas innovaciones por sí mismas puedan tener un valor en el contexto educativo, por lo tanto, en las siguientes páginas se exponen algunas variables a tener en cuenta para su uso.

2.2 Háptica y Aprendizaje General de las Ciencias y la Física

El término "háptica" (del griego háptō/haptesthai, capaz de tocar y agarrar) fue introducido por Revesz (1950) para describir la percepción de las variaciones en los estímulos de la piel, articulaciones y músculos en la interacción en el contexto (Gibson, 1966). La información háptica se percibe a través del contacto y la posición del cuerpo en relación con el mundo externo, permite explorar y manipular objetos y medios extrayendo información importante sobre sus cualidades (textura, dureza, presión, peso, temperatura, etc.).

La propiocepción informa sobre la posición corporal estática de los músculos y la cinestesia percibe la posición del cuerpo en movimiento, juntas aluden a la parte dinámica en la interacción háptica (Carter y Fourney, 2005), la cual contribuye al aprendizaje a través del tacto activo, que se caracteriza por la ejecución de movimientos exploratorios considerados como una herramienta heurística encargada de codificar las características de los estímulos táctiles (véase, Ballesteros, 2013; Lederman & Klatzky, 1987; Srinivasan & Basdogan, 1997).

El tacto activo se especializa en detectar importantes dimensiones de los objetos por medio de la exploración. Se le ha considerado desde algunas investigaciones como un sistema de procesamiento de la información independiente y autónomo del sistema audiovisual (véase, Lederman & Klatzky, 2009; Lederman, Klatzky & Reed 1993). El tacto pasivo se refiere a la percepción estática, es decir, se aplica un estímulo, pero sin la intención de interactuar con el emisor, por lo que la persona es objeto de la acción de un estímulo no buscado (Ballesteros, 1993).

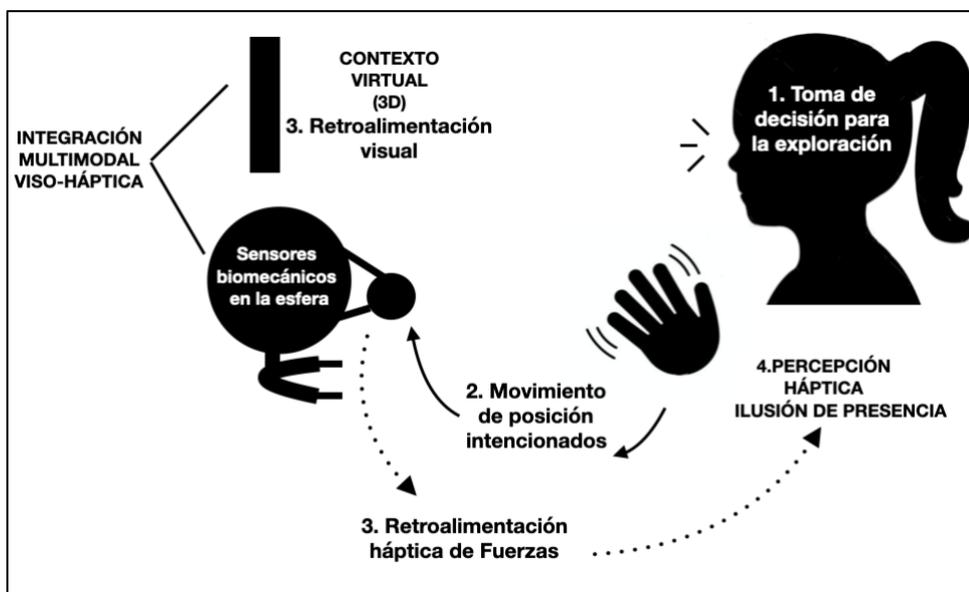
El considerar los sentidos como canales separados, es el paradigma que sustenta el diseño actual de las interfaces hápticas (Gumtau, 2012). Los dispositivos hápticos permiten un intercambio simultáneo de información entre el usuario y la interfaz, que proporciona una forma de recrear el sentido del tacto, retroalimentando información sobre variables como fuerzas, peso, masa, textura, contorno de los materiales, temperatura, etc. (ver figura 1). Esas variables provienen del medio en que se simula y del propio cuerpo del sujeto que debe realizar la actividad exploratoria (Ariza & Santís-Chaves, 2016). La información puede ser percibida por dígito-presión que informa sobre la forma de los objetos y cinestesia que comunica sobre el movimiento y el sentido vibratorio que se percibe en piel o articulaciones (Ballesteros, 2013).

Se denomina retroalimentación de fuerza (*Force Feedback*) al sistema compuesto por un motor eléctrico que permite al dispositivo háptico simular sensaciones en la manipulación de objetos en la interfaz. La vibración que emite el dispositivo actúa según diversos patrones y recrea estímulos táctiles (Srinivasan & Basdogan, 1997). La frecuencia de la vibración es proporcional a la velocidad del motor, la cual define la tensión de la retroalimentación, por ejemplo, la presión en la piel es una vibración a una frecuencia elevada, por lo que, dependiendo de la zona de presión y la intensidad es posible reproducir patrones interpretables como toques, tensión, dureza, salpicaduras, formas, entre otros (Srinivasan & Basdogan, 1997).

El término “Interfaz Háptica” se refiere a los dispositivos que proporcionan al usuario la posibilidad de sujeción y exploración de elementos virtuales, permitiendo su manipulación, inserción, contacto, restricciones de superficie y movimiento controlado, entre otras posibilidades, en una interacción de “transferencia bidireccional” de información en tiempo real (Neri et al., 2015).

En la mayoría de los casos esta interacción se logra por medio de un ordenador que presenta un control físico externo que se acopla al simulador o dispositivo háptico. Su diseño por lo regular está compuesto por una palanca que permite manipular objetos dentro del escenario de simulación en la pantalla y recibir retroalimentación háptica asociadas en displays 3D y dispositivos de sonido 3D estéreo. La interacción con el dispositivo se establece de la siguiente manera:

Figura 1. Interacción del Estudiante con la Interfaz Multimodal.



En la actualidad la háptica también hace alusión al campo de la industria del entretenimiento, principalmente en el comercio de juegos inmersivos y en la investigación educativa del sentido del tacto, en donde ha demostrado ser útil en ámbitos que requieren entrenamiento en procedimientos de elevada precisión y habilidad motriz (Ariza & Santís-Chaves, 2016; Escobar et al., 2016), como en el caso de intervenciones quirúrgicas y en campos de élite, por ejemplo, en el aprendizaje de maniobras en simuladores de vuelo para pilotos (Wagner, Stylopoulos, & Howe, 2002; Turvey, Burton, Amazeen, Butwill y Carello, 1998).

En el contexto educativo el uso de la háptica se había concentrado en facilitar la percepción de elementos en diferentes escalas a nivel nano, macro y astronómico (Srinivasan & Basdogan, 1997). No obstante, en las últimas décadas ha aumentado el interés en esta tecnología, debido a su potencial para hacer tangibles conceptos abstractos de elevada complejidad en el aprendizaje de las ciencias, explorando

la posibilidad de utilizar la experiencia sensorial háptica (vinculada a las actividades tradicionales), como un medio para contribuir a la “percepción de datos científicos” (Shaikh et al., 2017).

La base que sustenta este interés es la importancia del tacto en el conocimiento sobre el mundo. El ser humano adquiere consciencia sobre su entorno y sobre sí mismo a través de sus sentidos y es por medio del tacto que se hacen tangibles las experiencias. Los estímulos que se perciben por medio de los diferentes canales sensoriales son organizados con el fin de recrear la realidad. En este proceso los individuos no necesitan aprender a tener percepciones sino a diferenciarlas, por lo que estas atraviesan un proceso de “metamorfosis” desde ser estímulos sin forma y desorganizados a ser representados de manera distinguible, sistemática y articulada.

La importancia de la experiencia perceptual en los procesos de enseñanza de la ciencia ha estado presente a lo largo de décadas, lo cual en parte ha dado lugar a la experimentación en las didácticas de asignaturas como la Química y Física. Así mismo, el aumento del interés ha sido debido a los avances en los llamados enfoques postcognitivos (Gomila y Calvo, 2008), entre los que destacan las variantes encarnada, enactiva, encajada y extendida (4E) (Rowlands, 2010), que sugieren a grandes rasgos que el pensamiento y el conocimiento surgen de interacciones dinámicas entre el cuerpo y el mundo físico, por lo que es posible que los estudiantes aprendan mejor cuando se les permite representar las tareas desde acciones corporales concretas en el contexto (véase, por ejemplo, Barsalou, 2008; Lakoff y Johnson, 1999; Smith y Gasser, 2005).

Para Clark (1999) el entorno debe ser usado activamente en la cognición y por ende debe darse la oportunidad al estudiante de situarse y actuar en contexto, con el fin de proporcionar lo que Thagard (2008) denomina un “anclaje real”. En este marco de referencia la percepción debe entenderse como experiencia sensoriomotora, dado que no es algo que se tiene, sino algo que se hace con el cuerpo (Clark, 1999). Desde esta postura el entorno escolar debe ser repensado para mejorar los procesos de enseñanza-aprendizaje, a favor de una pedagogía en la que sea posible integrar cuerpo y mente en la construcción del conocimiento (Nguyen & Larson, 2015), especialmente, en el aprendizaje científico, tradicionalmente organizado en sistemas arbitrarios, abstractos y amodales, desde donde se formulan, sistematizan y formalizan los fenómenos que se estudian (De Vega, Graesser & Glenberg, 2008).

En parte de las investigaciones en esta área se ha concluido que la háptica contribuye a la enseñanza y aprendizaje de conceptos básicos científicos, permitiendo a los estudiantes conectar los contenidos teóricos con los fenómenos simulados (Jones, Minogue, Tretter, Negishi y Taylor, 2006; Richard, Okamura y Cutkosky, 1997). Por ejemplo, en la Química para la comprensión de la resistencia entre dos moléculas, la evidencia indica que se entiende de forma más clara la energía de unión a través de la percepción de las fuerzas de acoplamiento simuladas, en comparación con la visualización tradicional de estos contenidos (Brooks, Ouh-Young, Battert y Kilpatrick, 1990).

En el aprendizaje de la Física se han utilizado simuladores visual-hápticos para facilitar la comprensión de conceptos que debido a su nivel de abstracción son difíciles de entender, como es el caso de los estudios del aprendizaje de fuerzas (véase, por ejemplo, Williams, Chen y Seaton, 2003; Williams,

He, Franklin y Wang, 2007), la manipulación de cargas eléctricas (Yuksel et al., 2017) y de propiedades magnéticas (véase, Hamza-Lup & Baird, 2012; Han & Black, 2011; Koul, Saha & Manivannan, 2013).

En el estudio de la construcción conceptual de fuerzas y campos magnéticos, se ha identificado que por medio de estímulos hápticos que se corresponden con las bases teóricas, los estudiantes logran construir representaciones cercanas a las de la Física formal, basados en la interacción táctil. Se infiere en el análisis que los alumnos utilizan la experiencia encarnada en los actos corporales para traducir la señal mecánica y otorgarle significado en el contexto en que se aprende (Reiner, 1999). También los resultados revelan que las simulaciones con respuesta de fuerza pueden ser más eficaces que simulaciones no hápticas y que las herramientas tradicionales para ayudar a los estudiantes a crear representaciones multimodales de los conceptos (Han y Black, 2011).

Sin embargo, no siempre se obtienen resultados significativos, investigaciones sobre conceptos electromagnéticos (Neri, et al 2015) no han encontrado diferencias en los grupos de tratamiento. Así mismo, parte de los estudios realizados (que provienen de diversos campos entre ellos ingenierías) utilizan dentro de su fundamentación teórica postulados asociados a las ciencias cognitivas, principalmente del marco conceptual de la cognición encarnada (Gibbs, 2005; Smith & Gasser, 2005; Glenberg, 1997; Lakoff & Johnson, 1999), siendo frecuente que se enuncien los fundamentos adscritos a estas teorías sin determinar las “transacciones” (Beers & Bots, 2009) que los investigadores realizaron para hacer converger los usos y significados de algunos de los conceptos empleados en función de los intereses del estudio.

En general, no se determinan de forma clara cuáles son los procesos implicados (sensoriales, cognitivos, contextuales, etc.) en el aprendizaje de las variables que se trabajan (conceptos, procedimientos y actitudes) o los mecanismos que permiten que una instrucción sea más o menos encarnada por medio de la manipulación sensomotora. Al no existir un consenso básico sobre estos temas, demanda un gran esfuerzo el compaginar los avances de las ciencias postcognitivas con el diseño de dispositivos hápticos, los diseños sensoriales y las dificultades del aprendizaje de la ciencia. Así mismo, existe el reto adicional de construir bases sólidas que permitan replantear la división jerárquica dominante entre cognición, sensopercepción y acción en el contexto educativo.

Sin embargo, a pesar de ser un desafío, la háptica puede ser considerada como una respuesta a la necesidad de nuevas propuestas metodológicas de cara a los fenómenos sociales emergentes y a las dificultades tradicionales del aprendizaje científico. Es importante considerar que recientemente se ha visto la posibilidad de crear dispositivos hápticos que están al alcance de los estudiantes de la educación obligatoria. Un par de décadas atrás estos avances eran exclusivos de la inteligencia militar, la investigación espacial o áreas altamente especializadas como la medicina, por lo tanto, su uso en el contexto educativo general constituye un paso más hacia la democratización de la tecnología.

Además, la investigación en esta área ofrece la oportunidad de cooperar con otros profesionales que estén generando iniciativas en favor de mejorar los procesos de enseñanza. Coll (2013) en el marco de la “nueva ecología del aprendizaje” reconoce la aspiración creciente a la personalización del aprendizaje, por lo que es necesario trabajar en las dificultades educativas de manera interdisciplinar,

debido a que, el escoger una visión de los retos y problemas de la enseñanza de forma parcializada o una teoría en particular en menoscabo de las demás, limita la posibilidad de entender los diversos factores y dimensiones implicadas en el contexto educativo y posiblemente ocasione retrasos en el desarrollo e innovación de las prácticas.

2.3 Función Epistémica de la Háptica en el Aprendizaje de la Física

Los dispositivos hápticos facilitan a sus usuarios experiencias táctiles en la interacción con objetos y entornos de realidad aumentada, que permiten acceder a información más allá de la percepción tradicional. Este aspecto contribuye a disminuir la incertidumbre que producen las tareas asociadas a fenómenos intangibles (Fracchia, Alonso de Armiño & Martins, 2015). Se considera que los estudiantes experimentan menos resistencia en el aprendizaje de sistemas de conocimiento compuestos por claves abstractas cuando se facilita “encarnar la experiencia”, la cual debe pasar por un proceso de redescipción para que la información implícita en la actividad pueda ser progresivamente explicitada (Karmiloff-Smith, 1994) en un lenguaje con mayor potencia representacional (Pozo, 2017), en este caso las operaciones propias de la Física.

En este proceso la guía docente es fundamental. No se puede entender la relación percepción, cognición y artefactos como una interacción unívoca (Apud, 2014), el proceso debe ser ajustado continuamente, animando al alumno a que use de forma consciente estrategias meta-cognitivas que le permitan realizar inferencias, interpretaciones y adaptar su actividad según las metas establecidas previamente.

Al fomentar la reflexión y explicitación de la experiencia, se debe mediar para que el estudiante encuentre la correspondencia entre las características de la retroalimentación háptica con los contenidos de la Física, por ejemplo, dar una instrucción típica como identificar las posibles interacciones en un entorno simulado, ofreciendo la posibilidad de manipular los objetos virtuales y sentir las fuerzas (ver anexo 2). En este proceso el aprendiz debe asumir un rol activo, lo cual constituye uno de los mayores recursos epistémicos de la háptica, al vincular directamente al estudiante en una actividad en la que deberá realizar un esfuerzo por “traducir” su percepción en pensamientos y significados congruentes con los contenidos formales. Insook Han y John B. Black (2011) investigadores en el área, han demostrado que “manipular físicamente objetos mientras se procesan conceptos abstractos es una forma de mejorar la comprensión de los alumnos” (p. 2282).

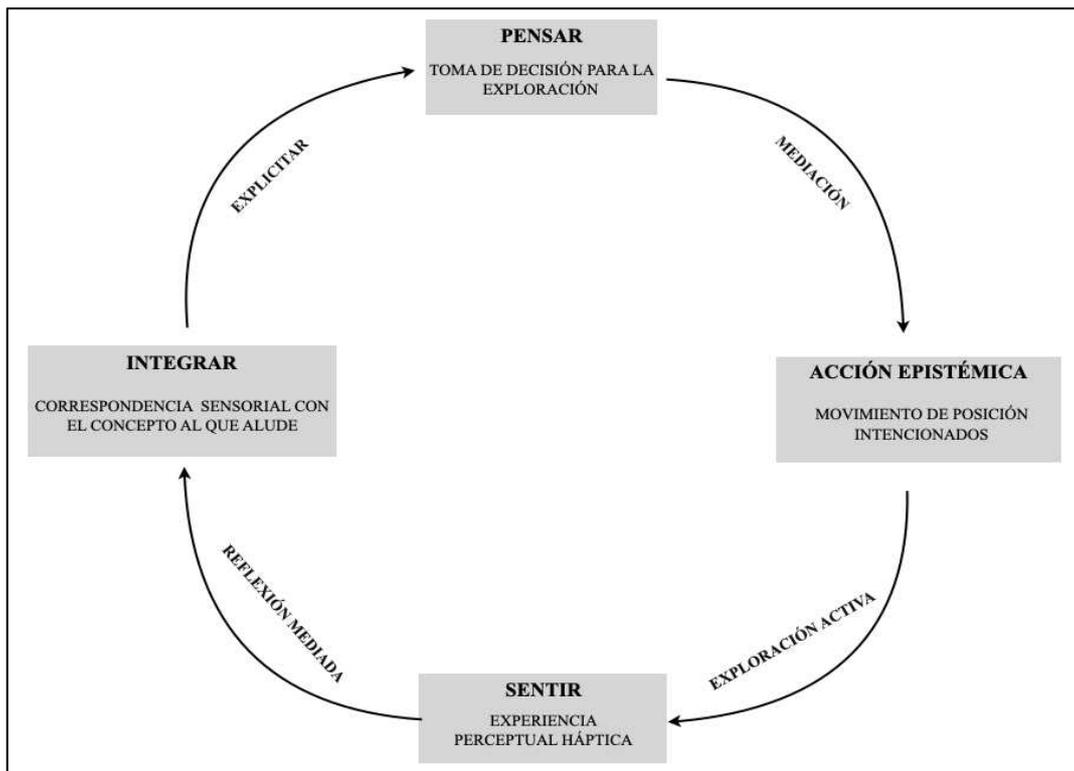
Así mismo, el aprendizaje por medio de la experiencia activa (Kolb, 1984; Kolb, Boyatzis & Mainemelis, 2000), propone que es posible la construcción de conocimiento a través de un proceso cíclico en donde se integre la experiencia en actividades concretas y situadas, en donde sea posible establecer reflexiones guiadas e integrar la conceptualización de elementos abstractos directamente con la experimentación, de esta manera, el estudiante puede contrastar y transferir este conocimiento en diferentes escenarios y construir nuevos aprendizajes.

Por lo tanto, la función epistémica posible en la retroalimentación háptica para la enseñanza del concepto de fuerza podría estar organizada en un circuito de aprendizaje flexible, que presenta como eje

centrar la exploración activa en el entorno virtual como experiencia perceptiva, vertebrada en las razones pedagógicas que se deben construir con el estudiante a través de la mediación y por las cuales este realiza y orienta su actividad en el entorno simulado.

Tomando como punto de partida algunos de los elementos de la propuesta de Kolb (1984), la háptica integrada al proceso de aprendizaje puede ser resumido en las siguientes etapas: (a) pensar: de acuerdo con la instrucción recibida deberá tomar decisiones sobre qué movimientos le permiten interactuar y conocer mejor los objetos del ambiente recreado; (b) acción epistémica: se refiere a los actos intencionados que guardan relación con el conocimiento o su búsqueda, independiente de si son correctos o si se pueden justificar (inferencias que guían la manipulación del instrumental) y las cuales debe ajustar continuamente; (c) sentir, detectar, percibir o distinguir las cualidades que ostentan los objetos y el medio simulado como presión, la aspereza, la suavidad, la rugosidad, entre otros; (d) integrar la información sensorial con el concepto de fuerza. En la interacción simulada las fuerzas se emiten alrededor de los objetos, se pueden sentir por la háptica y se acompañan de un vector que señala su dirección, entre otros aspectos (ver figura 2).

Figura 2. Circuito de Aprendizaje Háptico para la Física.



Estos supuestos son algunos de los principios que han guiado la construcción de las interfaces hápticas para el aprendizaje de las ciencias. Por lo tanto se considera la importancia de la usabilidad para facilitar que el estudiante explore el espacio virtual, y se cuida que esté estructurado sobre objetivos epistémicos de acuerdo con la organización de los temas en las asignaturas. De esta manera, los estímulos dispuestos para la interacción con el estudiante son estratégicamente seleccionados y “dosificados” para su coherencia con los conceptos a estudiar de la Física.

De acuerdo con lo anterior, se sugiere que la comprensión de la información háptica se podría dar en dos momentos. Inicialmente el sensorial directo, en donde el estudiante deberá interpretar la retroalimentación de forma inmediata con un significante (vibración simple, desplazamiento, impulso, fuerza, presión, etc.). En segundo lugar, deberá integrar las diversas fuentes de conocimiento y establecer relaciones entre las variables dispuestas en la interacción con el dispositivo. Los conocimientos sobre la experiencia que pueden conservarse en la memoria serán aquellos que logren estructurarse y que se interrelacionen de múltiples formas.

Si no se reflexiona y se explicita la experiencia para construir a partir de ella, es posible que solo sirva como un aumento de información sensorial, sin producir ningún efecto en el aprendizaje de la asignatura. Se infiere que parte del significado concedido por medio de la experiencia háptica, formará una visión global de patrones, que junto con los conceptos estudiados y su cuantificación permitirá que el estudiante construya representaciones más integrales, con mayor coherencia y potencial explicativo que los contenidos intuitivos.

Cuando se habla de la interacción del usuario con el dispositivo, no se alude simplemente a la potencia o frecuencia con la que se presenta una respuesta háptica o con la que se involucra la motricidad del estudiante. La interacción comprende mucho más y vincula la intención del alumno directamente en una exploración activa y estratégica de los elementos dispuestos en la interfaz para su aprendizaje, lo cual se relaciona más con elementos de calidad, que de cantidad o intensidad sensomotriz (corporal).

La integración de los sentidos no garantiza la motivación ni el aprendizaje, todo lo contrario, si se obvian los aspectos fisiológicos, cognitivos y contextuales, las experiencias podrían ser invasivas, actuando como distractores, aumentando la carga cognitiva o produciendo molestias como se ha documentado en el uso de realidad virtual (Cuevas & Aguayo, 2013); o por el contrario, el estudiante podría percibir los estímulos como débiles y asumir que son insignificantes o irrelevantes como para tenerlos en cuenta.

Así mismo, si el estímulo se repite en una actividad extensa, es posible que el estudiante experimente habituación sensorial y presente la necesidad de novedad para mantener su atención (Manzanero & Álvarez, 2015). Aunque la interpretación de los estímulos es particular en cada individuo, las sensaciones físicas por lo regular convergen con estados emocionales. En la háptica se ha reconocido que no siempre se experimenta placer sensorial en la estimulación, por ejemplo, en estudios sobre cuál es la mejor manera de disponer la retroalimentación para que el usuario pueda interpretarla sin interferencias,

se ha identificado que vibraciones en la parte anterior del cuerpo (chalecos hápticos) producen malestar, por el contrario, cuando se disponen en la espalda resultan placenteras, (Dharma et al., 2013).

Por otro lado, los usuarios prefieren patrones de vibración simples y diferenciados en lugar de estímulos complicados de interpretar (Dharma et al., 2013), lo cual puede estar relacionado con el funcionamiento cognitivo, dado que la capacidad de la memoria sensorial (milisegundos) y de trabajo es muy limitada, una vez superado su umbral de capacidad no puede atender simultáneamente a todos los canales sensoriales (Manzanero & Álvarez, 2015), en consecuencia la información es decantada siguiendo pautas individuales. En este aspecto un mayor grado de estímulos sensoriales o de actividad motora no implica mejor comprensión, dado que la información que no es integrada en la memoria a corto plazo se pierde.

Teniendo en cuenta estas características es necesario que los estímulos hápticos sean dosificados, asociados a actividades puntuales y que su correspondencia sea clara y explícita con los conceptos teóricos y las claves abstractas de la Física. Con el fin de ayudar a que la experiencia sea satisfactoria conforme a los objetivos planteados, se deben establecer algunos principios que guíen el papel de la mediación con la interfaz háptica, considerando que para facilitar el circuito de aprendizaje que se propone (figura, 2) existen variables de carácter contextual, fisiológico y psicológico/cognitivo que pueden afectar el proceso.

A continuación, se sugieren algunos aspectos a tener en cuenta en el acompañamiento docente:

- Previo al uso del dispositivo, se propone, dar la instrucción sobre el concepto de fuerza, para la comprensión de los objetivos epistémicos que guían las actividades, así como los aspectos cualitativos y cuantitativos básicos según el programa del curso. En la interacción con el dispositivo háptico se sugiere que el docente acompañe al estudiante, dado que se pueden extraer conclusiones erróneas de la práctica ya sea por subutilizar la interfaz o por estar preocupado por aprender las destrezas que se requieren sin llegar a comprender por qué actúan como actúan.
- La instrucción docente para la explicitación de la experiencia busca que el estudiante describa el contenido de las tareas con el fin de que la información implícita sobre la actividad emerja a la consciencia y pueda ser verbalizada. A través de la “reflexión fenomenológica” del estudiante se puede capitalizar el conocimiento que se encuentra contenido en la retroalimentación háptica, transformando los estímulos percibidos por medio del dispositivo en representaciones internas (básicas), icónicas y hápticas.
- El docente debe crear las condiciones necesarias para que el estudiante pueda expresar de forma espontánea lo vivido y para ello debe guiarlo a través de la evocación sensorial, de manera que acuda a la memoria concreta sobre las tareas de referencia, con preguntas sobre los estímulos y sensaciones como: ¿son reconocibles? ¿qué nombre se le puede dar? ¿Cuántos se sintieron y bajo qué circunstancias?, etc.

- Se requiere que el estudiante explicita en sus propias palabras, que construya una relación particular con los elementos sobre los que habla, es decir, un discurso de "palabra encarnada" (Vermersch, 2019), facilitando que perciba menos abstractos y ajenos los fenómenos físicos estudiados. Para ello se deben realizar preguntas descriptivas sobre los movimientos realizados, los gestos, las posturas y los ajustes en las acciones para alcanzar los objetivos de las actividades. Algunos ejemplos de preguntas pueden ser ¿cuáles aspectos son nuevos? ¿sobre cuáles se tenía información previa? ¿qué información se complementa?, etc., con la intención de ir formalizando la experiencia.
- El estudiante deberá integrar la información para reconstruir mentalmente las representaciones esenciales y atribuir significados. En este punto podría empezar la resolución de problemas por medio de operaciones, aquí es donde el control metacognitivo debe actuar para que el proceso no se cristalice en la necesidad de seguir recibiendo retroalimentación. Es importante que el estudiante tenga claro en el proceso qué hacer con los diferenciadores perceptivos con los que cuenta (esto será tenido en cuenta en futuras investigaciones).

2.4 Retroalimentación Háptica y Práctica Experimental en la Física

Tradicionalmente la enseñanza de la Física se basa en el análisis y aprendizaje teórico, para luego dar paso a la actividad por medio de experimentos. La metodología teórico-experimental permite que el docente presente la asignatura desde su dimensión científica y a su vez, expresa su propósito práctico y social. No obstante, existen con frecuencia limitaciones en la implementación y en algunos casos no es posible de realizar, por lo que los dispositivos hápticos ofrecen algunas posibilidades de solución.

Existen básicamente tres tipos de experimentos: los reales u ordinarios, mentales y de simulación (Brito, 2009). Los reales permiten que el aprendiz pueda acceder al fenómeno de forma directa mediante sus sentidos y manipular algunas variables e instrumentos. Sin embargo, estos experimentos por lo regular requieren de una construcción o montaje realizado por un experto debido a que pueden implicar riesgos físicos.

Por otra parte, en los experimentos mentales se presenta una construcción idealizada que posibilita la comprensión de algunos conceptos y fenómenos de la Física que no son posibles de comprobar empíricamente (Brito, 2009), por lo que son característicos de la clase teórica. El estudiante debe crear mentalmente representaciones que favorecen la experiencia de percepción, en ausencia de un estímulo sensorial, por medio de la imaginación y creatividad. Estas prácticas permiten concebir principios físicos intangibles, no obstante, exhiben las dificultades propias relacionadas con la representación de información de la que los alumnos no tienen ningún tipo de referente previo, más una elevada exigencia cognitiva en tareas que, entre otras cosas, exigen un nivel avanzado de fluidez y flexibilidad del pensamiento para la comprensión y cuantificación de conceptos abstractos.

Los referentes sensorio-perceptivos que se pueden obtener por medio de dispositivos multimodales que incluyen la háptica, poseen el potencial de ayudar a superar los obstáculos de los diseños tradicionales. Con la ayuda de la háptica los estudiantes tendrían un sustrato sensorio-perceptivo y motor a partir del cual poder imaginar, predecir y formular hipótesis sobre los posibles desenlaces de fenómenos físicos.

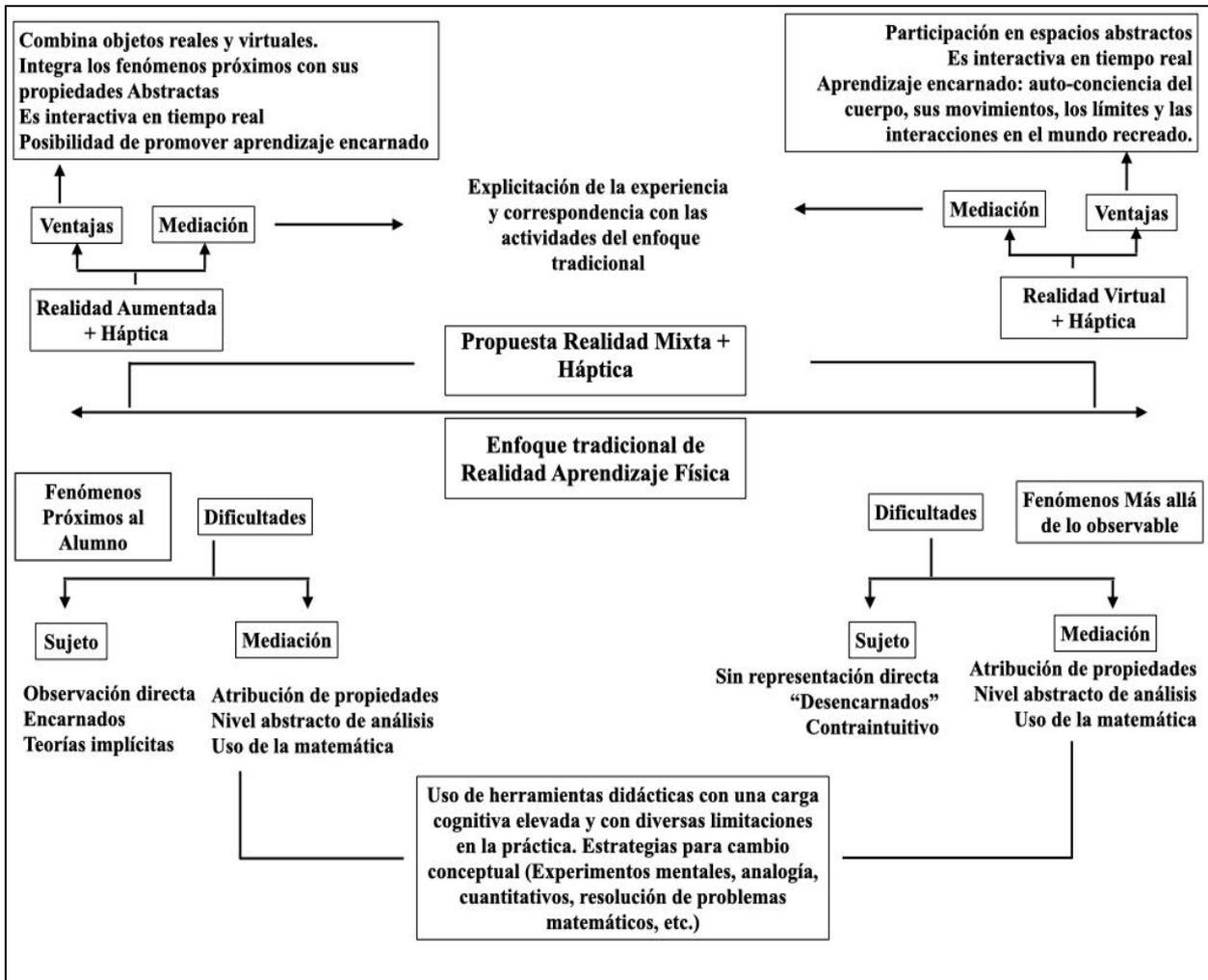
En el aprendizaje de la Física los alumnos deberán integrar la información sensorial (corporizada) suministrada por medio del dispositivo, a las características cualitativas (construcción teórica no operativa) y cuantitativas (lenguaje matemático) facilitadas en la instrucción. Se infiere que esta “triangulación de información” puede facilitar el atribuir un significado que conforme y dé sentido a la nueva manera de concebir la realidad física estudiada (contenidos formales). La interacción del estudiante con el dispositivo demanda el uso consciente de estrategias de autorregulación, que le permitan procesar y asumir posiciones frente a la nueva información (análisis y síntesis).

El conocimiento que se tiene sobre el contexto se apoya en gran medida en la comparación de la información sensorial proveniente de los sentidos y la información almacenada o aprendida con anterioridad en las experiencias construidas (Bar, 2009). Es importante considerar que todos los seres humanos presentan restricciones sensoriales en el estudio de las ciencias, aunque en los primeros cursos de Física se explora una realidad próxima, esta solo puede ser verificada hasta cierto punto por observación directa, y más adelante en el bachillerato existe una exigencia mayor al estudiar fenómenos sin referentes sensoriales expresados en lenguaje matemático (Pozo y Gómez, 2004).

De acuerdo a lo anterior, el contar en la actualidad con dispositivos multimodales que ayudan a situar sensorialmente estos fenómenos, permite al estudiante construir una “realidad mixta³” que contribuye no solo a superar algunas de las brechas sensoriales que hacen a estos fenómenos imperceptibles, sino también integrar a conveniencia los elementos virtuales con los conceptos formales y la experimentación tradicional, de modo que se puede tener una experiencia integrada. A continuación (figura 3), se realiza una comparación entre las dificultades en el aprendizaje de la Física desde lo convencional y las oportunidades de mejora que ofrece la háptica al ser ajustada en las didácticas de la asignatura.

³ *Realidad mixta*: entendida en el contexto de la investigación como la combinación de elementos de realidad virtual y realidad aumentada, con el objetivo de poder interactuar con objetos virtuales y modificarlos. La interfaz no contempla interacción con el entorno real (mezcla de objetos virtuales y reales) como suele presentarse.

Figura 3. Integración de la Realidad mixta en el Aprendizaje de la Física.



3. Propuesta de Investigación

El presente documento propone estudiar si la experiencia perceptual háptica, posible a través de un dispositivo multimodal, contribuye a superar algunas de las dificultades que presentan los estudiantes de 2º de la ESO en el aprendizaje del concepto de fuerza. La claridad en este concepto es fundamental para la comprensión y estudio de la mecánica clásica, sin embargo, la naturaleza eminentemente abstracta del temario y el conocimiento previo del estudiante opuesto en gran medida a los contenidos formales, constituyen un reto para el proceso de enseñanza-aprendizaje de la asignatura.

Con el fin de abordar estas dificultades se propone el diseño de una interfaz háptica que permita la manipulación de algunos elementos intangibles y característicos de las interacciones y del concepto fuerza, para hacerlo más accesible y facilitar referentes perceptuales que contribuyan a mitigar la persistencia de las siguientes ideas previas sobre los contenidos formales:

Concepto básico de Fuerza

(IP1) Las fuerzas son una parte constitutiva (intrínseca) de los objetos. Asociación entre fuerza y movimiento, un objeto “posee” fuerza mientras se mueve y va perdiéndola hasta que para.

(IP2) Solo existe una fuerza de acción sobre un objeto en particular y depende del agente que realiza la acción. El estudiante no se da cuenta de la interacción entre cuerpos y no logra evidenciar las fuerzas presentes, de esta manera el único agente responsable de la fuerza es el cuerpo que mueve al otro.

Tercera ley de Newton

(IP3) La fuerza depende de las características externas del objeto. Entre dos objetos, el objeto más grande, de mayor masa o más rápido ejerce la mayor fuerza, es decir en la interacción un objeto se encuentra privilegiado sobre el otro (percepción visual de dominancia).

(IP4) La fuerza es una característica presente exclusivamente en los seres vivos o en objetos animados (en movimiento), por lo tanto solo estos pueden ejercer fuerza.

(IP5) Primero ocurre la acción de un objeto sobre otro y posteriormente la reacción que se produce.

A partir de esta información se establecen las siguientes preguntas de investigación:

1. ¿El uso de un dispositivo de retroalimentación visual-háptico con retroalimentación de fuerza puede contribuir al aprendizaje del concepto en su acepción básica? Es decir, facilita que el estudiante identifique que: (a) la fuerza es un agente independiente del objeto y (b) sobre todo cuerpo que recibe una interacción aparece una fuerza.
2. ¿Son más eficaces las simulaciones hápticas que la simulación no háptica equivalente, para proporcionar experiencias perceptivas que permitan discernir las interacciones posibles y las fuerzas presentes?
3. ¿La retroalimentación de diferentes tipos de fuerzas coordinadas en el espacio virtual ayudan a la comprensión básica de la tercera ley de la dinámica?. Particularmente del principio básico “acción y reacción”: si un objeto X ejerce una acción sobre otro cuerpo Y, este realiza sobre X otra acción igual y de sentido contrario.

3.1 Objetivos

Objetivo General

Analizar en qué medida el uso de una interfaz háptica, creada para emitir diferenciadores perceptuales de fuerza, contribuye al aprendizaje de este concepto y de la tercera ley de Newton.

Objetivos Específicos

1. Analizar si la percepción de retroalimentación háptica de fuerza y su explicitación contribuyen a diferenciar características que pueden ser intrínsecas o extrínsecas de los objetos y fenómenos estudiados.
2. Establecer si la información sensorial háptica facilita la identificación de las interacciones que originan las fuerzas.
3. Contrastar si por medio de la experiencia háptica los estudiantes logran una mejor comprensión del concepto de fuerza, en el contexto de la tercera ley de la dinámica en comparación con los estudiantes sin háptica.

Hipótesis

1. Los estudiantes que han interactuado con el dispositivo háptico y han explicitado la experiencia, tendrán un sustrato sensorial que les permitirá diferenciar la fuerza de las propiedades de los objetos y percibir la necesidad de la interacción (dos objetos o más) para que aparezca una fuerza.
2. Los resultados evidenciarán que las simulaciones aumentadas hápticas (simulación de fuerza) son más eficaces que la simulación no háptica equivalente, para proporcionar experiencias perceptivas que permitan discernir las diferentes fuerzas que se presentan en una interacción.
3. Percibir diferentes tipos de fuerzas coordinadas en el espacio virtual facilitará al estudiante la comprensión de la tercera ley de la dinámica, es decir, la interacción es mutua y simétrica.

3.2 Metodología

Población y Muestra de estudio

Jóvenes en edades comprendidas entre los 12 - 13 años, en 2º de la Educación Secundaria Obligatoria (ESO), en centros de enseñanza de la Comunidad de Madrid - España. La muestra será compuesta por 90 estudiantes que estarán recibiendo instrucción formal sobre el concepto de fuerza. Muestra por conveniencia. No probabilística - no aleatoria.

Dadas las características del tema de investigación y la población a la que va dirigida, se propone trabajar con un diseño cuasi-experimental. La muestra se dividirá en tres grupos (30 estudiantes por grupo), de la siguiente manera: experimental uno (GE1) con simulación Visual-háptica y explicitación de la experiencia, experimental 2 (GE2) con simulación Visual-no háptica y explicitación de la experiencia y el grupo control (GC) sin experimentación visual-háptica, recibirá la instrucción tradicional. Todos los grupos

tendrán un material audiovisual con la explicación habitual del tema (fuerza 2º ESO) y solo variará en la instrucción experimental de cada grupo. Se realizarán medidas pretest y postest por medio de un cuestionario.

Tabla 1

Resumen del tratamiento experimental de los diferentes grupos.

	Grupo 1 Experimental (G1) M:30	Grupo 2 Experimental (G3) M:30	Grupo Control (GC) M:30
Instrumentos Aplicación 1.	Cuestionario pre-postest Cuestionario Explicitación de la experiencia Dispositivo multimodal visual-háptico Encuesta de Usabilidad	Cuestionario pre-postest Cuestionario Explicitación de la experiencia. Interfaz Visual + Ratón	Cuestionario pre-postest libro habitual Física 2º ESO.
Tipo de instrucción	-Teórica Estándar (Vídeo Básico docente) -Tratamiento experimental visual Háptico + Explicitación	Teórica Estándar (Vídeo Básico docente) - Tratamiento experimental visual - Explicitación	- Teórica Estándar (Vídeo Básico docente) - Apartado de fuerza - Explicitación.
Instrumentos Aplicación 2. (1 mes)	Cuestionario postest	Cuestionario postest	Cuestionario postest

Variables

Variable Independiente (VI) Tipo de instrucción:

- Interfaz háptica en dispositivo multimodal con retroalimentación de fuerza y explicitación de la experiencia de forma individual.
- Interfaz visual no háptica. Dispositivo audiovisual sin retroalimentación de fuerza y explicitación de la experiencia de forma individual.
- Instrucción Tradicional 2º ESO. Apartado sobre fuerza de un libro habitual en 2º ESO y explicitación.

Variable Dependiente (VD):

Respuestas al cuestionario sobre conocimiento concepto de fuerza.

3.3 Instrumentos

3.3.1 Dispositivo e Interfaz Háptica

Se utilizará un dispositivo háptico de uso comercial, que permita la interacción por medio de un “trackball” táctil (es una bola de 5 centímetros que descansa sobre un anillo sostenido por cuatro ruedas, o una palanca que simula la forma de un lápiz), para navegación en entornos multimedia 3D. El usuario experimentará la fuerza en su mano mientras mueve el trackball o la palanca. Gran parte de los dispositivos

disponibles en el mercado tienen la opción de diseño de la interfaz mediante librerías que por lo regular son de fácil acceso en sus páginas webs. Dentro del diseño de la interfaz se planteará que incluya patrones de fuerza y de movimiento-desplazamiento que se correspondan en el entorno virtual, por lo que habrá que implementar dentro de la creación del dispositivo la sincronización de las diferentes variables para que el usuario pueda interpretarlas de forma coherente en el contexto de las interacciones (*ver anexo 1*).

Así mismo, aunque inicialmente no se realizarán cálculos vectoriales, la interfaz deberá presentar visualmente las fuerzas en la forma habitual, es decir, como vectores en donde se señalará: punto de aplicación, magnitud (sin valor), dirección y sentido. Simultáneamente la aparición de este vector en la pantalla será el responsable de la respuesta de fuerza, por lo que al momento de la interacción el estudiante percibirá el vector y el patrón de vibración que se ha creado de manera sincrónica.

Logística. Para el uso de la interfaz y dispositivo visual-háptico es necesario un ordenador, en el caso de interfaz visual se necesitará que el ordenador cuente con puertos USB auxiliares y un ratón. Así mismo es necesaria la disposición de lápiz y papel, así como los instrumentos y dispositivos de documentación del experimento (grabación - registro audiovisual).

3.3.2 Diseño de las Actividades de la Interfaz Visual-Háptica

Cada uno de los escenarios tiene como propósito que los estudiantes perciban estímulos hápticos diferenciados en las interacciones en que aparecen las fuerzas. Por lo tanto, la interfaz será diseñada para permitirles discernir de forma perceptual fuerzas (patrones de vibración), así como la noción de que son un agente o medida de la interacción entre dos objetos y que no existen como propiedad de los cuerpos. Se considera que esto será posible cuidando dentro de la interfaz que las fuerzas sean visualizadas como vectores (flechas) y la retroalimentación provenga del punto de aplicación, por lo tanto se podrá identificar de forma visual y táctil fuera de los objetos como agentes externos producto de interacciones (*ver anexo 1*). De esta manera, los alumnos podrán discernir entre diferentes fuentes de información, por un lado, del objeto en sí mismo en cuanto es visible, sobre su comportamiento en las interacciones en cada escenario y lo referente a las fuerzas por medio de la sensación háptica.

El estudiante con ayuda de la interfaz podrá: (a) discriminar algunos tipos de interacción, es decir, cuando un objeto ejerce una acción de contacto (fuerza normal, rozamiento, tensión) o de distancia sobre el otro (si es el caso podría incluirse la fuerza gravitacional); (b) podrá discernir que sobre todo objeto que recibe una interacción aparece una fuerza (c) toda interacción crea dos fuerzas, pero solo una sobre cada uno de los cuerpos que interactúan. En este caso en particular la interfaz estará sujeta a la tercera ley de Newton: si un objeto A ejerce una fuerza sobre un objeto B, el objeto B ejerce sobre A una fuerza igual y de sentido contrario.

Se realizará esta selección debido a que los estudiantes estarán cursando 2º de la ESO y las fuerzas de la naturaleza forman parte del contenido programático de la asignatura, por lo tanto, de forma inicial se ha decidido hacer ejemplos en donde puedan explorar escenarios de interacción, pero sin hacer énfasis en aspectos operacionales dentro de la interfaz. En este caso se privilegiará el que el estudiante

pueda construir una explicación de acuerdo con la experiencia simulada que explique la naturaleza y origen de las fuerzas, antes de introducir las relaciones de las magnitudes, o demás formalismos matemáticos dentro de la interfaz.

3.3.3 Cuestionario Fuerza

El instrumento para el pretest y postest (ver anexo 2), se organizó con preguntas cerradas, considerando que los grupos se encuentran cursando 2º de la ESO y están familiarizados con el formato del cuestionario el cual coincide con la forma en que tradicionalmente se evalúan los conocimientos en esta área. Se espera que los estudiantes que conforman los tres grupos hayan recibido la instrucción sobre el concepto de fuerza en el aula; no obstante, previo a complementar el cuestionario (pretest) se expondrá a los alumnos la misma base teórica sobre el concepto de fuerza. La información podrá ser presentada por medio de un vídeo o a través de un docente, la elección estará sujeta a las posibilidades de disponibilidad de tiempo del profesorado. De esta manera, se garantizará que los estudiantes puedan estar familiarizados de forma general con las categorías de respuesta que serán utilizadas. Se efectuará la evaluación de seguimiento un mes después de la actividad experimental en cada uno de los grupos.

La prueba seleccionada para este propósito es el Inventario del Concepto de Fuerza Force Concept Inventory (Hestenes, Wells, & Swackham, 1992), en su traducción al castellano (Macia-Barber et al., 1995). Este cuestionario fue construido con el fin de explorar las ideas previas que presentan los alumnos sobre el concepto de fuerza de acuerdo a las diferentes dimensiones contempladas en la Física Newtoniana. El inventario se encuentra compuesto por treinta preguntas de selección múltiple, cada ítem presenta cinco opciones de respuesta, cuatro que representan las concepciones intuitivas y una correcta de acuerdo al constructo teórico.

Para la propuesta se seleccionaron nueve preguntas que hacen referencia a la comprensión básica del concepto de fuerza y sobre la tercera ley de Newton. De acuerdo al cuestionario original y del proyecto las preguntas son: 13 (1), 28 (3), 15 (4), 4 (6), 30 (7), 18(8), 29 (9). Las preguntas 2 y 5 no se encuentran en la prueba original, se agregan con el fin de chequear la transferencia a contextos y ejemplos diferentes.

La selección de los ítems tuvo como propósito identificar:

- a) Nº de interacciones posibles en un caso hipotético.
- b) Nº de fuerzas posibles en las interacciones.
- c) Simetría de fuerzas en las interacciones (tiempo - amplitud, intensidad- patrón, oscilación).
- d) Módulo y dirección de las fuerzas. En este caso al no operativizar los ejercicios no se pedirá que se calculen los módulos de las fuerzas (número que indica su intensidad).
- e) Comprensión de la fuerza como agente independiente de las características de los objetos.

Tabla 2
Dimensiones de la guía de explicitación de la experiencia háptica.

Actividad	Dimensiones	Descripción	Instrumentos	Categorías de Análisis	Interpretaciones Correctas (C) vs. Incorrectas (I)	Ítems Guía
Explicitación Percepción, integración y asimilación de información táctil por medio de retroalimentación háptica de fuerza.	1. Aumento Percepción visual -háptica	- Aumento de la percepción táctil (sensaciones) -Percepción general de: Amplitud, intensidad, oscilación (inicio, final, interrupción del estímulo).	Guía de explicitación de la experiencia.	Sensibilidad superficial: - Reconocimiento táctil, diferenciar dos puntos de contacto. Sensibilidad profunda: - Discriminar patrones vibratorios de Fuerza, número, intensidad y posición del estímulo.	C: Reconoce sensaciones. Logra distinguir y articular los estímulos, refiere puntos diferentes de contacto. I: No reconoce sensaciones táctiles por lo que sus expresiones serán vagas y desarticuladas. C: Discrimina patrones vibratorios de Fuerza. Da cuenta del número de estímulos, la intensidad y el punto de contacto del mismo asociado con la imagen. I: Mezcla los patrones por lo que no podrá discernir sus características.	1,2,3, 4,5.
	2. Recuperación de la experiencia	- Toma de consciencia de la información proporcionada por las sensaciones provenientes del cuerpo y del dispositivo.	Guía de explicitación de la experiencia.	- Calidad y cantidad del lenguaje escrito (dibujos, gráficas, etc.) - Utiliza el Lenguaje oral (expresiones) - Hace gestos - Establece relaciones entre los estímulos y el conocimiento previo de forma correcta.	C: La elección de las palabras es adecuada. Lenguaje y vocabulario coherente, que guarda relación con los patrones emitidos, usa diferentes recursos (dibujos, gráficas, etc.) para explicitar el contenido aprendido. I: Lenguaje escrito empobrecido, el vocabulario no guarda relación con la actividad. C: Establece relaciones entre la interpretación de la experiencia perceptual y el conocimiento teórico impartido, de forma que sus respuestas son coherentes con los principios científicos estudiados. I: No logra identificar la correspondencia entre la experiencia perceptual y el conocimiento teórico impartido, de forma que sus respuestas no guardan relación con los principios científicos. Se mantienen las ideas previas frente al concepto de fuerza.	6,7,8, 9,10.
	3. Integración y Asimilación Cognitiva	-Dar sentido a esta información con el fin de reorganizarla de acuerdo con la estructura previa de significados, realizando los ajustes necesarios de manera que sea comprendida.	Observación Audio y vídeo de la experiencia		C: Actitud activa frente a la experiencia, utiliza de manera estratégica el dispositivo (movimientos exploratorios) de forma que entiende que el movimiento de la mano es una de las herramientas para resolver la tarea. I: Presenta una actitud pasiva, no realiza movimientos exploratorios acordes a la demanda del ejercicio, no hace uso de expresiones o gestos durante la tarea.	

3.3.4 Guía Explicitación de la Experiencia Visual-Háptica

Objetivos

- Propiciar la explicitación de los estímulos diferenciados de fuerza, de manera que se encuentre su correspondencia con los conceptos de Física trabajados.
- Facilitar la organización de la experiencia perceptual entorno al concepto de fuerza.
- Favorecer que se use de forma complementaria los conocimientos, identificando las condiciones análogas en los tres escenarios simulados.
- Fomentar que se hagan inferencias y relaciones entre información explícita y/o implícita.

Etapas del proceso de explicitación

1. Reconstrucción de la experiencia.

Con el fin de que el estudiante realice una recuperación del proceso vivido que pueda explicitar, se facilitará una guía básica con el fin de orientarle para que reconstruya de forma organizada lo que fue sucediendo en la experiencia recreada en el espacio virtual. Para esto se tendrán en cuenta algunas dimensiones para el análisis final de la información (ver tabla 3). En el proceso se sugerirá que realice una descripción en forma general, en cuanto a los principales eventos experimentados, para que luego, con más detalle se puede identificar los momentos significativos, los principales movimientos exploratorios realizados, los cambios que sucedieron en el dispositivo y las respuestas percibidas

2. Ordenar y clasificar la información.

Es importante que recuerden en las interacciones de las diferentes escenas cómo se asociaron los estímulos respuesta con la resolución de los problemas planteados. De esta manera podrán determinar algunas variables y categorías que les permitirán ordenar y clasificar la información, se promoverá que el alumno utilice técnicas dibujos, gráficas, etc. (ver anexo 3), con el objetivo de facilitar la codificación de la información. Se espera que el estudiante logre posteriormente establecer relaciones entre la nueva información con las experiencias y los estímulos relacionados que haya recibido previamente.

3. Reflexión Mediada ¿Por qué pasó lo que pasó?.

En este caso se propone una fase interpretativa sobre todo lo que se ha descrito y reconstruido previamente de la experiencia. El estudiante deberá analizar el comportamiento de cada componente por separado y luego establecer relaciones entre esos componentes, interesará saber si ha reconocido un patrón entre los diferentes espacios virtuales. Se trata de retomar los interrogantes, preguntando por las razones de lo sucedido en cada interacción, con el fin de que el alumno identifique contradicciones o confronte la actividad y sus hallazgos con otras experiencias, es el momento para plantear relaciones entre la reflexión realizada y las bases teóricas.

Tabla 3

Dimensiones del Inventario del Concepto de fuerza - Forcé Concept Inventory (Hestenes, Wells & Swackhamer, 1992).

Dimensiones	Nº de Pregunta	Competencias	Nº de Pregunta + opción	Ideas previas en las opciones de RTA	Nº de Pregunta + Opción
Recocer interacciones y fuerzas	1, 2, 5,7,8,9	Utiliza el concepto de Fuerza para sus interpretaciones. Reconoce las diferentes interacciones y las fuerzas de forma independiente a las características intrínsecas de los cuerpos.	2 (C)	(IP1) Las fuerzas son una parte constitutiva (intrínseca) de los objetos. Asociación entre fuerza y movimiento, un objeto "posee" fuerza mientras se mueve y va perdiéndola (se consume) hasta que para, el único agente responsable de la fuerza es el cuerpo que mueve al otro.	6 (A)(B)
			3 (E)		8 (C)
			5 (C)		7 (C) (D)
			6 (E)		
			8 (D)		
			9 (B)		
				(IP2) La fuerza es una característica presente exclusivamente en los seres vivos o en objetos animados (o activos en movimiento), por lo tanto solo estos pueden ejercer fuerza.	1 (E) 3 (A) 5 (A) 7 (E) 8 (C) 9 (E)
Fuerzas de acción y Reacción (Tercera ley de Newton)	3, 4, 6	Interpreta los fenómenos sugeridos de acuerdo con la tercera ley de Newton. Si un cuerpo ejerce una fuerza sobre otro se produce una reacción de igual intensidad y dirección pero en sentido contrario del cuerpo que lo produce. Al estar aplicadas sobre diferente objeto no se anulan.	1 (D)	(IP3) Solo existe una fuerza de acción sobre un objeto en particular y depende del cuerpo que realiza la acción. El estudiante no da cuenta de la interacción entre cuerpos y no logra evidenciar las fuerzas presentes.	2 (A) (B) (D)
			4 (A)		5 (B) (D)
			7 (B)		3 (B) 8 (C)
				(IP4) La fuerza depende de las características externas del objeto. Entre dos objetos, el objeto más grande, de mayor masa o más rápido ejerce, es decir en la interacción un objeto se encuentra privilegiado sobre el otro (percepción visual de dominancia).	1 (B) 6 (A) (B) 3(C) (D) 4 (B)
		Usa de forma complementaria los conocimientos identificándolos en condiciones análogas.	1-2, 5-7 8-9, 3-4-6		

3.3.5 Encuesta de Usabilidad

El objetivo de este cuestionario es valorar la experiencia del estudiante como usuario de la interfaz visual y háptica así como el dispositivo. Se le solicitará que evalúe cómo se sintió respecto a la comodidad (usabilidad) del dispositivo y sobre aspectos de la experiencia en general. Los tests de usuario se utilizan con frecuencia para medir la calidad de un sistema, en general se pueden agrupar en cuantitativos y cualitativos.

Cualitativo. No se utilizará un tipo de prueba específica para esto, pero es posible que se obtenga información interesante sobre la usabilidad de la interfaz por medio de la observación de los participantes en la interacción con el dispositivo (Registro audiovisual).

Cuantitativo. Con el objetivo de identificar la opinión y satisfacción de los estudiantes sobre la usabilidad de la interfaz y el dispositivo, se utilizó como guía para la construcción de los ítems el cuestionario de usabilidad de sistemas informáticos (CSUQ) en su adaptación al español (Garza Villegas, 2017), esta encuesta permite medir específicamente tres factores: calidad del sistema, calidad de la información y calidad de la interfaz. Para facilitar la comprensión y familiaridad de los estudiantes con las preguntas fueron modificadas y se redujo su extensión teniendo en cuenta los intereses de la propuesta (ver anexo 4), así mismo, se agregaron tres preguntas abiertas con el fin de obtener información con mayor detalle sobre la experiencia.

3.3.6. Consentimiento

Se realizará grabación de audio y vídeo durante el desarrollo de las actividades por lo que es importante que previamente se obtenga la autorización escrita de los padres. En este consentimiento se explicará que la actividad experimental no representa un riesgo para la integridad de los participantes, dado que la interfaz funciona con un equipo no invasivo y con estímulos dosificados de baja intensidad, no obstante, se tomarán las medidas necesarias frente a la adecuación del espacio en el experimento para garantizar la comodidad de los participantes y se proveerá la información necesaria con el fin de resolver las dudas.

En el mismo documento se recogerá algunas características socio-demográficas básicas: sexo, edad, dirección de vivienda y nacionalidad. Estos datos pueden proveer una información más completa (en caso de ser necesario), sobre aspectos del desarrollo o del comportamiento de acuerdo a la ubicación y procedencia de los alumnos. Así mismo, se podría en líneas futuras explorar la influencia de variables como género y edad en las capacidades para detectar o discernir estímulos hápticos.

Se espera poder realizar una prueba piloto del cuestionario, así como de otros instrumentos planteados en la investigación, con el objetivo de obtener mayor información sobre los tiempos que serán necesarios y qué aspectos pueden ser problemáticos o mejorados. De acuerdo a los resultados que se obtengan en el ensayo se realizarán los debidos ajustes.

3.4 Procedimiento

3.4.1 Grupo 1. Interacción con la Interfaz Visual-Háptica y Explicitación Individual.

La actividad será desarrollada en una zona libre de interrupciones y distracciones, con el clima adecuado y que ofrezca la formalidad y neutralidad necesaria. Los materiales estarán previamente organizados. Los participantes recibirán información general sobre el contenido del experimento, se ofrecerá una explicación básica del funcionamiento del dispositivo y luego se procederá de la siguiente manera: (a) Se pondrá el vídeo a los estudiantes, de aproximadamente 8 minutos (ejemplo: <https://www.youtube.com/watch?v=8Mfcu7EQKPs>) (b) aplicación de la prueba pretest; (c) ensayo corto del uso del dispositivo (1 minuto); (c) desarrollo de la actividad experimental acompañada de guía de explicitación individual; (d) prueba post-test; (e) aplicación de encuesta de usabilidad de la interfaz.

Tiempo

La actividad tendrá una duración de 55 minutos. Tendrán un límite de tiempo para interactuar con la interfaz de 15 minutos aproximadamente. Se facilitará un margen de interacción de 5 minutos en cada ambiente virtual (Anexo 3). Tendrá aproximadamente 5 minutos para la explicitación inmediata de la experiencia en un cuestionario que será facilitado finalizada la interacción con la interfaz.

Descripción actividad experimental

Interacción del estudiante con la interfaz visual-háptica compuesta por tres ambientes virtuales, diseñados con el fin de que exista correspondencia con el tema en cada uno de los ambientes virtuales (ver Anexo 1). Se solicitará a los participantes que vayan anotando conforme realizan las actividades sus sensaciones y lo que van aprendiendo, dado que les preguntará por su experiencia en la guía de explicitación, al terminar el tercer escenario virtual. El estudiante contará con lápiz y papel para registrar lo que crea necesario durante las actividades

Acompañamiento durante el experimento

En la interacción con el dispositivo háptico se sugiere la supervisión del estudiante exclusivamente para el uso adecuado de la interfaz. Se ofrecerá asesoramiento en caso de observarse que se ha pasado por alto una actividad o que el dispositivo es subutilizado por dificultades en su manipulación. Así mismo, se intervendrá para evitar que puedan extraerse conclusiones erróneas en la práctica por alguna eventualidad con el tipo técnico (mal funcionamiento). No se darán instrucciones adicionales relacionadas con las tareas o el tema en ninguno de los casos.

Inmediatamente después de la búsqueda de información en la interfaz, se mediará para que el alumno explicita lo experimentado. Para esto se le facilitará una guía donde podrá consignar la experiencia en los ambientes simulados (ver anexo 3). Finalizadas las tareas se corroborará que se han realizado en su totalidad. En el caso que el estudiante presente dificultades, se preguntará sobre las razones que han conducido a confusión o que han sido problemáticas y se animará a escribirlas en el cuestionario de explicitación. Finalizada la actividad, se aplicará el cuestionario post-test.

Cierre de la actividad

Se recomendará al estudiante que exprese las dudas o preguntas que puedan surgir durante el experimento y en la explicitación. Se finalizará el encuentro con el diligenciamiento del cuestionario de usabilidad de la interfaz y dispositivo háptico (ver anexo 4).

Tabla 4

Resumen actividades GE1

Actividad	Duración	Objetivo	Instrumento	Contenido	Agrupamiento
Pretest	10 min.	Evaluar los conocimientos previos de los alumnos acerca del tema.	Cuestionario Pretest	Concepto básico de fuerza, interacciones y tercera ley de Newton.	Grupal
Contextualización del dispositivo háptico e interfaz	8 min.	Facilitar la usabilidad del dispositivo para el adecuado desarrollo de la actividad experimental.	Folleto informativo	Información general sobre la interfaz y el dispositivo háptico.	Individual o Grupal
Vídeo Estándar	7 min	Proporcionar Información básica sobre el concepto de fuerza.	Ordenador Internet	Información teórica concepto básico de fuerza.	Grupal
Tarea Experimental + Explicitación escrita de la experiencia	15 min.	Realizar Tratamiento experimental acompañado del cuestionario de explicitación de la experiencia.	Ordenador Dispositivo háptico (interfaz háptica) Cuestionario explicitación de la experiencia	Actividad experimental concepto de fuerza y tercera ley de Newton.	Individual
Postest	10 min.	Valorar el impacto de la instrucción en el aprendizaje del concepto de fuerza.	Cuestionario Postest	Concepto básico de fuerza, interacciones y tercera ley de Newton.	Individual
Final	5 min.	Realizar el cierre de la experiencia.	Cuestionario Usabilidad	Satisfacción del estudiante como usuario del dispositivo.	Individual

3.4.2 Grupo 2. Interacción con la Interfaz Visual sin Háptica y Explicitación Individual

Se sigue una secuencia similar de trabajo con el GE1 permitiendo solo la interacción con el dispositivo visual y se dispondrá del cuestionario de explicitación de la experiencia. La secuencia de las actividades será:

1. Recibirán información sobre el contenido de la actividad. Será entregado un consentimiento informado, en donde se recogerán algunas características socio-demográficas básicas: sexo, edad, dirección de vivienda y nacionalidad.

2. Se realizará el cuestionario de ideas previas compuesto por 9 ítems, sobre el concepto básico de fuerza y la tercera ley de Newton.
3. Se pondrá el vídeo a los estudiantes.
4. Un facilitador(a) estará presente durante todo el experimento (interfaz visual), con el fin de verificar que se utilice el dispositivo de forma apropiada y se diligencie el anexo (3) de explicitación de la experiencia. Se les solicitará a los participantes que vayan anotando conforme realizan las actividades sus sensaciones y lo que van aprendiendo, dado que luego se les preguntará por su experiencia, el estudiante contará con lápiz y papel para registrar lo que crea necesario en los diferentes escenario. Tendrá aproximadamente 5 minutos para la explicitación inmediata de la experiencia en un cuestionario que será facilitado al terminar la interacción con la interfaz.
5. Al finalizar la actividad se realizarán la prueba postest y se entregará una breve encuesta con algunas preguntas sobre la usabilidad del dispositivo y satisfacción general del estudiante con la tarea. La actividad tendrá una duración total de 55 minutos.

Tabla 5

Resumen actividades GE2

Actividad	Duración	Objetivo	Instrumento	Contenido	Agrupamiento
Pretest	10 min.	Evaluar los conocimientos previos de los alumnos acerca del tema.	Cuestionario Pretest	Concepto básico de fuerza, interacciones y tercera ley de Newton.	Grupal
Contextualización del dispositivo interfaz visual	8 min.	Facilitar la usabilidad de la interfaz para el adecuado desarrollo de la actividad experimental.	Folleto informativo solo contenido de la interfaz visual	Información general sobre las imágenes 3D	Individual o Grupal
Vídeo Estándar	7 min	Proporcionar Información básica sobre el concepto de fuerza.	Ordenador Internet	Información teórica concepto básico de fuerza.	Grupal
Tarea Experimental + Explicitación escrita de la experiencia	15 min.	Realizar Tratamiento experimental acompañado del cuestionario de explicitación de la experiencia.	Ordenador Cuestionario + explicitación de la experiencia solo contenido visual	Actividad experimental concepto de fuerza y tercera ley de Newton.	Individual
Postest	10 min.	Valorar el impacto de la instrucción en el aprendizaje del concepto de fuerza.	Cuestionario Postest	Concepto básico de fuerza, interacciones y tercera ley de Newton.	Individual
Final	5 min.	Realizar el cierre de la experiencia.	Cuestionario Usabilidad	Satisfacción del estudiante como usuario del dispositivo.	Individual

3.4.3 Grupo 3. Control

1. Los participantes recibirán información general sobre el contenido del vídeo (estándar) y será entregado un consentimiento informado en donde se recogerán algunas características socio-demográficas básicas.
2. Un facilitador(a) acompañara a los estudiantes. Se realizará el cuestionario de ideas previas compuesto por 9 ítems, sobre el concepto básico de fuerza y la tercera ley de Newton.
3. Se pondrá el vídeo a los estudiantes.
4. Los estudiantes recibirán sobre el tema (fuerza y tercera ley de la dinámica) el apartado que corresponde a 2º de la ESO. Una vez terminado se proporcionará el cuestionario de explicitación de la experiencia.
5. Al finalizar la actividad se realizará la prueba postest y se entregará una breve encuesta con algunas preguntas sobre la actividad. La actividad tendrá una duración total de 55 minutos.

Tabla 6

Resumen actividades GC

Actividad	Duración	Objetivo	Instrumento	Contenido	Agrupamiento
Pretest	10 min.	Evaluar los conocimientos previos de los alumnos acerca del tema.	Cuestionario Pretest.	Concepto básico de fuerza, interacciones y tercera ley de Newton.	Grupal.
Contextualización Actividad	8 min.	Facilitar la actividad	Se realizará de forma verbal	Información general.	Individual o Grupal.
Vídeo Estándar	7 min.	Proporcionar Información básica sobre el concepto de fuerza.	Ordenador Internet.	Información teórica concepto básico de fuerza.	Grupal.
Libro 2º ESO + Explicitación	15 min.	Proporcionar información teórica sobre la temática y explicitación.	Apartados de fuerza libro de Física 2º ESO + Folio explicitación de la experiencia.	Texto tradicional concepto de fuerza y tercera ley de Newton.	Individual.
Postest	10 min.	Valorar el impacto de la instrucción en el aprendizaje del concepto de fuerza.	Cuestionario Postest.	Concepto básico de fuerza, interacciones y tercera ley de Newton.	Individual.
Final	5 min.	Realizar el cierre de la experiencia.	Cuestionario Usabilidad	Satisfacción del estudiante como usuario del dispositivo.	Individual

3.5 Análisis de Datos

Se tomarán medidas antes de la intervención (pre-test) y después (post-test) para valorar la idoneidad de la háptica en el proceso de aprendizaje del concepto de fuerza. Se propone realizar un análisis del cuestionario en dos maneras:

- Cualitativo: La información obtenida por medio de la guía de explicitación y el vídeo de la experiencia se analizarán mediante un sistema categorial que incluya qué se explicito y qué no y las interpretaciones correctas e incorrectas de la explicitación (ver tabla 2). Posteriormente este análisis se someterá a técnicas estadísticas no paramétricas. Se utilizarán estas categorías como VI en los análisis de varianza para ver si hay alguna relación entre la explicitación y los resultados obtenidos tras la experiencia.

- Cuantitativa: En segundo lugar se utilizará el ANOVA de un factor para interpretar los resultados de la pre-prueba y la post-prueba y, se realizará una comparación estadística con el fin de identificar si existió una diferencia significativa en las condiciones experimentales.

Por otro lado, se propone calcular el índice de ganancia estandarizada (Hake, 1998), otorgando un puntaje de 0-9 al cuestionario de fuerza, para calcular el factor se tendrá en cuenta el porcentaje de respuestas correctas en el pretest frente al resultado posttest.

4. Limitaciones y Futuras Líneas de Investigación

A continuación se resumen algunas limitaciones de la propuesta así como posibles perspectivas de investigación:

- Inicialmente se espera poder completar la fase experimental del proyecto y realizar el análisis de los resultados, con el fin de obtener una descripción o panorama general de las concepciones previas de los estudiantes y qué tanto contribuyó la háptica a mejorar la condición inicial. No obstante, se espera más adelante profundizar en los aspectos de corte cualitativo, que permitan obtener información sobre el impacto de la explicitación de la experiencia háptica (encarnada). En este aspecto se podrían establecer algunos niveles de explicitación, por ejemplo en trabajo individual con la instrucción de amplificar la información en las propias palabras, de forma escrita o en voz alta, o en actividades entre pares y en grupo ya sea exponiendo, explicando o argumentando. Así mismo, se podrían considerar algunas variables que fueron excluidas de la propuesta, relacionadas con los tiempos de exploración y el análisis de la verbalización del estímulo/objeto explorado en el entorno virtual.
- Una de las limitaciones del proyecto se relaciona con las pocas sesiones planeadas y el que las actividades no estén integradas a las didácticas en el aula, por lo que podrían plantearse más actividades de interacción y que estas sean en un contexto natural.

- Teniendo en cuenta la elevada incidencia de dificultades en el aprendizaje de la Física asociado a ideas previas en otras etapas del desarrollo, sería favorable que el estudio se replicase en diferentes niveles de escolaridad intermedios y finales.
- Este tipo de propuestas puede ser extendido a otros conceptos en el aprendizaje de las ciencias (Biología, Química, Matemática). Así mismo, se podría explorar en otros tipos de aprendizaje como el actitudinal, teniendo en cuenta que la háptica y en general la integración sensorial podría aportar a las didácticas y las experiencias relacionadas con variables motivacionales y emocionales. Igualmente en cuanto al aumento en la sensación de inmersión, se podría valorar la posibilidad de construir instrumentos en realidad mixta que incluyan la háptica, para mejorar la evaluación del aprendizaje actitudinal.
- Con el fin de fortalecer el marco teórico de las ciencias cognitivas, específicamente el aprendizaje encarnado, se podrían estudiar aspectos relacionados con la ejecución de tareas modificando la extensión del área de estimulación, la densidad de actuadores táctiles y la intensidad motora requerida en cada ejercicio, con el fin de comparar si estos aspectos inciden en encarnar en mayor o menor medida una actividad.
- Integrar en la actividad experimental sobre fuerza que el estudiante pueda manipular las variables operacionales, como las magnitudes y demás formalismos matemáticos dentro de la interfaz. Así mismo, se podrán contemplar otras variables relacionadas con la explicitación, que puedan incluir actividades grupales y sesiones de laboratorio, con el fin de evaluar si este cambio es significativo o no para construir el concepto.
- Creación de un ambiente de realidad mixta para el aprendizaje del concepto de fuerza en donde los estudiantes puedan interactuar en el contexto real con objetos virtuales y aumentados, con el objetivo de evaluar respecto a la propuesta de este estudio si conviene intensificar la sensación de presencia (inmersión) del estudiante.
- Investigaciones que comparen el aprendizaje por medio de otros tipos de dispositivos hápticos, por ejemplo, chalecos, cascos, guantes, etc., con el fin de estudiar si existe diferencia dependiendo del dispositivo, la intensidad o el tipo de actuador (a la vibración, impacto, térmicos, electromagnéticos, etc.). Así mismo, si dependiendo del dispositivo se fortalecen o se empobrecen los estímulos y si esto afecta la resolución y comprensión de las sensaciones para el aprendizaje.
- Estudios de sensibilidad háptica, por ejemplo: sobre discriminación de objetos, sobre movimientos exploratorios en entornos virtuales y si difieren de los contextos reales.
- Los diseños sensoriales en la mayoría de los casos permiten un aumento de la percepción. Si se tienen en cuenta variables consideradas en la presente investigación como la capacidad limitada de la memoria sensorial y la percepción secuencial del tacto la cual toma más tiempo y esfuerzo, convendría investigar teniendo en cuenta la Teoría de la Carga Cognitiva y el Efecto Redundancia (Van Merriënboer & Sweller, 2005), si el aumentar la información sensorial que

de alguna manera ya se encuentra disponible a través de un canal más habitual, por ejemplo la visión puede deducir información táctil (forma, peso, textura, tamaño, etc.), lejos de contribuir al aprendizaje lo obstruye generando un procesamiento adicional innecesario o introduciendo distracciones que podrían afectar los procesos atencionales.

Para finalizar a modo general es importante reconocer que la presente propuesta ofrece la posibilidad de considerar líneas de investigación futuras donde se fortalezca el desarrollo de perspectivas que conecten aprendizaje, cuerpo, cognición y contexto. Este último amerita un especial interés dado que la percepción háptica al igual que los demás sentidos se encuentra profundamente influenciada por el entorno, dado que la cultura a la que se pertenece afecta el significado de los elementos que se perciben y en el mismo sentido existe características socioculturales y ambientales que pueden favorecer o entorpecer el aprendizaje de las ciencias. Así mismo, se abre la posibilidad a realizar trabajos inter y/o transdisciplinarios con el fin de aunar esfuerzo a favor de mejorar e innovar en las didácticas.

5. Referencias

- Apud, I. (2014). ¿ La mente se extiende a través de los artefactos? Algunas cuestiones sobre el concepto de cognición distribuida aplicado a la interacción mente-tecnología. *Revista de Filosofía*, 39(1), 137. Recuperado de <https://bit.ly/cogniciónextendida>
- Bar, M. (2009). The proactive brain: memory for predictions. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1521), 1235-1243. Recuperado de <https://bit.ly/proactivebrain37G>
- B. O. E. (2015). Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato. *Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, Madrid (3 de enero de 2015)*, 169-546. Recuperado de <https://www.boe.es/boe/dias/2015/01/03/pdfs/BOE-A-2015-37.pdf>
- Brito, K. Y. U. (2009). Experimento: una herramienta fundamental para la enseñanza de la Física. *Góndola, enseñanza y aprendizaje de las ciencias*, 4(1), 35-40. doi: <https://doi.org/10.14483/23464712.5248>
- Brooks Jr, F. P., Ouh-Young, M., Batter, J. J., & Jerome Kilpatrick, P. (1990). Project GROPEHaptic displays for scientific visualization. *ACM SIGGraph computer graphics*, 24(4), 177-185. Recuperado de <https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/97880.97899>
- Barsalou, L. W. (2008). Grounded cognition. *Annu. Rev. Psychol.*, 59, 617-645. Recuperado de <https://bit.ly/AnnuRev2NaUzNP>
- Ballesteros, S. (1993). Percepción háptica de objetos y patrones realizados: una revisión. *Psicothema*, 5(2), 311-321. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/727/72705209.pdf>
- Beers, P. J., & Bots, P. W. (2009). Eliciting conceptual models to support interdisciplinary research. *Journal of Information Science*, 35(3), 259-278. doi: <https://doi.org/10.1177%2F0165551508099087>

- Carrascosa, J. (2005). El problema de las concepciones alternativas en la actualidad (Parte II). El cambio de concepciones alternativas. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 2(3), 388 – 402.
- Carter, J., & Fourney, D. (2005). Research based tactile and haptic interaction guidelines. *Guidelines on Tactile and Haptic Interaction (GOTHI 2005)*, 84-92. Recuperado de <http://userlab.usask.ca/GOTHI/research.pdf>
- Cuevas, B. G., & Aguayo, L. V. (2013). Efectos secundarios tras el uso de realidad virtual inmersiva en un videojuego. *International Journal of Psychology and Psychological Therapy*, 13(2), 163-178. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/560/56027416002.pdf>
- Campanario, J. M., & Otero, J. (2000). Más allá de las ideas previas como dificultades de aprendizaje: las pautas de pensamiento, las concepciones epistemológicas y las estrategias metacognitivas de los alumnos de Ciencias. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 18(2), 155-169. Recuperado de <https://bit.ly/enseñanza3hET8VS>
- Clark, A. (1999). *Estar ahí: cerebro, cuerpo y mundo en la nueva ciencia cognitiva*. Barcelona: Paidós.
- Coll, C. (2013). El currículo escolar en el marco de la nueva ecología del aprendizaje. *Aula de Innovación Educativa*, 2013, núm. 219, p. 31-36. Recuperado de <https://bit.ly/aprendizaje2U>
- Cuevas, B. G., & Aguayo, L. V. (2013). Efectos secundarios tras el uso de realidad virtual inmersiva en un videojuego. *International Journal of Psychology and Psychological Therapy*, 13(2), 163-178. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/560/56027416002.pdf>
- de Aldama, C., & Pozo, J. I. (2020). Do you want to learn physics? please play angry birds (but with epistemic goals). *Journal of Educational Computing Research*, 58(1), 3-28. doi: <https://doi.org/10.1177%2F0735633118823160>
- Dharma, A. A. G., Oami, T., Obata, Y., Yan, L., & Tomimatsu, K. (2013, July). Design of a wearable haptic vest as a supportive tool for navigation. In *International Conference on Human-Computer Interaction* (pp. 568-577). Springer, Berlin, Heidelberg. Recuperado de <https://bit.ly/designhaptic2YdpPBS>
- De Vega, M., Graesser, A. C., & Glenberg, A. M. (2008). Reflecting on the debate. *Symbols and embodiment: Debates on meaning and cognition*, 397-440. Recuperado de <https://bit.ly/Symbolsandembodiment2N7Htkf>

- Driver, R., Guesne, E., & Tiberghien, A. (1992). *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia* (No. 8). Ediciones Morata.
- Escobar-Castillejos, D., Noguez, J., Neri, L., Magana, A., & Benes, B. (2016). A review of simulators with haptic devices for medical training. *Journal of medical systems*, 40(4), 104. Recuperado de <https://bit.ly/simulatorswithhaptic2YcCsgB>
- Fracchia, C. C., Alonso de Armiño, A. C., & Martins, A. (2015). Realidad Aumentada aplicada a la enseñanza de Ciencias Naturales. *TE & ET*. Recuperado de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/50745>
- Gómez, A. L. B. (2008). Acerca de la enseñanza-aprendizaje de los conceptos de Fuerza y Trabajo. *Latin-American Journal of Physics Education*, 2(3), 18. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2734658.pdf>
- Gibson, J. J. (1966). *The senses considered as perceptual systems*. Houghton Mifflin.
- Gibbs Jr, R. W. (2005). *Embodiment and cognitive science*. Cambridge University Press.
- Glenberg, A. (1997). What memory is for: Creating meaning in the service of action. *Behavioral and Brain Sciences*, 20(1), 41-50. Recuperado de <http://10.1017/S0140525X97470012>
- Han, I., & Black, J. B. (2011). Incorporating haptic feedback in simulation for learning physics. *Computers & Education*, 57(4), 2281-2290. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.06.012>
- Hancock, P. A., Lawson, B., Cholewiak, R., Elliott, L. R., van Erp, J. B., Mortimer, B. J., & Redden, E. S. (2015). Tactile cuing to augment multisensory human-machine interaction. *Ergonomics in design*, 23(2), 4-9. doi: <https://doi.org/10.1177%2F1064804615572623>
- Hamza-Lup, F. G., & Baird, W. H. (2012, June). Feel the static and kinetic friction. In *International Conference on Human Haptic Sensing and Touch Enabled Computer Applications* (pp. 181-192). Springer, Berlin, Heidelberg. Recuperado de https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-31401-8_17
- Hestenes, D., Wells, M., & Swackhamer, G. (1992). Force concept inventory. *The physics teacher*, 30(3), 141-158. doi: <https://doi.org/10.1119/1.2343497>

- Hewson, P. W. (1990). La enseñanza de " Fuerza y Movimiento" como cambio conceptual. *Enseñanza de las Ciencias*, 8(2), 157-172. Recuperado de <https://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/51315/93062>
- Iparraguirre, L. (2009). *Mecánica Básica Fuerza y Movimiento*. Buenos Aires : Ministerio de Educación de la Nación. Instituto Nacional de Educación Tecnológica. Recuperado de <http://www.bnm.me.gov.ar/giga1/documentos/EL001845.pdf>
- Jones, M. G., Minogue, J., Tretter, T. R., Negishi, A., & Taylor, R. (2006). Haptic augmentation of science instruction: Does touch matter?. *Science Education*, 90(1), 111-123. Recuperado de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/sce.20086>
- Karmiloff-Smith, A. (1994). Précis of Beyond modularity: A developmental perspective on cognitive science. *Behavioral and brain sciences*, 17(4), 693-707. doi: <https://doi.org/10.1017/S0140525X00036621>
- Kolb, D. A. (1984). Experience as the source of learning and development. *Upper Sadle River: Prentice Hall*.
- Kolb, D. A., Boyatzis, R. E., & Mainemelis, C. (2001). Experiential learning theory: Previous research and new directions. *Perspectives on thinking, learning, and cognitive styles*, 1(8), 227-247.
- Koul, M. H., Saha, S. K., & Manivannan, M. (2013, December). Teaching mechanism dynamics using a haptic device. In *Proceedings of the 1st International and 16th National Conference on Machines and Mechanisms (iNaCoMM2013), IIT Roorkee, India*. Recuperado de <https://bit.ly/Teachinghaptic2YKbqwm>
- Lakoff, G., & Johnson, M. (1999). *Philosophy in the flesh: The embodied mind and its challenge to western thought* (Vol. 28). New York: Basic books.
- Lederman, S. J., & Klatzky, R. L. (1987). Hand movements: A window into haptic object recognition. *Cognitive psychology*, 19(3), 342-368. Recuperado de <https://bit.ly/Haptic2USrafG>
- Lederman, S. J., Klatzky, R. L., & Reed, C. L. (1993). Constraints on haptic integration of spatially shared object dimensions. *Perception*, 22(6), 723-743. doi: <https://doi.org/10.1068%2Fp220723>
- Lederman, S. J., & Klatzky, R. L. (2009). Haptic perception: A tutorial. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 71(7), 1439-1459. Recuperado de <https://bit.ly/haptic37DJhuV>

- Pozo, J. I., & Crespo, M. Á. G. (2004). *Aprender y enseñar ciencia: del conocimiento cotidiano al conocimiento científico*. Ediciones Morata.
- Pozo, J.I. (2014) *Psicología del Aprendizaje Humano: adquisición de conocimiento y cambio personal*. Madrid: Morata.
- Pozo, J. I. (2017). Learning beyond the body: from embodied representations to explicitation mediated by external representations/Aprender más allá del cuerpo: de las representaciones encarnadas a la explicitación mediada por representaciones externas. *Infancia y Aprendizaje*, 40(2), 219-276. doi: <https://doi.org/10.1080/02103702.2017.1306942>
- Pintó, R., Maymí, J. A., & Carrillo, R. G. (1996). Tres enfoques de la investigación sobre concepciones alternativas. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 14(2), 221-232. Recuperado de <https://bit.ly/enfoquesciencia2CclSAC>
- Gomila, T., & Calvo, P. (2008). Directions for an embodied cognitive science: toward an integrated approach. In *Handbook of cognitive science* (pp. 1-25). Elsevier. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-046616-3.00001-3>
- Gumtau, S. (2012). Crítica del diseño de la interacción háptica en un contexto histórico-¿ Qué sucede hoy con el tacto?. *la imaginación material, o los diez años de Artnodes*. Recuperado de <https://www.researchgate.net/profileshots/links.pdf>
- Manzanero, A. L., & Álvarez, M. Á. (2015). *La memoria humana*. Ediciones Pirámide.
- Minogue, J., & Jones, M. G. (2006). Haptics in education: Exploring an untapped sensory modality. *Review of Educational Research*, 76(3), 317-348. doi: <https://doi.org/10.3102%2F00346543076003317>
- Mora, C., y Benítez, Y. (2007). Errores conceptuales sobre fuerza y su impacto en la enseñanza. *Revista cubana de Física*, 41-45. Recuperado de <https://bit.ly/aprendizajefuerza3dbx4Pf>
- Moreira, M. A. (1994). Diez años de la revista "Enseñanza de las Ciencias": de una ilusión a una realidad. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 12(2), 147-153. Recuperado de <https://bit.ly/aprenderciencia37Fj6DX>
- Neri, L., Shaikh, U. A., Escobar-Castillejos, D., Magana, A. J., Noguez, J., & Benes, B. (2015, October). Improving the learning of physics concepts by using haptic devices. In *2015 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)* (pp. 1-7). IEEE. doi: <https://doi.org/10.1109/FIE.2015.7344069>.

- Nguyen, D. J., & Larson, J. B. (2015). Don't forget about the body: Exploring the curricular possibilities of embodied pedagogy. *Innovative Higher Education*, 40(4), 331-344. Recuperado de <https://link.springer.com/article/10.1007/s10755-015-9319-6>
- Regales, E. C., y Matachana, M. C. (2008). Diez años de evaluación de la enseñanza-aprendizaje de la mecánica de Newton en escuelas de ingeniería españolas. Rendimiento académico y presencia de preconceptos. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 26(1), 23-42. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/38990778.pdf>
- Reiner, M. (1999). Conceptual construction of fields through tactile interface. *Interactive Learning Environments*, 7(1), 31-55. doi: <https://doi.org/10.1076/ilee.7.1.31.3598>
- Revesz, G. (1950). *The psychology and art of the blind*. London: Longmans Green.
- Richard, C., Okamura, A. M., & Cutkosky, M. R. (1997, November). Getting a feel for dynamics: Using haptic interface kits for teaching dynamics and controls. In *1997 ASME IMECE 6th Annual Symposium on Haptic Interfaces, Dallas, TX, Nov* (pp. 15-21). Recuperado de <https://bit.ly/Stanfordhapticinterface>
- Rivera-Juárez, J. M., Vargas, Y. R., & Cabrera-Muruato, E. (2018). Evolución histórica del concepto fuerza. Parte II. *Latin-American Journal of Physics Education*, 12(2), 10. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6556411>
- Rowlands, M. J. (2010). *The new science of the mind: From extended mind to embodied phenomenology*. Mit Press.
- Shaikh, U. A., Magana, A. J., Neri, L., Escobar-Castillejos, D., Noguez, J., & Benes, B. (2017). Undergraduate students' conceptual interpretation and perceptions of haptic-enabled learning experiences. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 14(1), 15. Recuperado de <https://link.springer.com/content/pdf/10.1186/s41239-017-0053-2.pdf>
- Smith, L., & Gasser, M. (2005). The development of embodied cognition: Six lessons from babies. *Artificial life*, 11(1-2), 13-29. doi: <https://doi.org/10.1016/j.dr.2005.11.001>
- Srinivasan, M. A., & Basdogan, C. (1997). Haptics in virtual environments: Taxonomy, research status, and challenges. *Computers & Graphics*, 21(4), 393-404. doi: [https://doi.org/10.1016/S0097-8493\(97\)00030-7](https://doi.org/10.1016/S0097-8493(97)00030-7)
- Thagard, P. (2008). *La mente. Introducción a las ciencias cognitivas* (Vol. 3021). Katz Editores.

Turvey, M. T., Burton, G., Amazeen, E. L., Butwill, M., & Carello, C. (1998). Perceiving the width and height of a hand-held object by dynamic touch. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 24(1), 35. Recuperado de <https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/0096-1523.24.1.35>

Vermersch, P. (2019). *L'entretien d'explicitation*. ESF Sciences Humaines.

Vicovaro, M. (2014). Intuitive physics of free fall: an information integration approach to the mass-speed belief. *Psicológica*, 35(3), 463-477. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/169/16931900005.pdf>

Wagner, C. R., Stylopoulos, N., & Howe, R. D. (2002, March). The role of force feedback in surgery: analysis of blunt dissection. In *Proceedings 10th Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems. HAPTICS 2002* (pp. 68-74). IEEE. Recuperado de <https://bit.ly/forcefeedback2USGGrC>

Van Merriënboer, J. J., & Sweller, J. (2005). Cognitive load theory and complex learning: Recent developments and future directions. *Educational psychology review*, 17(2), 147-177. Recuperado de <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s10648-005-3951-0.pdf>

Williams, R. L., Chen, M. Y., & Seaton, J. M. (2003). Haptics-augmented simple-machine educational tools. *Journal of Science Education and Technology*, 12(1), 1-12. Recuperado de <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1022114409119>

Williams, R. L., He, X., Franklin, T., & Wang, S. (2007). Haptics-augmented engineering mechanics educational tools. *World Transactions on Engineering and Technology Education*, 6(1), 27. Recuperado de <https://bit.ly/Hapticsaugmented2Y9wr4u>

Yuksel, T., Walsh, Y., Krs, V., Benes, B., Ngambeki, I. B., Berger, E. J., & Magana, A. J. (2017, October). Exploration of affordances of visuo-haptic simulations to learn the concept of friction. In *2017 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)* (pp. 1-9). IEEE. doi: <https://doi.org/10.1016/j.vrih.2019.07.001>

Anexos

Anexo 1. Propuesta de Diseño de Experiencia Perceptual Háptica

Escenario Háptico Simulado N° 1

Objetivo:

Comprender la fuerza como un agente independiente a las características intrínsecas de los cuerpos. En consecuencia reconocer las posibles interacciones y las fuerzas presentes.

Descripción:

Las simulaciones parten de la presentación de un contexto, donde es posible manipular los objetos que se disponen en la recreación (Imagen 1). En el escenario se presenta una caja en reposo sobre una mesa. El estudiante podrá explorar por medio del dispositivo los diferentes objetos (3D) presentes y estos retroalimentarán información básica como presión, peso, patrones y textura, así mismo, se procurará una interacción lo más natural posible por lo que podrá levantar y soltar los objetos (Imagen 2) de forma precisa y coherente. Este espacio virtual tiene como objetivo que el estudiante logre reconocer la interacción de fuerza normal, por lo tanto cuando posicione la caja en su estado inicial (fuerza normal), informará sobre la interacción y se emitirán las fuerzas pertinentes (Imagen 3). Aunque se resalta esta característica, todos los escenarios presentan la posibilidad de estudiar el concepto de fuerza y la tercera ley de Newton de forma general, así mismo, pueden mostrar información extra aunque puede ser deshabilitada si se requiere (Imagen 4).

Instrucción inicial sugerida en la exploración:

Identifica las interacciones de fuerza presentes, explora algunas opciones moviendo los objetos que se encuentran en el escenario.



Imagen 1. Plano General



Imagen 2. Posibilidad de Exploración.

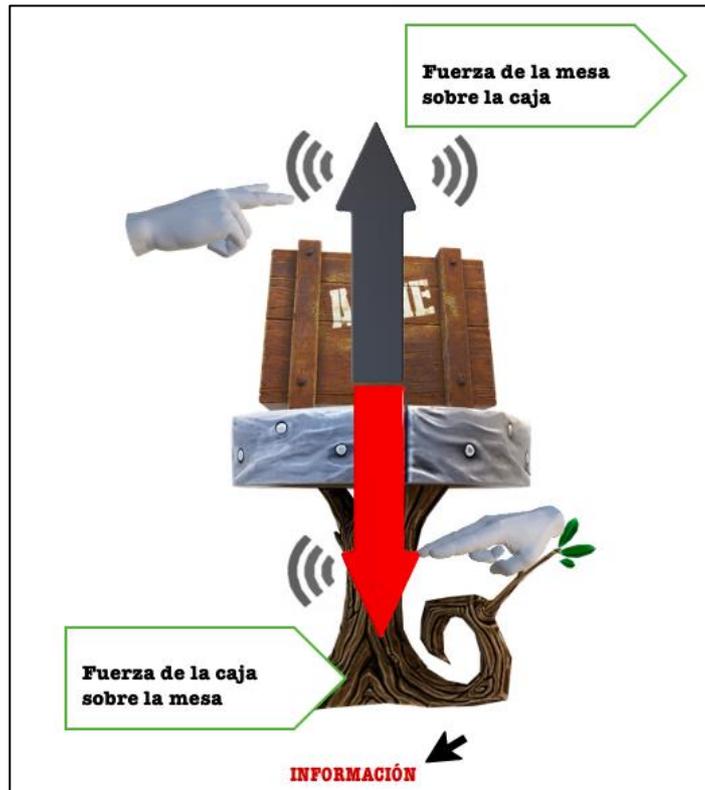


Imagen 3. Fuerza Normal

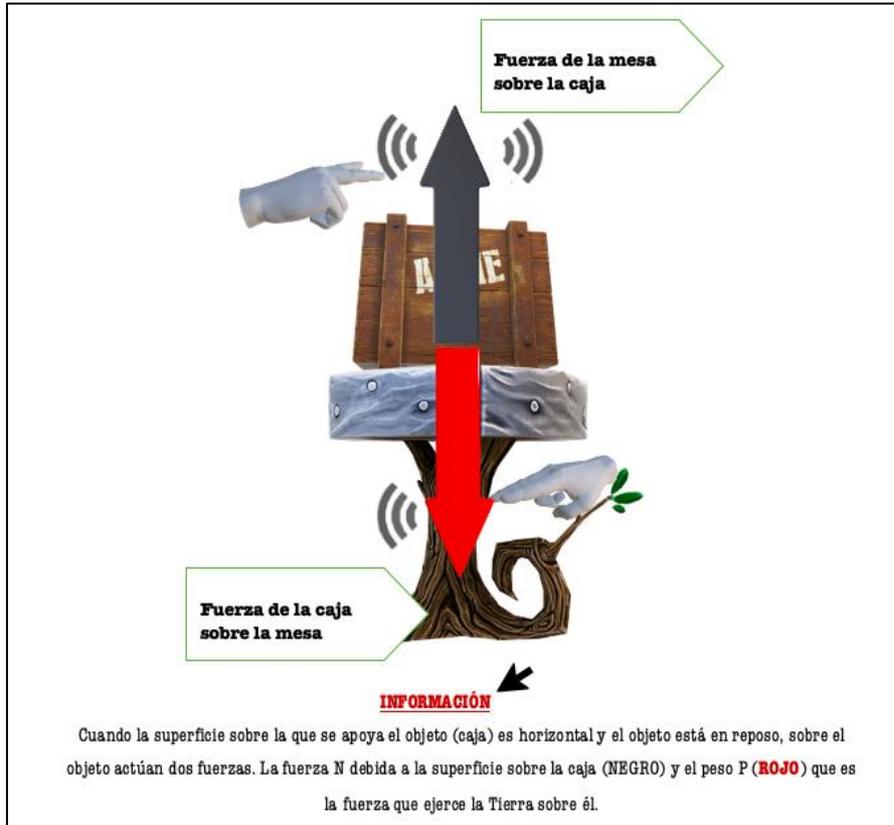


Imagen 4. Información Adicional

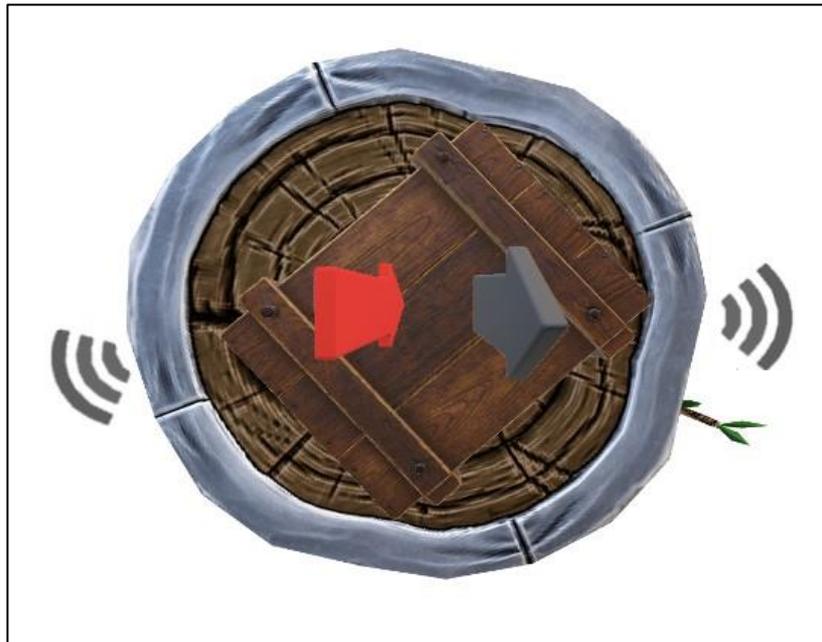


Imagen 5. Percepción Peso Normal Diferente Posición y Plano

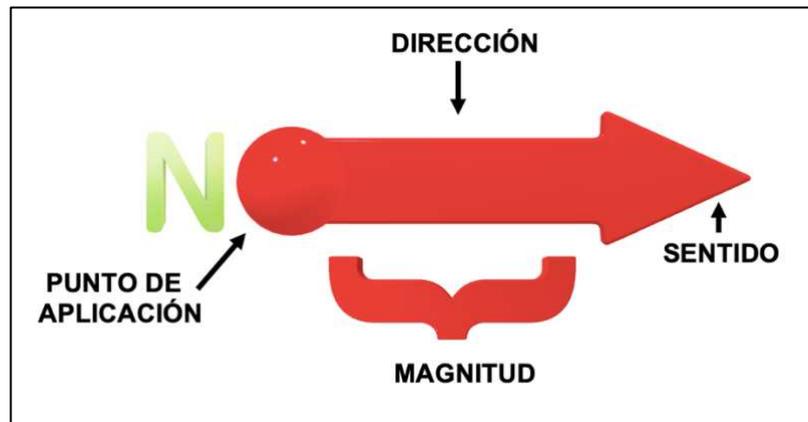


Imagen 6. Características de los vectores.

Escenario Háptico Simulado N°. 2

Objetivo:

Proporcionar información sensorial háptica que permita disminuir la idea previa de la dominancia de un objeto sobre otro, en donde el objeto más grande, de mayor masa o más rápido ejerce la mayor fuerza, es decir en la interacción un objeto se encuentra privilegiado.

Descripción:

Un autobús escolar grande y pesado se descompone en el camino. Un automóvil pequeño lo empuja por detrás hacia el pueblo más cercano (Imagen 1). En esta escena el estudiante podrá interactuar con el punto de contacto entre el coche y el autobús desde diferentes posiciones (imagen 2) y podrá percibir de forma diferenciada alrededor de los objetos de la pantalla las fuerzas (simétricas) que se retroalimentan en su mano, productor de la interacción entre los dos objetos. La fuerza con que el automóvil pequeño empuja al autobús es igual a la fuerza con la que el autobús empuja al automóvil (Imagen 3).

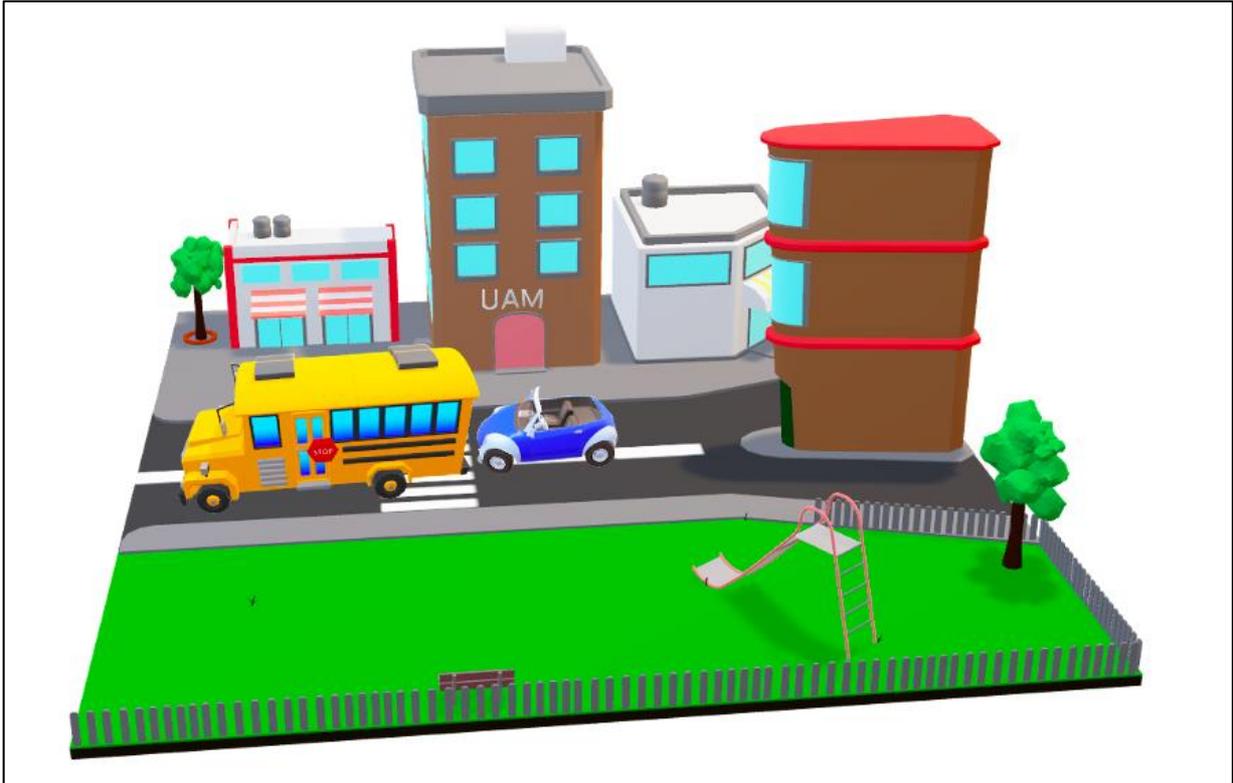


Imagen 1. Escenario Interacción Háptica Plano General.

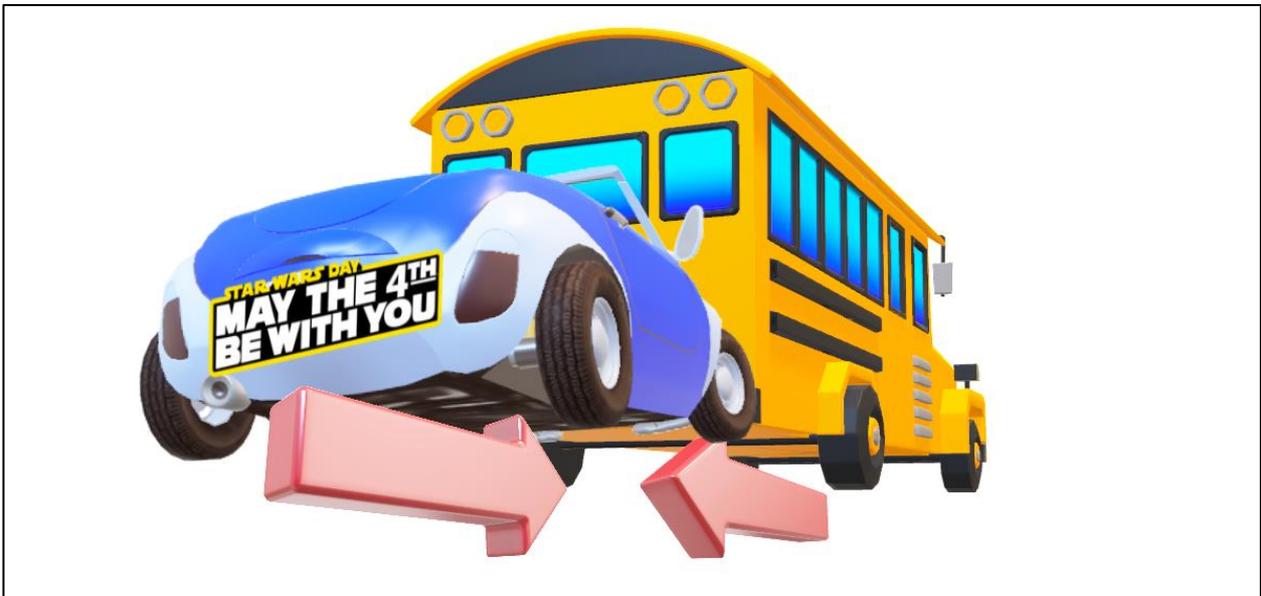


Imagen 2. Exploración Háptica en Diferentes Planos.

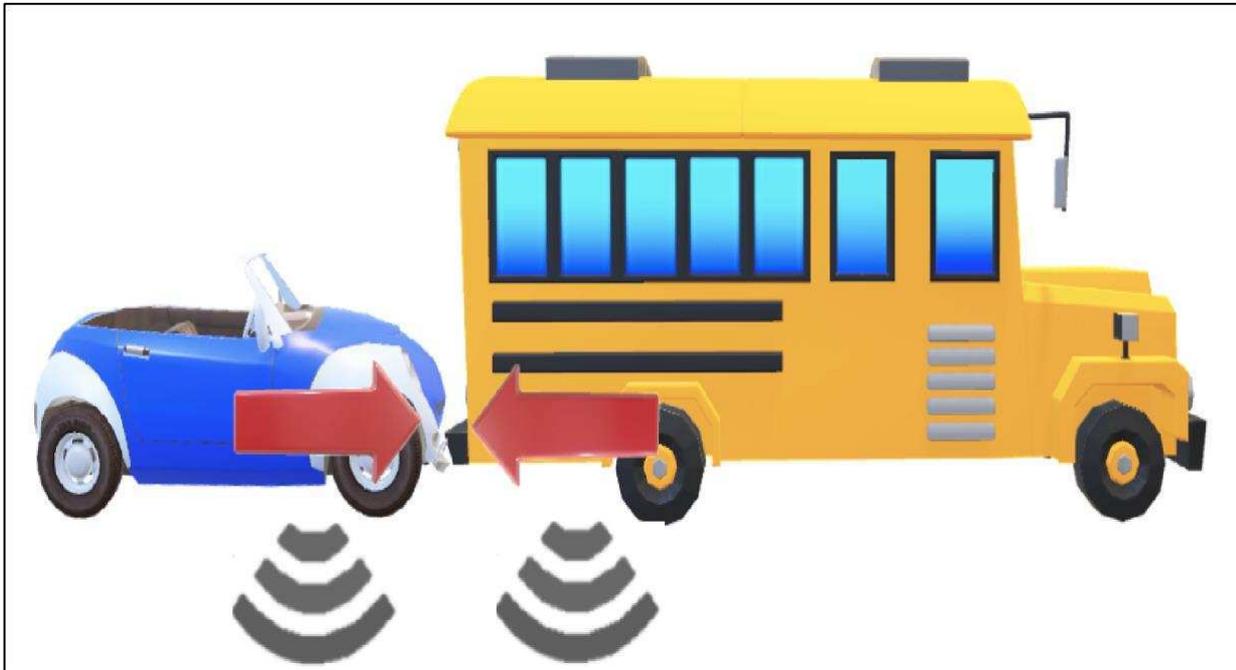


Imagen 3. Simetría y dirección de fuerzas.

Escenario Háptico Simulado N° 3

Objetivo:

Facilitar la comprensión de Tercera ley de Newton, si un objeto A ejerce una fuerza sobre un objeto B, el objeto B ejerce sobre A una fuerza igual y de sentido contrario.

Descripción:

De acuerdo con los escenarios previos en la presente simulación se muestra un plano general (Imagen 1.) en el que se puede igualmente interactuar con los diferentes objetos dispuestos, no obstante, la escena requiere ayudar a una persona que está en un bote y desea alejarse de la orilla, por lo que se presenta la opción de que el estudiante interactúe con el remo que se apoya en tierra firme. El estudiante deberá interpretar ¿por qué si empuja en un sentido, el efecto es en el sentido contrario?, en este escenario se presentará la correspondencia de los vectores con la retroalimentación de las fuerzas (Imagen 2). Aunque los escenarios presentan la opción de representar todas las leyes de Newton, sin embargo, en este caso se quiere ejemplificar la tercera ley: si un cuerpo ejerce una fuerza sobre otro se produce una reacción de igual intensidad y dirección pero en sentido contrario del cuerpo que lo produce.

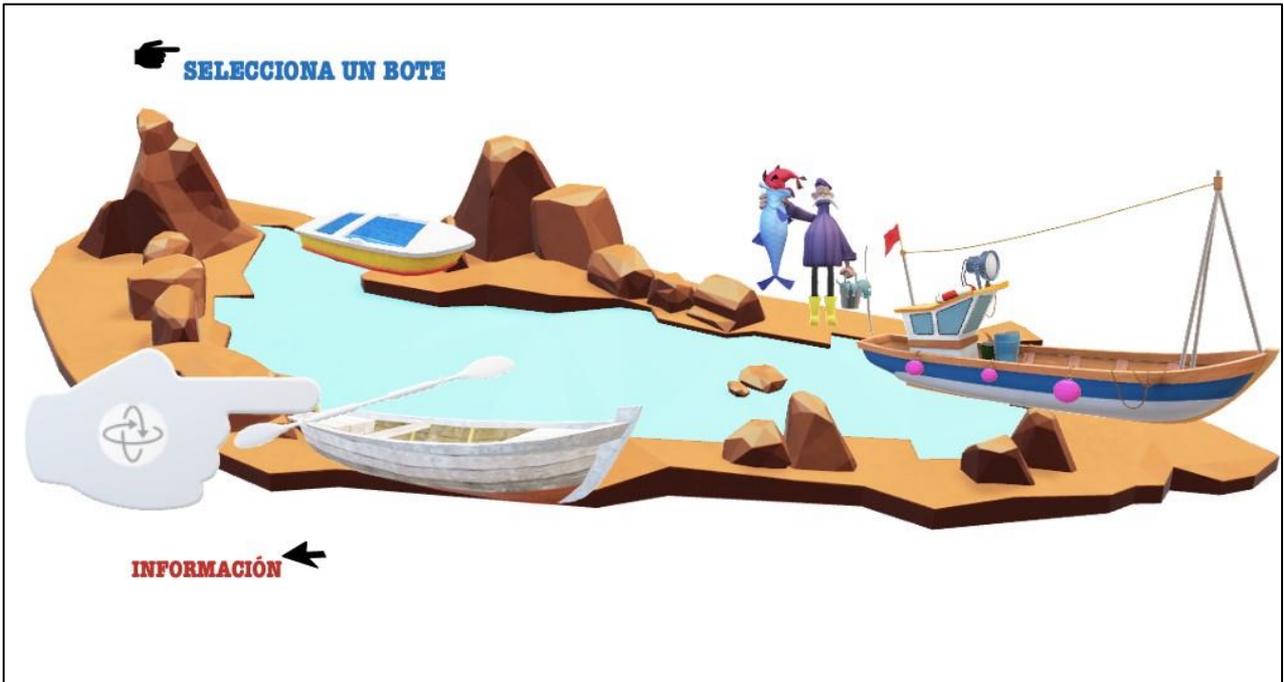


Imagen 1. Plano general. Interacción háptica con los elementos.



Imagen 2. Acción y Reacción



Imagen 3. Opción de Información Adicional

4 Imágenes prediseñadas Word. Diseño del escenario tentativo de construcción propia.

Anexo 2. Cuestionario (pretest- postest)

Por favor siga las indicaciones:

- Marque solo una respuesta por pregunta.
- No deje ninguna pregunta sin contestar.
- Evite adivinar. Sus respuestas deben reflejar lo que usted personalmente piensa.
- Calcule terminar este cuestionario en 10 minutos.

Gracias por su colaboración.

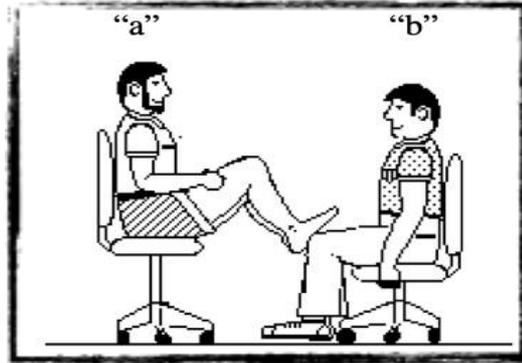
1. Uno chico lanza hacia arriba una bola de acero. Considera el movimiento de la bola durante el intervalo comprendido entre el momento en que ésta deja de estar en contacto con la mano de la chica hasta un instante anterior al impacto con el suelo. Suponga que las fuerzas ejercidas por el aire son despreciables (no las tengas en cuenta). En estas condiciones, la(s) fuerza(s) que actúa(n) sobre la bola es (son):

- (A) una fuerza hacia abajo debida a la gravedad junto con una fuerza hacia arriba que disminuye continuamente.
- (B) una fuerza hacia arriba que disminuye continuamente desde el momento en que la bola abandona la mano del chico hasta que alcanza su punto más alto; en el camino de descenso hay una fuerza hacia abajo debida a la gravedad que aumenta continuamente a medida que el objeto se acerca progresivamente a la tierra.
- (C) una fuerza hacia abajo prácticamente constante debida a la gravedad junto con una fuerza hacia arriba que disminuye continuamente hasta que la bola alcanza su punto más alto; en el camino de descenso solo hay una fuerza constante hacia abajo debida a la gravedad.
- (D) Solo una fuerza hacia abajo, prácticamente constante, debida a la gravedad.
- (E) Ninguna de las anteriores. La bola cae al suelo por su tendencia natural a descansar sobre la superficie de la tierra.

2. Un disco de hokey se desliza por un lago congelado la(s) principal(es) fuerza(s) que actúa(n) sobre el disco después de recibir un golpe es (son):

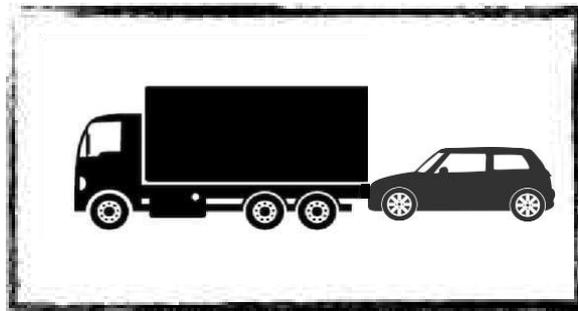
- (A) una fuerza hacia abajo debida a la gravedad.
- (B) una fuerza hacia abajo debida a la gravedad y una fuerza horizontal en la dirección del movimiento.
- (C) una fuerza hacia abajo debida a la gravedad, una fuerza hacia arriba ejercida por la superficie y una fuerza horizontal en la dirección del movimiento (*correcta*).
- (D) una fuerza hacia abajo debida a la gravedad y una fuerza hacia arriba ejercida por la superficie.
- (E) ninguna. (No actúa ninguna fuerza sobre el disco).

3. En la figura adjunta, el estudiante "a" tiene una masa de 95 Kg y el estudiante "b" tiene una masa de 77 Kg. Ambos se sientan en idénticas sillas de oficina cara a cara. El estudiante "a" coloca sus pies descalzos sobre las rodillas del estudiante "b", tal como se muestra. Seguidamente el estudiante "a" empuja súbitamente con sus pies hacia adelante, haciendo que ambas sillas se muevan. Durante el empuje, mientras los estudiantes están aun en contacto:



- (A) Ninguno de los dos estudiantes ejerce una fuerza sobre el otro.
- (B) El estudiante (a) ejerce una fuerza sobre (b), pero este no ejerce ninguna fuerza sobre (a).
- (C) Ambos estudiantes ejercen una fuerza sobre el otro, pero (b) ejerce una fuerza mayor.
- (D) Ambos estudiantes ejercen una fuerza sobre el otro, pero (a) ejerce una fuerza mayor.
- (E) Ambos estudiantes ejercen la misma fuerza sobre el otro. (correcta) (Pregunta 28 FCI)

4. Un camión grande y pesado se avería en la carretera y un pequeño automóvil lo empuja de regreso a la ciudad tal como se muestra en la figura adjunta.

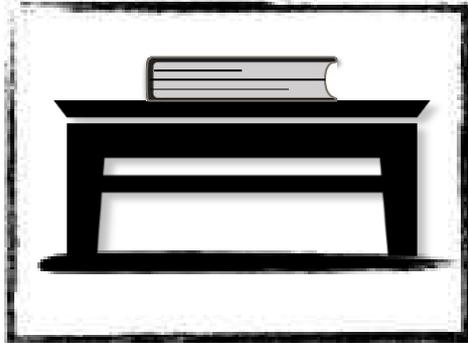


En este caso:

- (A) La fuerza con que el automóvil pequeño empuja al camión es igual a la fuerza con la que el camión empuja al automóvil. (correcta)
- (B) La fuerza con que el automóvil empuja al camión es menor que la fuerza que el camión ejerce sobre el automóvil.
- (C) La fuerza con la que el automóvil empuja al camión es mayor que la fuerza con que el camión empuja al automóvil.

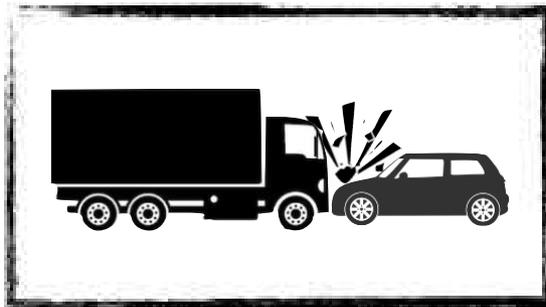
- (D) Dado que el motor del automóvil está en marcha, este puede empujar al camión, pero el motor del camión no está funcionando, de modo que el camión no puede empujar al auto. El camión es empujado hacia adelante simplemente porque está en el camino del automóvil.
- (E) Ni el carro ni el camión ejercen fuerzas uno sobre el otro, el camión es empujado hacia adelante simplemente porque está en el camino del automóvil.

5. En la imagen hay un libro que se encuentra en reposo sobre una mesa. Identifica de ser posible las interacciones de fuerza presentes.



- (A) El libro está en reposo no existen fuerzas.
- (B) La de contacto contra la mesa.
- (C) Dos interacciones la primera origina una fuerza gravitatoria sobre el cuerpo y la segunda una fuerza electrostática de contacto también sobre el cuerpo y opuesta a la gravitatoria.
- (D) Solo una fuerza hacia abajo, debida a la gravedad.
- (E) Ninguna de las anteriores.

6. Suponga que un automóvil choca contra un autobús. Durante el choque:



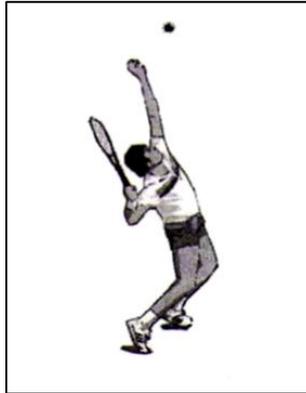
- (A) El autobús ejerce más fuerza sobre el automóvil que este sobre el autobús.
- (B) El automóvil ejerce más fuerza sobre el autobús que este sobre el automóvil.
- (C) Ninguno ejerce fuerza sobre el otro. El coche se aplasta simplemente porque se pone en el camino del autobús.

- (D) El autobús ejerce una fuerza sobre el automóvil, pero este no ejerce fuerza alguna sobre el autobús.
 (E) El autobús ejerce la misma cantidad de fuerza sobre el automóvil que este sobre el autobús.

7. A pesar de que hace un viento muy fuerte, una tenista consigue golpear una pelota de tenis con su raqueta de modo que la pelota pasa por encima de la red y cae sobre el campo de su oponente.

Considérense las siguientes fuerzas:

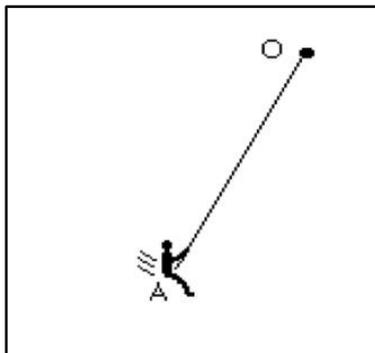
1. Una fuerza hacia abajo debida a la gravedad.
2. Una fuerza por el "golpe".
3. La fuerza del humano.



¿Cuál(es) de estas fuerzas actúa(n) sobre la pelota después de que ésta deja de estar en contacto con la raqueta y antes de que toque el suelo?

- (A) 1 y 2
 (B) solo la 1.
 (C) 2 y 3
 (D) solo la 3
 (E) Ninguna, los objetos sin vida no tienen fuerza.

8. La figura adjunta muestra a un chico columpiándose en una cuerda, comenzando en un punto más alto que A. Considérense las siguientes fuerzas:



1. Una fuerza hacia abajo debida a la gravedad.
2. Una fuerza ejercida por la cuerda dirigida de A hacia O.

3. Una fuerza en la dirección del movimiento del chico.
4. Una fuerza en la dirección de O hacia A.

¿Cuál(es) de dichas fuerzas actúa(n) sobre el chico en la posición A?

- (A) solo la 1.
- (B) 1 y 2.
- (C) 1 y 3.
- (D) 1, 2 y 3 (*correcta*) (E) 1, 3 y 4.

9. Una silla de oficina vacía está en reposo sobre el suelo.

Considérense las siguientes fuerzas:

1. Una fuerza hacia abajo debida a la gravedad.
2. Una fuerza hacia arriba ejercida por el suelo.
3. Una fuerza neta hacia abajo ejercida por el aire.

¿Cuál(es) de estas fuerzas actúa(n) sobre la silla de oficina?

- (A) solo la 1.
- (B) 1 y 2.
- (C) 2 y 3.
- (D) 1, 2 y 3.
- (E) ninguna de las fuerzas no hay nadie en la silla y no esta en movimiento.

Anexo 3. Cuestionario Explicitación de la Experiencia**Grupo Experimental 1.****Nombre:****Curso:****Fecha:**

Con ayuda de la siguiente guía tendrás la oportunidad de revisar tu experiencia con el dispositivo háptico. Lee con atención las instrucciones y contesta en su totalidad las preguntas.

Gracias por participar 😊.

1. ¿En que parte del cuerpo has sentido los estímulos?

2. Señala con una X las sensaciones que has experimentado usando el dispositivo y ¿Cómo las describirías? por ejemplo, fuerte, débil, suave, dura, amplía, localizada, fina, gruesa, Otra.

() Vibración _____

() Picor _____

() Cosquilleo _____

() Presión _____

() Movimiento _____

() Otra ¿cuál? _____

3. ¿Has sentido varios estímulos a la vez? ¿cuántos? ¿indícalos?

4. ¿Has notado si los estímulos te ofrecen información sobre las actividades? ¿Si ha sido así específica sobre qué?

5. ¿Puedes ubicar el punto de origen y por qué empiezan los estímulos en los escenarios? por ejemplo: el punto de origen de las vibraciones es fuera, dentro, alrededor, etc., de los objetos. Haz una gráfica o dibujo que lo represente.



6. Realiza un dibujo teniendo en cuenta las actividades de cada escenario en donde:

- Representes la(s) fuerza(s) señalando ¿de dónde provienen en cada caso?
- Cuál o cuáles interacciones identificas.



7. ¿Crees que hay alguna relación entre los contenidos simulados entre los escenarios? Si crees que si hay, indica cómo es esa relación.

8. ¿En qué aspectos de las actividades te has fijado para resolver las tareas?

9. ¿Podrías relacionar las actividades con otras experiencias que hayas tenido en clase o fuera de clase? ¿cuáles?

10. Explica con tus propias palabras ¿cuál crees que es el objetivo de las actividades?, ¿qué has aprendido?

Grupo experimental 2

Nombre:

Curso:

Fecha:

Con ayuda de la siguiente guía tendrás la oportunidad de revisar tu experiencia en el ordenador con la animación 3D. Lee con atención las instrucciones y contesta en su totalidad las preguntas.

Gracias por participar 😊.

1. ¿Qué estímulos visuales experimentaste en las actividades? ¿sobre que informan esos estímulos? por ejemplo, características o comportamiento de los objetos y del ambiente, interacciones, etc.

- () Posición _____
- () Tamaño _____
- () Forma _____
- () Textura _____
- () Color _____
- () Orientación _____
- () Distancia _____
- () Otra, ¿cuál? _____

2. ¿Has visualizado varios estímulos a la vez en una misma figura? ¿cuántos? ¿indica que informan sobre la actividad?

3. ¿Las imágenes 3D en las actividades te han ofrecido más información que las imágenes habituales en los libros (2D)? ¿Si ha sido así indica sobre que aspectos?

4. ¿Puedes ubicar el punto de origen y por qué se presenta las fuerzas en los escenarios? por ejemplo: el punto de origen es fuera, dentro, alrededor, etc., de los objetos. Haz una gráfica o dibujo que lo represente.



5. Realiza un dibujo de acuerdo a lo que has visualizado en donde:

- Representes la(s) fuerza(s) señalando ¿de dónde provienen en cada caso?
- Cuál o cuáles interacciones identificas.



6. ¿Crees que hay alguna relación entre los contenidos simulados entre los escenarios? Si crees que si hay, indica cómo es esa relación.

7. ¿En qué aspectos de las actividades te has fijado para resolver las tareas?

8. ¿Podrías relacionar las actividades con otras experiencias que hayas tenido en clase o fuera de clase?
¿cuáles?

9. Explica con tus propias palabras ¿cuál crees que es el objetivo de las actividades?, ¿qué has aprendido?

Grupo Control.

Nombre:

Curso:

Fecha:

Con ayuda de la siguiente guía tendrás la oportunidad de revisar tu experiencia con la animación 3D. Lee con atención las instrucciones y contesta en su totalidad las preguntas.

Gracias por participar 😊.

1. ¿Cuál es el tema del texto?

2. Ponle un título al Texto

3. Según el texto una fuerza es:

4. Realiza un dibujo de acuerdo a lo que has leído donde:

- Representes la(s) fuerza(s) señalando ¿de dónde provienen en cada caso?
- Cuál o cuáles interacciones identificas.



5. ¿Qué aspectos del texto han sido claves para resolver esta tarea? por ejemplo, un resumen, los títulos, las actividades, etc. ¿Por qué?

6. ¿Puedes establecer alguna relación entre la actividad con otras experiencias? ¿con cuáles?

7. Explica con tus palabras ¿cuál crees es el objetivo del texto?

Anexo 4. Encuesta de Usabilidad

Encuesta de Satisfacción. A continuación encontrarás unas oraciones que tratan sobre tu experiencia en la actividad, deberás escoger una de tres opciones, teniendo en cuenta si te encuentras: en desacuerdo, eres neutral (no tienes una opinión clara al respecto) o si estas de acuerdo con el enunciado. Te agradecemos las leas con detenimiento. *Tu opinión nos ayuda a mejorar* 😊.

Ítems	En total desacuerdo	En desacuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
En general, estoy satisfecho(a) con lo fácil que fue utilizar la interfaz.					
Fue fácil usar esta interfaz					
Fui capaz de completar las actividades					
Me sentí cómodo(a) utilizando la interfaz.					
Fue fácil aprender a utilizar esta interfaz.					
Creo que me volví experto rápidamente utilizando la interfaz.					
Cada vez que cometo un error utilizando la interfaz lo resuelvo fácil.					
La información (contenido imágenes, mensajes en pantalla) que provee la interfaz es clara					
Me siento confundido(a) frente a la utilidad de la actividad					
Me gustó utilizar este tipo de tecnología					
La experiencia no fue satisfactoria, fue difícil utilizar la interfaz.					
La información que proporciona la interfaz fue efectiva ayudándome a completar las tareas					

¿Qué fue lo que más te gusto de las actividades con la interfaz?

¿Qué mejorarías?

Observaciones o comentarios que desees contarnos:

GRACIAS POR PARTICIPAR

Anexo 5. Folleto Experiencia de Aprendizaje Háptico



Imágenes de los personajes prediseñadas de Animaker. Diseño del folleto de construcción propia.

Información adicional para alumnos (de ser necesaria)

1. APRENDIENDO FÍSICA

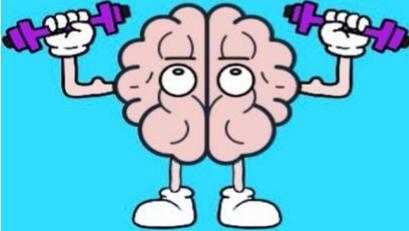
EN TU VIDA COTIDIANA HAS APRENDIDO CÓMO FUNCIONA EL MUNDO QUE TE RODEA POR LO QUE USAS CON FRECUENCIA CONCEPTOS COMO FUERZA.

LA FUERZA ES UNA CUALIDAD DE LOS OBJETOS Y DEPENDE DE SUS CARACTERÍSTICAS EXTERNAS COMO SU TAMAÑO....

2.

LAS IDEAS PREVIAS: AUNQUE ALGUNAS VECES NO SOMOS CONSCIENTES DE ELLAS ¡EXISTEN!.

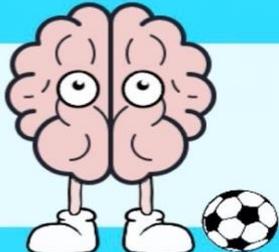
Ideas previas





3.

ESTAS IDEAS TE SIRVEN PARA EXPLICAR LAS COSAS QUE PASAN A TU ALREDEDOR Y PODER INTERACTUAR CON ELLAS, POR EJEMPLO, GOLPEAR UN BALÓN, ABRIR UNA PUERTA, HACER FORMAS CON PLASTILINA..



EL CONCEPTO DE LA FUERZA

4.

PERO NO SON IGUALES A LOS CONCEPTOS CIENTÍFICOS ¡POR LO QUE NO TE SERVIRÁN EN CLASE DE FÍSICA!

DEBERÁS DESCUBRIR NUEVAMENTE ESTOS CONCEPTOS.

5.

[MEMORIZANDO]...
LA FUERZA ES TODO AQUELLOS CAPAZ DE DEFORMAR UN OBJETO O MODIFICAR SU ESTADO DE REPOSO O MOVIMIENTO.



6. PARA APRENDER EN CIENCIAS NO BASTA CON MEMORIZAR INFORMACIÓN.

CONTINUARA...

CUANDO NO HAS ENTENDIDO EL CONCEPTO, VUELVES A EXPLICARLO CON TUS IDEAS PREVIAS.

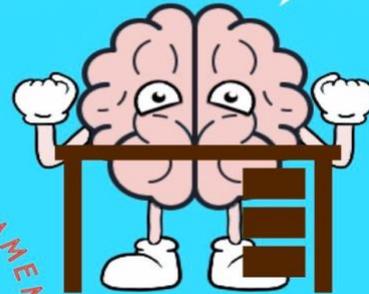
EL DÍA DEL EXAMEN

7.



IDENTIFICA LAS FUERZAS PRESENTES EN LA INTERACCIÓN AH? ¿CÓMO ERA?

5 MINUTOS DESPUÉS



¡ESO ES! LAS FUERZAS ESTÁN EN LAS MANOS DE LOS SERES VIVOS GRANDES.

RESULTADO DEL EXAMEN:

X	=	F
X		
X		
X		
X		

REPROBADO

ES POR ESTO QUE HEMOS DISEÑADO UN EXPERIMENTO PARA AYUDARTE

POR MEDIO DE UN ORDENADOR Y UN MANDO PODRÁS VER SIMULACIONES VIRTUALES QUE TE SEÑALARÁN CON UN VECTOR (FLECHAS) CADA VEZ QUE APARECE UNA FUERZA EN LA INTERACCIÓN.



POR MEDIO DE ESTE DISPOSITIVO, DE FORMA SIMULTÁNEA A LA IMAGEN, PODRÁS PERCIBIR A TRAVÉS DE TU MANO ALGUNAS DE LAS FUERZAS QUE APARECE EN LAS DIFERENTES INTERACCIONES EN LA PANTALLA. SENTIRÁS VARIAS SENSACIONES, COMO ((VIBRACIÓN)) SIMILAR A LAS QUE REPRODUCEN LOS MÓVILES.

