



ESTÉTICA Y SIMETRÍA EN LAS CONCEPCIONES ALTERNATIVAS DE ESPACIO EN LA MECÁNICA NEWTONIANA

AESTHETICS AND SYMMETRY IN THE ALTERNATIVE CONCEPTIONS OF SPACE IN NEWTONIAN MECHANICS

ESTÉTICA E SIMETRIA NAS CONCEPÇÕES ESPONTÂNEAS DE ESPAÇO DA MECÂNICA NEWTONIANA

Flaviston Ferreira Pires * , José Alves da Silva **

Pires, F.; Silva, J. (2022). Estética y Simetría en las concepciones alternativas de espacio en la mecánica newtoniana. *Gondola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias*, 17(3), pp. 590-606 . DOI: [1https://doi.org/10.14483/23464712.18779](https://doi.org/10.14483/23464712.18779)

Resumen

Pretendemos contribuir a la formación inicial de los profesores de ciencias, investigando los conceptos de estética y simetría presentes en algunos conceptos alternativos en la mecánica newtoniana. Luego de realizar una búsqueda bibliográfica y una revisión historiográfica sobre los conceptos de estética y simetría en las leyes de Newton y conceptos alternativos sobre el tema, implementamos una secuencia didáctica en una asignatura básica de física de una carrera de ciencias, con el fin de descubrir en que forma estos elementos de estética y simetría estaban presentes en los conceptos alternativos planteados por los estudiantes, con más énfasis en el concepto de espacio. Basando el marco teórico en fundamentos metodológicos relacionados con la rutina escolar. Los datos fueron recolectados a través de producciones textuales, grabaciones de clases, apuntes en los cuadernos de la bitácora del investigador y una prueba. Sistematizamos las categorías de resultados encontrados mediante análisis de contenido. Encontramos una fuerte presencia de aspectos de estética y simetría en estas concepciones, especialmente en la discusión del espacio, en particular por su fuerte relación con los sentidos físicos (visión, sobre todo).

Palabras-Clave: Estética. Formación del Concepto. Espacio. Formación del profesores

Abstract

This work aims to contribute to the initial training of science teachers by investigating the concepts of aesthetics and symmetry present in some alternative conceptions of

* Master en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática (PECMA). Universidade Federal de São Paulo. Diadema. Brasil. E-mail: ton.fpires@hotmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1329-1399>

** Doctor en educación. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática. Departamento de Ciências Exatas e da Terra. Universidade Federal de São Paulo. Diadema. Brasil. E-mail: jose.alves@unifesp.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5597-8645>

Fecha de recibido: enero de 2022. Fecha de publicado: julio de 2022

Newtonian mechanics. We developed a didactic approach to a discipline of physics in higher education, in a science course, trying to discover how these elements of aesthetics and symmetry were present in the alternative concepts brought up by students enrolled in this discipline. For that, we carried out bibliographical research on the concepts of aesthetics and symmetry in a historiographical review of Newton's laws and alternative concepts. A methodological foundation related to the school routine as a theoretical framework was used. Data collection was through textual productions, recordings of classes, notes in diaries, and a test. The analysis was made following the content analysis method. The results suggest a strong presence of aspects of aesthetics and symmetry in these conceptions, especially about space, in particular, due to their relationship with the physical senses (vision, especially).

Keywords: Aesthetics. Concept construction. Space. Teacher training

Resumo

Pretendemos contribuir com a formação inicial de professores de ciências por meio da investigação dos conceitos de estética e simetria presentes em alguns conceitos espontâneos na mecânica newtoniana. Após realizarmos uma pesquisa bibliográfica e uma revisão historiográfica acerca dos conceitos de estética e de simetria nas leis de Newton e dos conceitos espontâneos sobre o tema, implementamos uma sequência didática em uma disciplina de física básica de um curso de licenciatura em ciências, de modo a descobriremos de que maneira esses elementos de estética e de simetria estavam presentes nos conceitos espontâneos trazidos à tona pelos estudantes (com mais ênfase no conceito de espaço). Usando fundamentos metodológicos relacionados ao cotidiano escolar como marco teórico. Os dados foram colhidos por meio de produções textuais, gravações de aulas, anotações em diários do pesquisador e com os resultados de um teste. Sistematizamos as categorias de resultados encontrados por meio da análise de conteúdo. Constatamos forte presença de aspectos de estética e de simetria nessas concepções, especialmente na discussão de espaço, em particular devido à sua relação com os sentidos físicos (visão, sobretudo).

Palavras-Chave: Estética. Formação de Conceitos. Espaço. Formação de professores.

1. Introducción

Los estudiantes tienen conflictos cognitivos que superar, entre la adquisición de conocimientos específicos de la propia física científica, enseñados formalmente, y los conocimientos que surgen de la física alternativa (la llamaremos concepciones), intrínsecos al individuo, construidos a partir de sus experiencias con y en el mundo. Con el profesor en formación, esto no

parece ser diferente. En varios individuos, estas concepciones - referidas en este artículo como 'alternativas'¹² - están fuertemente incorporadas a la estructura cognitiva, haciéndolas altamente resistentes a la enseñanza:

[...] niños y adolescentes se desarrollan espontáneamente y traen al aula conceptos sobre fenómenos físicos. Las investigaciones han demostrado que estas concepciones, en forma de

² Entre los otros nombres asignados, hay misconceptions, además de “alternative frameworks”, “alternative conceptions”, “children’s Science etc”. (ZYLBERSTAJN, 1983, p, 2).

expectativas, creencias, principios intuitivos y significados atribuidos a las palabras, abarcan una amplia gama de conceptos que forman parte de los planes de estudio de las asignaturas científicas (ZYLBERSTAJN, 1983, p. 1; traducción nuestra).

Más adelante, prosigue el autor, respecto a estas concepciones:

[...] les proporciona una comprensión personal de esta realidad, influyendo en la forma en que estos estudiantes aprenden (o no aprenden) los conceptos que se les enseñan (ZYLBERSTAJN, 1983, p. 2; traducción nuestra).

BACCON (2010) incluso señala que las concepciones alternativas pueden tener tres orígenes: a) sensorial, que tiene como objetivo dar sentido a las actividades cotidianas, por ejemplo, la idea intuitiva de fuerza; b) cultural, que se origina en el contexto social (en la vida social de las personas); c) educativas, provenientes de materiales y actividades didácticas). En el caso de la física, varias de estas concepciones fueron mapeadas en sus diferentes subáreas, la mayoría de ellas muy similares pese las diferencias culturales en los muchos países (ZYLBERSTAJN, 1983). En efecto, los estudios sobre estas concepciones tuvieron una fuerte proyección en los años 1970 y 1980 e influyeron decisivamente en la proposición de formas de enseñanza que parecían innovadoras desde entonces, como es el caso de las distintas corrientes del constructivismo (VILLANI, PACCA, 1997) o estudios vinculados a Vygotsky (CASTRO, 2019). Este trabajo se centró en los estudios ya realizados en la subárea de la física denominada mecánica (DRIVER, 1989), particularmente en los conceptos involucrados en las leyes de Newton, discutidos en los trabajos de WATTS, Zylberstajn (1981), CLEMENT (1982), PEDUZZI, PEDUZZI (1985) y BACCON (2010).

Así que, buscamos asociar, en este trabajo, las discusiones de estas concepciones alternativas sobre algunos conceptos de la mecánica, en particular las leyes de Newton, con las relacionadas con la estética y la simetría en el espacio (MENEZES, 2005), que detallaremos a continuación.

2. Marco Teórico sobre estética y simetría en física.

A partir de las interacciones con el mundo, el alumno porta conceptos estéticos que “penetran el reconocimiento y fundamento de una nueva forma de ver, vivir, sentir - uno mismo, los demás, la vida, la naturaleza, las actividades humanas” (QUADROS, 1986, p. 22; traducción nuestra). Estos conceptos guían la formación de la estructura del pensamiento del individuo.

Al investigar el origen del término estética, notamos que se relaciona con la percepción y las sensaciones, con algo que actúa sobre el ser humano dentro de su interpretación del mundo, en una perspectiva de que “el hombre frente al mundo es un intérprete” (QUADROS, 1986, p.188; traducción nuestra). El ser humano percibe, siente el mundo y lo interpreta buscando algún sentido. Entonces hay un carácter estético, es decir, productivo, formador, inventor, en todo el movimiento del conocer. Y esta estética

[...] está en donde exista alguna actividad humana, de cualquier orden, dimensión o nivel. [...] cuando el ser humano hace algo, hace un pensamiento, una acción o un logro, un trabajo, o cualquier otra operación, en este hacer siempre pone, de alguna manera, su sensibilidad, su gusto, su singularidad, su colorido, su estilo, su "aísthesis", su ser estético. (QUADROS, 1986,p. 38 y 39, comillas en el original; traducción nuestra).

Se basa, por tanto, en la estética, para aprender y reaprender a ver el mundo interpretándolo. Ninguna teoría natural se formula de forma aislada, siempre dependiendo de quién la contempla, así como de las hipótesis y cuestiones estéticas internas que este individuo trae consigo (KANT, 1993). Por todo ello, entenderemos, a lo largo de este trabajo, la estética como "la visión, el gusto, las percepciones y demás acciones que surgen de nuestros sentidos, y las interpretaciones que atribuimos a las cosas", siendo la simetría uno de sus principales elementos.

SFORNI (2004) señala que la adquisición de conceptos científicos específicos involucra niveles de organización del pensamiento, pero advierte que apropiarse de su contenido,

concepto y forma de interacción con la realidad no es un proceso simple, ya que requiere una mediación intencional sobre dos aspectos: empírico (observable; relativo a los sentidos físicos como la visión, por lo tanto) y abstracto. Todo ello para construir una estructura de pensamiento basada en “conocimientos significativos, que es lo que transforma el instrumento cognitivo del alumno, ampliando tanto el contenido como la forma de su pensamiento” (SFORNI, 2004, p. 2); nuestra traducción). ABRIL Y VILLAMARIN (2008) también revelan cómo el aprendizaje de conceptos físicos está directamente asociada con la formación del pensamiento. Una investigación de cómo los conceptos estéticos y simétricos son formulados por el sujeto, lo cual se relaciona con la forma en que percibe y construye los conceptos sobre los fenómenos cotidianos, puede contribuir a identificar indicios de cómo podría ocurrir la formación de la estructuración del pensamiento científico en los estudiantes.

En física, existen registros de la búsqueda de un determinado patrón estético en diferentes momentos de su construcción histórica, particularmente en la cuestión de la simetría, como señala MENEZES (2011):

las simetrías son esenciales en las teorías de la física, desde las comprensiones clásicas del espacio y el tiempo, cuya homogeneidad y uniformidad explican las discusiones sobre las cantidades de movimientos y energía. [...] (MENEZES, 2005, p. 90-91, traducción nuestra).

La importancia de esta simetría se puede ver, sobre todo, en el análisis de los tres principios de conservación de la física: el de la conservación de la cantidad de movimiento lineal, el de la cantidad de movimiento angular y el de energía. En este trabajo, enfatizaremos el principio de conservación de la cantidad de movimiento lineal. Este análisis se puede hacer con más propiedad si discutimos qué es la estética y la simetría en la concepción inicial de la ciencia con respecto a las propiedades del espacio. Para MENEZES (2005), como todos los puntos son equivalentes, podemos decir que el espacio es homogéneo, es decir, tiene exactamente las

mismas propiedades en cualquier punto. La homogeneidad revela una simetría del espacio. La existencia de un campo gravitacional, a su vez, establece la pérdida local de homogeneidad, es decir, provoca una asimetría. Esta asimetría del espacio (que podría estar provocada, por ejemplo, por la gravitación) es la responsable de condicionar el desarrollo y movimiento de la corteza terrestre. Por razones prácticas, las cosas aquí en la Tierra se construyen siguiendo planos horizontales que, idealmente, son homogéneos, es decir, tienen la equivalencia de la gravedad y el requisito de compensar fuerzas con la misma intensidad en todos los puntos para mantener el equilibrio estático (considerando equipotenciales en el límite de la curvatura terrestre como equipotenciales en un plano horizontal ideal); mientras que los planos verticales tienen su equivalencia de puntos rota por la gravedad. Por estas razones, cuando realizamos un lanzamiento oblicuo de una piedra, la componente horizontal de la velocidad se mantiene mientras haya variación en la vertical. Es importante señalar que la horizontalidad o verticalidad de un plano presupone la existencia de un plano de referencias, y que suponer su existencia es también un agente que rompe la homogeneidad del espacio, ya que atribuye arbitrariamente diferentes propiedades a estos puntos, anteriormente absolutamente iguales.

El espacio tiene otra simetría notable llamada isotropía. El espacio vacío, tanto de materia como de campos, es isotrópico, es decir, no tiene una dirección privilegiada. Así, la existencia del campo gravitacional terrestre, por ejemplo, rompe tanto la homogeneidad como la isotropía del espacio en la componente vertical. La existencia de cualquier campo rompe la isotropía.

La homogeneidad y la isotropía del espacio estuvieron en el origen de las proposiciones de Newton, quien consideraba este espacio vacío e infinito, teniendo solo una pequeña parte - infinitesimal - ocupada por materia, por cuerpos que se mueven libre y perfectamente, sin dificultades ni resistencias, en y a través de ese

espacio ilimitado e insondable. KOYRÉ (1965), afirma que el mundo newtoniano se compone principalmente de vacío; THACKRAY (1968) está de acuerdo en que, para Newton, "el Universo era una entidad casi completamente vacía"(reproducido en COHEN, WESTFALL (2002, p. 120); McGUIRE, RATTANSI (1966) afirman que Newton tuvo fuertes influencias de los platónicos de Cambridge, que creían en un espacio vacío y absoluto. De aquí que inferimos que el espacio newtoniano tenía algunas propiedades, como la vacuidad, el infinito y la homogeneidad.

En un manuscrito de la Royal Society, fechado en 1702, Newton escribió:

La fuerza del argumento es que, si la naturaleza de las cosas se limitara a cualquier dirección, los cuerpos más distantes [...] no permanecerían en equilibrio, sino que, por su propia gravedad, se moverían hacia las cosas internas [...] como si fuera el lugar más bajo (McGUIRE, RATTANSI, 1966, p. 114. Traducción nuestra).

Así, el espacio newtoniano no presentaba un centro definido para el Universo, ni limitaba direcciones específicas para el movimiento de los cuerpos. De esta forma, podemos deducir que el espacio newtoniano también era isótropo. Y es a través de él que tuvieron lugar las interacciones y los movimientos de toda la materia. Aunque la introducción del vacío - contrariamente a la filosofía del pleno cartesiano - resultó en varias complicaciones físicas e incluso metafísicas, como la existencia de la nada y la acción a distancia; su concepción [del vacío] permitió a Newton dar un paso más allá de sus contemporáneos, uniendo, simultáneamente, "la continuidad del espacio y la discontinuidad de la materia" (COHEN, WESTFALL, 2002, p. 91; traducción nuestra) - quizás, uno de los más importantes dentro de la filosofía newtoniana.

Además de ser homogéneo, isótropo, vacío e infinito, el espacio de Newton poseía una 'armonía' que representaría la causa real del

movimiento de cuerpos masivos por todo el Universo (McGUIRE, RATTANSI, 1966). La proposición de esta armonía es una herencia que Newton recibió de los pitagóricos, los sacerdotes egipcios y miembros de sociedades secretas (FORATO, 2008). Según McGUIRE, RATTANSI (1966), Newton afirmó que Pitágoras descubrió, a través de la experimentación, la relación de la inversa del cuadrado en las vibraciones de las cuerdas; y que extendió esta relación a los pesos y la distancia de los planetas en relación al Sol.

Es a partir de esta concepción del espacio vacío, homogéneo, isótropo, infinito y regido por la armonía, en el que se producían interacciones y movimientos, que Newton encontró el escenario para la formulación y presentación de sus leyes³.

La primera ley de Newton se conoce como principio de inercia. Es la formalización de ideas nacidas de pensadores medievales (MARTINS, 2012), e influencias de Galileo y otros pensadores, como René Descartes. En la Antigüedad, Aristóteles decía que concebir el estado de inercia significaría definir que un sistema estaría en reposo. Newton, sin embargo, se ancló a los pensadores que creían que el estado de reposo era solo un caso particular de inercia (MARTINS, 2012; NEVES, 2000). La primera ley pregunta qué debería decirse de un sistema aislado dinámicamente con respecto a su movimiento como un todo, abstrayendo su orientación y la disposición interna de sus partes (WHITEHEAD, 1925). Las propiedades absolutas del espacio newtoniano, descrito hasta ahora como homogeneidad y armonía, implican que un movimiento inerte no tiene por qué cambiar este estado. Newton atribuyó una especie de "resistencia" a este estado de movimiento. Por tanto, es el movimiento de la materia el que revela la simetría del espacio (MENEZES, 2005). El espacio puro diseñado por Newton, sin la interacción de rupturas de simetría como la gravitación, o la acción de fuerzas externas al sistema, es homogéneo, lo que implica la conservación del estado de movimiento de

³ Newton describió sus leyes como "axiomas", es decir, "consideró que estas leyes no debían probarse, sino

usarse como supuestos no probados para probar otras proposiciones" (MARTINS, 2012, p. 6).

cualquier cuerpo. “Esto significa mantener en reposo lo que está en reposo, o mantener la dirección y el valor de velocidad de lo que se está moviendo” (MENEZES, 2005, p. 41). Nótese que este movimiento inercial fue considerado por Newton como 'el movimiento de referencia' (MARTINS, 2012; traducción nuestra), es decir, el perfecto, sin influencias externas, utilizado como estándar para analizar los demás - que serían tratados, por lo tanto, como roturas de esa perfección.

La segunda ley presenta la actividad de los cuerpos en movimientos no inerciales y implica directamente la formulación del concepto de fuerza. Para llegar a este concepto, Newton posiblemente necesitó utilizar el plano cartesiano, sumado a la adopción de un marco inercial para, a partir de éste, relacionar dos entidades físicas: espacio y tiempo, en el que la variación de la primera en relación con el segundo daría lugar al concepto de velocidad. Hasta aquí, el razonamiento no ha diferido de los estudios del movimiento ya conocidos en aquel entonces.

Sin embargo, la adopción del sistema de referencia, o plano espacial que se asemeja al vértice de un cubo, una figura que deriva de un cuadrado, nos pareció una cuestión estética muy pertinente, ya que la comprensión de un mundo en el que las cosas parecen ser rectangulares, o de alguna forma geométrica derivada, nos guía para construirlo de esta manera⁴. La propia geometría euclidiana - fundamental en el plano cartesiano, en el uso de líneas rectas y basada en tres dimensiones - guía la existencia de un mundo en el que el formato cuadrado parece guiar el entendimiento humano y, por tanto, es el formato 'más natural' dentro de las construcciones. El siguiente paso de Newton fue considerar la masa como una cantidad física inherente a la naturaleza de los cuerpos materiales, que

⁴ Cuando miramos el horizonte, lo vemos como una línea recta. Cuando miramos la superficie de un lago, parece plana. Los troncos de los árboles normalmente parecen ortogonales al suelo de la tierra. Nos parece que una buena razón para esto es que el uso de formas

permanecía invariable a lo largo de todos los cambios de movimiento, estableciendo, además de la cantidad de materia, la dificultad de cambiar el estado de movimiento. Esta definición le permitió establecer cuál sería la cantidad de movimiento (WESTFALL, 1995) y, en consecuencia, el concepto de fuerza. Cabe mencionar que, según JAMMER (1979), la segunda ley del movimiento no la entendió Newton como algo que le haría llegar al concepto de fuerza, que era un concepto que se le había llegado a priori, intuitivamente y, en última instancia, en analogía con la fuerza muscular del ser humano.

La aplicación de una fuerza externa puede cambiar el estado de movimiento de un cuerpo material. La cantidad de movimiento cambiado tiene un valor relativo, que depende del observador. Esto significaría “un cambio local en la simetría del espacio en el que se produce ese movimiento” (MENEZES, 2005, p. 44; traducción nuestra). La actuación de una fuerza externa provoca un cambio local en la simetría del espacio, y esta ruptura en la simetría espacial configura la segunda ley de Newton.

La tercera ley establece la imposibilidad de generar movimiento en un solo cuerpo, ocurriendo pares de fuerzas de la misma dirección e intensidad, pero de direcciones opuestas, con el fin de mantener la homogeneidad del espacio resultando, por tanto, la ley que más evidencia la teoría de Newton. Criterio estético y simétrico relacionado con las propiedades del espacio: desde su homogeneidad, éste “implica, por consiguiente, la imposibilidad de generar movimiento de translación en un solo objeto, siendo inevitable generar, en al menos dos objetos, movimientos opuestos” (MENEZES, 2005, p.43).

En resumen, la homogeneidad es una propiedad simétrica del espacio que establece una

rectangulares (como el cuadrado) equilibra la gravedad. Además, según MENEZES (2005), aunque raro, el cuadrado es una de las figuras geométricas más sencillas, simétricas y estéticamente perfectas que tenemos en la naturaleza.

comprensión de las leyes de Newton en el movimiento de traslación. El mantenimiento del estado de movimiento de un objeto no sometido a fuerzas es lo que se denomina la primera ley de Newton. La ruptura de la simetría espacial, causada por un agente externo a un sistema, se denomina segunda ley de Newton. La equivalencia de fuerzas de las partes de un sistema se denomina tercera ley de Newton.

Como señala MENEZES (2005, p.51, traducción nuestra), “la creencia en la existencia de simetrías espaciales corresponde a creer que, debajo de las deformaciones o perturbaciones locales [...] siempre hay un espacio imperturbable, infinito, homogéneo e isótropo”. Observamos que la conclusión personal del autor está en línea con la formulación del espacio establecida por Newton.

Nuestro objetivo, en este trabajo, es asociar los conocimientos relacionados con conceptos alternativos y esa investigación sobre estética y simetría.

3. Cómo investigamos

Primero, estudiamos cómo se entendían los conceptos de estética y simetría desde la Antigüedad Clásica. Tras estos estudios, notamos similitudes con investigaciones ya realizadas sobre conceptos alternativos, particularmente en lo que respecta al papel de la cuestión de los sentidos (visión, sobre todo) en la construcción de conceptos físicos. Así, nos centramos en el estudio de la obra de MENEZES (2005) y MENEZES(2011), quien dedicó un gran esfuerzo al estudio del tema. Fue a partir de este autor, junto a los supuestos de la filosofía newtoniana, que establecimos criterios para proponer un nuevo enfoque en una asignatura de física del ciclo básico de una carrera de ciencias, basado en la estética y simetría de los fenómenos físicos, con el fin de contribuir con el objetivo de nuestra investigación: comprender qué concepciones de estética y simetría estarían presentes en esos estudiantes cuando se enfrentaran a situaciones similares a las vividas por los científicos en la época en que se enseñaban conceptos de mecánica, en particular las leyes de Newton.

Inspirándonos en una visión idealista (LUDWIG, 2014), optamos por el uso de una investigación cualitativa en educación para su efectividad, en la que los hechos y datos no se revelan de forma gratuita y directa a los ojos del investigador, tampoco este los enfrenta desarmado de todos sus principios y supuestos. Es a partir de las interrogantes que realiza a los datos, en base a todo lo que sabe sobre el tema - por tanto, en toda la teoría acumulada al respecto - que construirá el conocimiento sobre el hecho investigado. Según LÜDKE, ANDRÉ (1986, p.12-13), la investigación cualitativa en educación se configura teniendo: “[...] el medio natural como fuente de recolección de datos y el investigador como principal instrumento”, en el que “los datos recolectados son predominantemente descriptivos”; “la preocupación por el proceso es mucho más grande que por el producto”; “El significado que las personas le dan a las cosas y a su vida son el foco de especial atención por parte del investigador” y; “el análisis de datos tiende a seguir un proceso inductivo” (p. 13; traducción nuestra).

En nuestro caso, adoptamos la investigación cualitativa en educación con elementos fenomenológicos, lo que nos dirigió a un campo de posibilidades, entre ellas el del enfoque etnográfico en la investigación educativa. En él, el investigador debe encontrar formas de comprender el significado manifiesto, por encubierto u oculto, de las conductas de los individuos, mientras trata de mantener su visión objetiva del fenómeno. El investigador juega así un papel dual: subjetivo (como participante) y objetivo (como investigador). Específicamente dentro de la investigación educativa con elementos etnográficos, se optó por una que considere la rutina escolar como marco teórico, lo que “[...] significa, por tanto, estudiar las interacciones sociales de los sujetos en el medio natural en el que ocurren” (ANDRÉ, 2006, p. 10; traducción nuestra). Así que, para realizar un análisis coherente y acorde con esta propuesta metodológica, el investigador tendría que apoyarse en un marco teórico que le ayudara a definir puntos críticos, como categorías, ejes o

núcleos temáticos en la fase de definición del problema, entre otros; y también lo orientara, durante la recolección de datos, en la revisión de las categorías y en su reestructuración (ANDRÉ, 2006).

De acuerdo con la metodología elegida a lo largo de este trabajo, hemos adoptado los siguientes procedimientos para esta investigación⁵: 1) Observación; 2) Utilización del cuaderno de bitácora como registro descriptivo del investigador, tanto de las observaciones como de las fases de la propuesta (LÜDKE, ANDRÉ, 1986); 3) Grabación de audios y transcripción de clases; 4. Aplicación de un cuestionario y una prueba. Al respecto, en este trabajo, mostraremos los resultados obtenidos exclusivamente con una actividad que consistía en una prueba (Anexo 1) que buscaba identificar, al principio del curso, las concepciones alternativas de los estudiantes, con el fin de comprender visiones estéticas en torno a categorías como la ortogonalidad en la visión tridimensional, la ausencia de direcciones privilegiadas en un espacio ideal, el papel del sistema de referencias y la existencia de campos como agentes que rompen la simetría del espacio. A partir de los resultados de esta prueba, desarrollamos categorizaciones, basadas en el análisis de contenido de BARDIN (2011).

En el caso de esta investigación, es importante aclarar que se llevó a cabo en un campus relativamente reciente de una universidad pública federal brasileña, en una ciudad en las afueras de la región metropolitana de São Paulo, que enfrenta varios desafíos inherentes como: lentitud en los trabajos para su consolidación y dificultades para afrontar un nuevo perfil de estudiantes que ingresan a la educación superior, muchos de los cuales son los primeros en su familia en asistir a este nivel de educación. Considerado innovador, el curso en el que se impartió la asignatura busca romper con los modelos disciplinarios tradicionalmente rígidos y tiene como objetivo fortalecer la formación de

docentes de ciencias pluridisciplinares e interdisciplinares, incluyendo disciplinas impartidas con el apoyo de la integración de diferentes saberes de las cinco áreas que lo componen (física, química, biología, matemáticas y humanidades). Así, busca formar docentes que puedan desempeñarse en la educación básica, tanto en la educación primaria II (ciencias o matemáticas) como en el bachillerato (física, química, biología o matemáticas), pero con mayor interrelación entre estas áreas. Nuestra investigación se llevó a cabo en dos clases (tarde y noche) de un curso de física básica en el segundo semestre de 2017. Estos estudiantes ya habían realizado un curso de física básica en el primer semestre, con una tasa de reprobación considerable en ediciones anteriores. Según los datos obtenidos por el docente que impartió esta asignatura para estas dos clases durante el período de investigación, había 24 alumnos matriculados oficialmente en el curso de la tarde, siendo 18 efectivamente frecuentes, mientras que en el curso nocturno había 24 matriculados oficialmente, con 19 efectivamente asistiendo.

Así, la actividad de identificación de concepciones alternativas, basada en la estética sensorial del espacio, tuvo como objetivo comprender las formas en que los estudiantes concibieron algunas propiedades espaciales y de movimiento antes de conocer las leyes de Newton. De esta forma, se desarrollaron cinco elementos (Anexo I), cada uno con un objeto de análisis para la investigación. Antes de ser aplicadas en las dos clases, la prueba fue validada por parejas, siendo enviadas a otros profesores de ciencias (física, química o biología) con el fin de identificar posibles fallas en la interpretación de los enunciados propuestos y los objetivos de los ejercicios.

4. Resultados y análisis

⁵ Investigación aprobada por el Comité de Ética e Pesquisa de la Universidade Federal de São Paulo, con el número 68322417.2.0000.5505.

A continuación, se presentarán tablas con algunos recortes de las concepciones de los participantes, la frecuencia con la que aparecen estas concepciones y algunos ejemplos de respuestas. Las concepciones presentadas se refieren a las interpretaciones del investigador en torno a las respuestas dadas. Los ejemplos de respuestas, por otro lado, son transcripciones literales de las contestaciones ofrecidas por los participantes, que identificamos por números. Algunas respuestas presentaron diferentes interpretaciones, las cuales se pueden clasificar y contabilizar en más de una concepción. Así, el número total de respuestas ha cambiado según las categorías analizadas y difirieron del número total de participantes.

4.1. Cómo los estudiantes entendieron el mantenimiento de las simetrías de movimiento y la necesidad de agentes externos para romper dichas simetrías.

Utilizamos un ejercicio adaptado del formulado por CLEMENT (1982), en el que un cohete se movería por el espacio con el motor apagado, desde el punto A al punto B. Estaría lejos de cualquier planeta o de la actuación de fuerzas. Al pasar por el punto B, el motor se pondría en marcha durante dos segundos, mientras que el cohete viajaría desde el punto B al punto C. En el punto C, el motor volvería a apagarse. Les pedimos a los participantes que dibujaran la trayectoria del cohete y justificaran lo que le sucedería en base a las leyes de Newton.

Tabla 1: mantenimiento y ruptura de simetrías de movimiento.

| Concepciones presentadas | Frecuencia | Ejemplos de respuestas |
|--|------------|---|
| Conexión conceptual de la inercia con la ausencia de fuerzas y mantenimiento del estado de movimiento. | 29 | 05: [...] la inercia explica lo que sucede, porque al no haber fuerzas actuando, el cohete realizará un movimiento rectilíneo y constante. |
| La actuación de una fuerza cambia la dirección del movimiento rectilíneo de forma abrupta, representada en diagonal. | 26 | 18: Desde el punto B, donde se arranca el motor, el desplazamiento cambia. [...] después de apagar el motor, su movimiento continuará en diagonal. |
| La actuación de una fuerza altera la dirección del movimiento rectilíneo, representado en una trayectoria circular. | 07 | 33: De A a B: inercia con mantención del movimiento en línea recta. De B a C: interacción del movimiento anterior con la acción del motor, perpendicular al movimiento. De C hacia adelante: continuación de movimientos [en trayectoria circular]. |
| Pérdida brusca de movimiento horizontal. | 05 | 08: [...] cuando se arranca el motor, él ejerce fuerza sobre el cohete, acelerando y cambiando la dirección del movimiento [que] permanece en la dirección en la que fue empujado. |
| El movimiento de inercia ocurre solo de manera horizontal y rectilínea. | 05 | 21: Trayectoria A a B: el objeto, sin fuerzas externas a él, siempre sigue un camino recto. |
| Total | 91 | |

Fuente: Los autores, 2021.

Como se puede observar en la tabla 1, los resultados no difieren de los obtenidos por los investigadores (CLEMENT, 1982) que estudiaron las concepciones alternativas, demostrando que son concepciones realmente arraigadas y bien conocidas en el campo de la enseñanza de la física desde hace algunas décadas, como, por ejemplo: la concepción de que, si un objeto no

se mueve, ninguna fuerza actúa sobre él; o que, en un cuerpo en movimiento, habría una fuerza en la dirección del movimiento (LOPES, 2004); o que habría cambios abruptos en el movimiento en la dirección de la fuerza aplicada por el motor del cohete a lo largo y en la misma dirección que el movimiento completo. Percibimos remanentes de explicaciones científicas en las respuestas de

los estudiantes que asociaron el desempeño de la fuerza con la modificación del movimiento y la ausencia de fuerza con el mantenimiento del movimiento. Lo más probable es que esto se atribuya a que son estudiantes de educación superior, que ya han tomado clases sobre las leyes de Newton en su trayectoria escolar.

En términos estéticos, podríamos ver el uso de simplificaciones, como el uso de líneas horizontales o perpendiculares para describir trayectorias, en un intento de describir movimientos en los que serían necesarios los componentes de dos ejes.

4.2 Cómo los estudiantes entendieron el sistema de referencia como un factor que rompe la homogeneidad del espacio.

El segundo ejercicio se realizó a partir del siguiente contexto: “imagina dos puntos cualesquiera en el espacio, ambos absolutamente distantes de cualquier campo atractivo o repulsivo. ¿Son estos dos puntos iguales?

En la primera condición, los puntos fueron presentados en dos perspectivas diferentes (diferentes formas de mirar, considerando un referencial), sin ningún tipo de referencial. En la segunda condición, se presentaron los mismos puntos con las mismas perspectivas anteriores, pero esta vez con la presencia de un sistema de referencia tridimensional.

En un intento por establecer igualdades o diferencias entre puntos sin tener referencias, y dadas las condiciones abstractas de la idealización de puntos en un espacio vacío, al responder a este ejercicio, los participantes tendieron a imponer condiciones no explícitas en el enunciado, como: la creación de sus propias referencias o de líneas rectas que interconecten los puntos en un intento de definir su posible altura; la asignación de coordenadas para realizar triangulaciones entre los puntos; la imposición de ejes o posiciones específicas, incluso sin asignar un cero de referencia para la ubicación espacial de esas posiciones.

En la primera condición, además del análisis de posiciones, los estudiantes tendieron a imponer

la existencia de magnitudes físicas más concretas, aparentemente en busca de darle un sentido más sensorial al problema. Entre las magnitudes impuestas, apareció la atribución de masa, volumen, forma y/o tamaño a los puntos del espacio (la tabla 2). Observamos aquí la necesidad de atribuir concreción a un concepto que es, en esencia, abstracto. Para la mayoría de los estudiantes, la referencia (que debería ser lo que consideran más normal) se manifiesta por lo que pueden visualizar, y no por el concepto imaginario y abstracto (como el espacio que se califica a partir de puntos, por ejemplo).

En la segunda condición, en la que se agregaron los sistemas de referencia al sistema con los puntos, hubo una multiplicidad de respuestas en las que los participantes señalaron diferentes ejes, coordenadas, posiciones y/o planos para cada punto, siempre partiendo de los datos referenciales - mientras que algunos evaluaron los ejes de los planos como 'x, y, z' para establecer posiciones fijas de los puntos, otros utilizaron los ejes para establecer la dirección y rumbo de los posibles movimientos.

Destacamos aquí, en la primera condición dada, las múltiples imposiciones, personales y arbitrarias, de los participantes en torno a los puntos presentados, con el fin de establecer igualdades o diferencias entre cada punto. Las imposiciones varían entre el uso de líneas rectas, el uso de ejes privilegiados para el análisis (generalmente el eje x) o el uso de las esquinas de la hoja de respuestas como referencia de análisis para establecer alturas u horizontalidad (por ejemplo), ignorándose las inusuales sugerencias de referencias dadas en los ejercicios; o la atribución de cualidades físicas, como masa o volumen, para examinar los puntos. Nos parecía, de nuevo, que los participantes buscaban recurrir a los sentidos físicos para comprender el ejercicio, tendiendo a acercar las cuestiones de lo abstracto (condiciones ideales) a lo concreto (atribuyendo cualidades físicas, aunque impuestas), con el fin de reducir las dificultades de análisis.

Tabla 2: Sistema de referencia como agente que rompe las simetrías del espacio.

| Concepciones presentadas | Frecuencia | Ejemplos de respuestas |
|--|------------|--|
| Las referencias representadas señalan diferentes ejes, coordenadas, posiciones o planos para cada punto. | 30 | 07: Debido al sistema de referencias, es posible notar que son diferentes entre sí [...] debido a la distancia entre los dos y el referencial. |
| Imposición de un sistema de referencia (no especificado) para atribuir igualdad o diferencia en la altura de los puntos. | 16 | 21: No son iguales. Estos puntos pasan por varios segmentos (rectos) y se encuentran en diferentes posiciones. Son paralelos. |
| A falta de referencias, no hay nada que diferencie los puntos. | 09 | 30: No hay forma de afirmar [igualdad o diferencia], ya que no hay más información ni punto de referencia. |
| Sin la acción de fuerzas externas, no hay nada que diferencie los puntos. | 09 | 08: Sí [son iguales], porque no hay interacción con fuerzas externas. |
| Los puntos son iguales porque están en el mismo eje (impuesto) o posición. | 07 | 20: Son [iguales], ya que ambos se mueven a lo largo del eje z. |
| Total | 102 | |

Fuente: Los autores, 2021.

También hubo la atribución de la ausencia de fuerzas externas (aunque éstas estuvieran absolutamente alejadas de cualquier campo) y de referencias, como condiciones que harían imposible diferenciar los puntos - como se ilustra en la tabla 02 , con la frecuencia de 09 repeticiones para cada concepción. Observamos, en este caso, más evidencias de la mezcla de conceptos científicos con los de sentido común para intentar darle una connotación más cercana a la física a su respuesta.

Sin embargo, dada la condición de análisis basado en el sistema de referencias para el ejercicio, las imposiciones disminuyeron considerablemente y los participantes tendieron a ofrecer respuestas más precisas. Nos pareció que, dado el sistema de referencia como lo usamos habitualmente (lados de un cubo; ejes perpendiculares y rectos), con los participantes teniendo aspectos más concretos para el análisis, se redujeron las dificultades del pensamiento abstracto, por lo que que el sistema de referencia se convirtió en algo fundamental para una mejor comprensión de esa situación, evidenciando el fuerte papel estético en el desarrollo de la comprensión y el pensamiento físico. Este resultado es bastante original e innovador y suma

uno de los principales aportes de este trabajo a la investigación sobre el tema.

Aun así, existía una dificultad recurrente en la comprensión de la tercera dimensión atribuida al sistema de referencia. Lo más probable es que esta dificultad se deba a la limitación de uno de los sentidos humanos: la visión es bidimensional y la tercera dimensión proviene de la memoria y, por tanto, requiere abstracción. Conocemos la tercera dimensión porque tenemos memoria para reconocer la dimensión de los objetos y, cuando los vemos más pequeños de lo que son, nos encontramos con que están distantes (noción de profundidad). Una vez más, nos damos cuenta de cómo el tema de la estética y la simetría aparece muy relacionado con nuestros sentidos en la comprensión del sistema de referencias.

4.3 Cómo entendieron las diferentes formas de describir un mismo fenómeno, basándose en elecciones arbitrarias y aleatorias (posición / dirección) del sistema de referencia, sin ningún cambio en las leyes físicas debido a estas elecciones.

El tercer ejercicio consistió en analizar la siguiente pregunta: “dos astronautas están en módulos lunares en diferentes posiciones en el

espacio, analizando el planeta Tierra. Ambos analizan solo una pequeña parte de la superficie de la Tierra. Los astronautas se comunican por radio. El primer astronauta afirma que la atracción gravitacional provocada por la Tierra actúa sobre el eje x , mientras que el segundo afirma que la atracción gravitacional actúa sobre el eje z . ¿Cuál de los dos astronautas tiene razón?"

A partir del análisis del comportamiento de la gravedad descrito en diferentes ejes del plano de referencia, los participantes deberán justificar la descripción más adecuada del fenómeno, según las distintas perspectivas de los dos astronautas.

La mayoría de los estudiantes demostró comprender que la gravedad actúa en todas las direcciones, aunque la mayoría de ellos no consideró la variación de intensidad en su

análisis, ya sea durante una posible desviación del centro de masa de la Tierra o en su desempeño a lo largo del plano vertical, por ejemplo.

La mayoría de los participantes atribuyeron el papel de la gravedad y su descripción a la dependencia de una referencia, en la que diferentes perspectivas podrían resultar en diferentes descripciones de un mismo fenómeno. También hubo algunos entendimientos de que la gravedad actúa solo sobre el eje z (cuarta línea en la tabla cinco), que era el único eje representado verticalmente y hacia abajo, de acuerdo con la tercera línea. Este importante número de respuestas puede sugerir una idea previa, aunque intuitiva, de la constante ruptura de la isotropía de un espacio ideal.

Tabla 3: investigación de dirección privilegiada para la acción de la gravedad

| Concepciones presentadas | Frecuencia | Ejemplos de respuestas |
|---|------------|---|
| La gravedad actúa en todas las direcciones (no se considera la intensidad). | 18 | 19: Ambos son correctos, ya que la atracción gravitacional actúa en todas las direcciones [...] |
| La acción de la gravedad y su descripción depende del referencial. | 17 | 01: [...] La gravedad actúa hacia el centro de la Tierra, por lo que depende de la referencia de cada astronauta. |
| La gravedad actúa solo en el eje z (único eje representado hacia abajo). | 05 | 20: El segundo [...] se puede observar cuando dejamos caer un objeto desde arriba y este cae al suelo, lo que sucedería en el eje z . |
| La gravedad actúa en todas direcciones. | 01 | 21: Ambos, la fuerza gravitacional es igual en todos los puntos. |
| Total | 49 | |

Fuente: Los autores, 2021.

Como se constató, una vez más, la considerable presencia de la necesidad de un sistema de referencias para que sea posible la descripción del fenómeno, se corroboró la hipótesis de cuánto algunos análisis están impregnados de conceptos estéticos, alcanzados a través de los sentidos, aunque estos sean diferentes de los desarrollados por científicos. Algunas respuestas incluso mostraron que los estudiantes crearon diferentes ejes para cada situación, teniendo en

cuenta su posición en la superficie de la Tierra. Curiosamente, estos ejes siempre tendrían la dirección vertical y la dirección hacia abajo (el mismo rumbo y el sentido de la gravedad, por lo tanto).

4.4 Cómo los estudiantes entendieron la existencia de campos y su presencia como algo que rompe la homogeneidad e isotropía del espacio.

El cuarto ejercicio presentó una situación ideal: “se vacían completamente tres contenedores, de modo que hay un vacío dentro de cada uno. Los envases son los mismos: misma masa, volumen, forma, etc. El primer recipiente se coloca junto a un imán; el segundo recipiente se deja en la superficie de la tierra; el tercer recipiente es llevado al vacío del espacio, lejos de cualquier campo atractivo o repulsivo. ¿Son las propiedades físicas del espacio dentro de estos contenedores las mismas? ”.

A partir del análisis de diferentes campos físicos actuando en contenedores idénticos con vacío en su interior, los participantes deben evaluar las propiedades del espacio dentro de estos contenedores. La mayoría argumentó que la existencia de diferentes campos asignaría

diferentes propiedades físicas al espacio interno de cada contenedor.

Hubo un número significativo de participantes que atribuyeron propiedades internas iguales a los tres envases, dada la existencia de un vacío en su interior, pero con diferentes propiedades externas. Por lo tanto, nos pareció que había una comprensión del vacío como un vacío total, sin la existencia de campos físicos, por ejemplo. En este mismo sentido, probablemente dada la dificultad de comprender una idea abstracta de vacío, algunas respuestas mostraron la necesidad de atribuirle propiedades físicas, como ser inalterable o inmutable o, incluso, tener una igualdad entre los contenedores dada la inexistencia de materia en ellos.

Tabla 4: Los campos físicos como agentes que rompen las simetrías del espacio.

| Concepciones presentadas | Frecuencia | Ejemplos de respuestas |
|--|------------|--|
| La existencia de diferentes campos confiere diferentes propiedades físicas al espacio. | 12 | 19: No, el contenedor que está cerca del planeta Tierra sufre de la fuerza gravitacional [...] El contenedor que estaba cerca del imán será influenciado por la fuerza magnética [...] las propiedades son diferentes. |
| La existencia de un vacío atribuye diferentes propiedades internas y externas a los envases. | 09 | 05: Sí, aún quedaría un vacío dentro de cada uno de ellos [...] sólo el ambiente externo sufrirá acción. |
| Imposición de propiedades a los envases, como características físicas y/o químicas. | 06 | 03: Sí, porque en las tres situaciones no hay masa real [...] pero sí, partículas de aire, iones, etc. |
| Asignación de propiedades inmutables al vacío. | 05 | 20: Sí, porque el vacío es inmutable, independientemente del sistema. |
| Atribución de igualdad por ausencia de materia en el interior de los contenedores. | 04 | 41: Sí, no hay materia dentro de ellos. |
| Total | 50 | |

Fuente: Los autores, 2021.

Una vez más, en un posible intento de pasar de lo abstracto a lo concreto, los estudiantes impusieron propiedades a los contenedores, como características físicas y/o químicas (de estructura, masa o volumen; ver línea 3 de la tabla 4) y interacciones electromagnéticas (condiciones de atracción o repulsión). Este hecho nos lleva, de nuevo, a la hipótesis de que los participantes tenderían a buscar atributos estéticos en función de los sentidos (como características físicas y químicas o condiciones de atracción o repulsión, que son más palpables,

es decir, pueden ser experimentadas por los cinco sentidos humanos y que no requieren mucha abstracción).

Así, las respuestas más frecuentes sugieren una ambigüedad de interpretaciones entre el análisis de que los diferentes campos atribuyen diferentes propiedades físicas al espacio y la imposición o atribución de propiedades físicas por la existencia de un vacío. Parece haber una confusión conceptual, ya que los campos y el

vacío son seres físicos que requieren un alto grado de abstracción para su comprensión.

Además, la imposición o atribución de propiedades físicas al espacio vacío (ideal), nos llevó a la búsqueda de posibles entendimientos y conclusiones sobre un ser físico abstracto. Mientras que, para Newton, la homogeneidad y la isotropía serían la normalidad del espacio (de ahí que el movimiento inercial sea el "movimiento de referencia"), para los participantes de la investigación fueron las rupturas del mismo lo que les pareció ser "lo normal". Así, la sensación fue que el espacio vacío, homogéneo e isotrópico, de forma recurrente, provocaba extrañeza, ya que no parecía ser algo concreto. Este es un resultado muy innovador, importante para cualquier maestro que pretenda enseñar las leyes de Newton.

5. Consideraciones finales

Este trabajo señala que los conceptos de estética y simetría son importantes en la formulación de los principios fundacionales de la física, dada su presencia en los principios de conservación. Estos usos de la estética y la simetría en los fundamentos de la física, sin embargo, son bastante diferentes de los usos que le dan los estudiantes cuando comienzan a estudiarla. Por eso, la discusión de la estética y simetría parece ser muy decisiva para que se entiendan bien la mecánica newtoniana.

Además, los estudiantes no tenían como principio fundamental el ideal de perfección presente en las propiedades del espacio que sustentan los tres principios de conservación. Para el alumno, los factores externos a este espacio, que modifican sus perfectas y armoniosas propiedades estéticas, son normales y, por tanto, deberían ser la regla; los estudiantes necesitaban asignar propiedades físicas relacionadas con un pensamiento concreto para poder analizar fenómenos físicos que dependían de un pensamiento sobre el espacio. Así, no es apropiado comenzar a enseñar las leyes de Newton con la idea de que comprender el

concepto de espacio newtoniano es natural para los estudiantes.

Las diferencias en estética y simetría de los alumnos también aparecen cuando comienzan a aprender el sistema de referencias. Tanto la comprensión de su tridimensionalidad como la necesidad de simetría entre sus ejes no son fáciles de entender e deben ser construidas por los estudiantes.

Este trabajo recuerda, por tanto, que existen más concepciones alternativas además de los encontrados en varias publicaciones. Destacamos aquí solamente algunas concepciones alternativas sobre el espacio. Creemos que hay un gran aporte al área de la enseñanza de la física cuando rescatamos investigaciones que se han establecido en el pasado (como las concepciones alternativas) bajo nuevas perspectivas, como la estética y la simetría. Así, sugerimos una mayor presencia de este tipo de investigaciones, especialmente en los cursos de formación para profesores de física y/o ciencias.

6. Referencias

- ABRIL, S. A.; VILLAMARIN, S. J. . Procesos del pensamiento en la didáctica de la física. **Góndola, enseñanza y aprendizaje de las ciencias**, 3(2), 1–5. 2008. <https://doi.org/10.14483/23464712.5280>.
- ANDRÉ, M. A. O cotidiano escolar, um campo de estudo. In: **O coordenador pedagógico e o cotidiano da escola**. (pp. 9-20). Loiola. São Paulo: Brasil, pp.9-20. 2006.
- BACCON, L. **Força como interação: uma proposta de ensino fundamentada na teoria da aprendizagem significativa**. Dissertação do Mestrado em Educação em Ciências e Matemática. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Brasil, 2010.
- BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. Edições 70. São Paulo: Brasil, 2011.
- CASTRO, N. Vigotski: os conceitos espontâneos e científicos. **Revista Latino-Americana de**

- Estudos em Cultura e Sociedade**, 5 (4), Foz do Iguaçu, Brasil. pp-1-11. 2019. 5(4). <https://doi.org/10.23899/relacult.v5i4.113Z>.
- CLEMENT, J. Students' preconceptions in introductory mechanics. **American Journal of Physics**, 50, 66-71. 1982. <https://doi.org/10.1119/1.12989>
- COHEN, B.; WESTFALL, R.S. **Newton: textos, antecedentes, comentários**. Editora Contraponto. Rio de Janeiro: Brasil.2002.
- DRIVER, J. Student's conceptions and the learning of science. **International Journal of science education**, 11, special issue, 481-490. 1989. doi:10.1080/0950069890110501
- FORATO, T. C. M. A filosofia mística e a doutrina newtoniana: uma discussão historiográfica. **Alexandria Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, 1(3), 29-53, 2008.
- JAMMER, M. M. **Storia del concetto di forza**. Milano: Feltrinelli. 1979.
- KANT, I. **Crítica da faculdade do juízo**. 1ª edição. Forense Universitária. Rio de Janeiro: Brasil. 1993.
- KOYRÉ, A. **Newtonian studies**. Harvard University. Cambridge: USA, 1965.
- LOPES, **Aprender e ensinar física**. FCG. Lisboa: Portugal: 2004.
- LÜDKE.M; ANDRÉ, M. **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas**. EPU. São Paulo: Brasil. 1986.
- LUDWIG, A. Métodos de pesquisa em educação. **Educação em Revista**, 14(2), Unesp. Marília: Brasil, 7-32. 2014.
- MARTINS, R.A fundamentação histórica da lei da inércia: um exemplo de conflito entre educadores e historiadores da ciência no uso da história da ciência no ensino de física. **XIV EPEF. Maresias: Anais**. Maresias: Brasil, 2012.
- MCGUIRE; RATTANSI. Newton and the 'Pipes of Pan'. **Notes & Records**. London: The Royal Society. 1966. <https://doi.org/10.1098/rsnr.1966.0014>
- MENEZES. **A matéria, uma aventura do espírito: fundamentos e fronteiras do conhecimento físico**. 1ª edição. Editora Livraria da Física. São Paulo: Brasil. 2005.
- MENEZES. Simetrías, Irreversibilidad del Tiempo y Imponderabilidad en la Física. **Prometeica Revista de Filosofía y Ciencias**, 11(4). Universidade Mar del Plata. Universidade Federal de São Paulo. Buenos Aires: Argentina. São Paulo: Brasil.90-91. 2011. DOI:[10.24316/prometeica.v0i4.53](https://doi.org/10.24316/prometeica.v0i4.53)
- NEVES, M. C. D. Uma investigação sobre a natureza do movimento ou sobre uma história para a noção do conceito de força. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, 22(4), SBF. São Paulo: Brasil. 543-556. 2000.
- NEWTON, I. **Philosophiae naturalis principia mathematica**. Joseph Streater. London: England. 1687.
- Peduzzi, S. S. Concepções Alternativas em Mecânica. **Ensino de física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora**. Ed. UFSC.Florianópolis: Brasil, 125-150. 2001.
- PEDUZZI, L; Peduzzi, S. O conceito intuitivo de força no movimento e as duas primeiras leis de Newton. **Caderno Catarinense de Ensino Física**, 2(1), Ed.UFSC. Florianópolis: Brasil. 6-15.1985.
- QUADROS, O. J. **Estética da vida, da arte, da natureza**. Editora Academia. Porto Alegre: Brasil, 1986.
- SFORNI, M. **Aprendizagem conceitual e organização de ensino: contribuições da teoria da atividade**. 1ª edição. Junqueira & Marin. Araraquara: Brasil. 2004.
- TALIM, S. L. Dificuldades de aprendizagem na terceira lei de Newton. **Caderno catarinense de ensino de física**, 16(2), Ed. UFSC. Florianópolis: Brasil. 141-153. 1999.
- THACKRAY. A matéria em uma casca de noz: a Óptica de Newton e a química do século XVIII. **Newton: textos, antecedentes, comentários**. Contraponto. Rio de Janeiro: Brasil. 118-128, 1968.
- VILLANI, A.; PACCA, J. Construtivismo, conhecimento científico e habilidade

didática no ensino de ciências. **Revista da Faculdade de Educação**. 23(1-2),. São Paulo: Brasil. 196-214. 1997.

WATTS; ZYLBERSTAJN. A survey of some children's ideas about force. **Physics Education**, 16(6). IOPscience. London. England. 360-365.1981.

WESTFALL, R. S. **A vida de Isaac Newton**. Nova Fronteira. Rio de Janeiro. Brasil. 1995.

WHITEHEAD, A. N. **Science and the modern world**. Free Press. Cambridge: England. 1925.

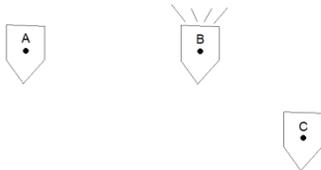
ZYLBERSTAJN, A. Concepções espontâneas em física: exemplos em dinâmica e implicações para o ensino. **REF**. 5(2). SBF. São Paulo: Brasil. 3-16.1983.

ANEXO 1

Prueba

1. (Adaptado de CLEMENT, 1982) Un cohete se mueve por el espacio con el motor apagado, desde el punto A al punto B. Está lejos de cualquier planeta o de la actuación de fuerzas. Al pasar por el punto B, el motor se pone en marcha durante 2 segundos, mientras que el cohete viaja desde el punto B al punto C. En el punto C, el motor se apaga de nuevo.

- Dibuja la trayectoria del punto A al punto B;
- Dibuja el camino desde el punto B al punto C;
- Dibuja la trayectoria desde el punto C, cuando el motor está apagado.;
- Justifica, a partir de las leyes de Newton, el movimiento y lo que ocurre en cada etapa de la trayectoria.



2. Imagina dos puntos cualesquiera en el espacio, ambos absolutamente lejos de cualquier campo atractivo o repulsivo.

- ¿Son estos dos puntos iguales? Justifica

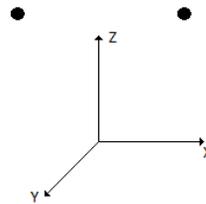


- Y ahora, ¿son estos dos puntos iguales? Justifica.

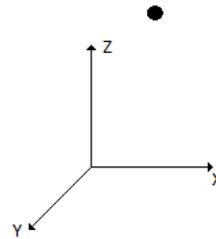


- Ahora ponte el sistema de referidos.

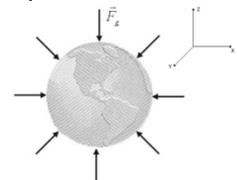
- ¿Los puntos descritos en el ítem **a** son iguales entre sí? Justificar.



- ¿Los puntos descritos en el ítem **b** son iguales entre sí? Justificar.



- Dos astronautas se encuentran en módulos lunares en diferentes posiciones en el espacio, analizando el planeta Tierra. Ambos analizan solo una pequeña parte de la superficie de la Tierra. Los astronautas se comunican por radio. El primer astronauta afirma que la atracción gravitacional causada por la Tierra actúa sobre el eje X, mientras que el segundo afirma que la atracción gravitacional actúa sobre el eje Z. ¿Cuál de los dos astronautas es correcto? Justifica.



4. Se vacían completamente tres recipientes para que haya un vacío dentro de cada uno. Los envases son los mismos: tienen la misma masa, volumen, forma, etc. El primer recipiente se coloca junto a un imán; el segundo recipiente se deja en la superficie de la tierra; el tercero es llevado al vacío del espacio, lejos de cualquier campo atractivo o repulsivo. ¿Son iguales las propiedades del espacio dentro de estos contenedores? Justifica.

5. Analiza las situaciones siguientes y responde:

- i) Un globo que se vacía en el aire.
- a) ¿Qué elementos interactúan?
- b) Describe qué interacciones están sucediendo en estos movimientos.

ii) Un astronauta, suelto en el espacio, lanzando dos herramientas, de la misma masa y velocidad y al mismo tiempo, en direcciones perpendiculares

- a) ¿Qué elementos interactúan?
- b) Describe qué interacciones están sucediendo en estos movimientos.

iii) Una persona caminando

- a) ¿Qué elementos interactúan?
- b) Describe qué interacciones están sucediendo en estos movimientos.

iv) Una persona que cae en caída libre

- a) ¿Qué elementos interactúan?
- Describe qué interacciones están sucediendo en estos movimientos.