

## ESTÍMULO AL PENSAMIENTO CIENTÍFICO MEDIANTE EJERCICIOS CON ESPECTROSCOPIA ESTELAR

 Olga Lucía Castiblanco Abril <sup>1</sup>  
 Bryan Santiago López Fonseca <sup>2</sup>

**Resumen:** La pregunta central fue ¿Cómo estimular el pensamiento científico de un grupo de visitantes al observatorio astronómico aprovechando una práctica de espectroscopia? El objetivo es enriquecer la visita a un Observatorio aplicando algunos aprendizajes de la didáctica de la física. El diseño del proceso está centrado en el uso del experimento de tipo casero e ilustrativo, en torno a conceptos básicos de la espectroscopia estelar y desde una perspectiva dimensional de la didáctica de las ciencias, que considera fundamental el enriquecimiento de la interacción entre los participantes de un proceso de enseñanza y aprendizaje. La investigación fue de tipo investigación-acción, en la perspectiva de intervención, la toma de datos se hizo mediante relatos del docente investigador y rejillas de observación diligenciadas por un observador no participante, quien identificó preguntas e inquietudes surgidas espontáneamente a lo largo del proceso. Los resultados mostraron un camino para estimular el pensamiento científico en torno al fenómeno de la espectroscopia en un ambiente informal de aprendizaje. Se destaca el hecho de que, por medio de un proceso corto, diseñado contextualizadamente, se logró que los visitantes se iniciaran en el conocimiento de conceptos como dispersión, difracción, átomo, espectro electromagnético, clasificación estelar, líneas de emisión y frecuencia, además de ser sujetos activos la mayor parte del tiempo en la visita.

**Palabras clave:** Práctica de Laboratorio; Observatorio; Astrofísica; Espectrógrafo LISA; Pensamiento científico.

## ESTÍMULO AO PENSAMENTO CIENTÍFICO MEDIANTE EXERCÍCIOS COM ESPECTROSCOPIA ESTELAR

**Resumo:** A questão central foi sobre como estimular o pensamento científico de um grupo de visitantes do observatório astronômico aproveitando uma prática de espectroscopia? O objetivo é enriquecer a visita a um Observatório aplicando alguns conhecimentos provenientes da Didática da Física. O desenho do processo está centrado no uso do experimento caseiro e ilustrativo, em torno de conceitos básicos de espectroscopia estelar desde uma perspectiva dimensional do ensino das ciências que considera fundamental o enriquecimento da interação entre os participantes da prática, em um processo de ensino e aprendizagem. A pesquisa foi do tipo pesquisa-ação, do tipo intervenção. A coleta de dados se fez por meio de relatos do professor pesquisador e de grades de observação preenchidas por um observador não participante, quem identificou dúvidas e inquietações que surgiram espontaneamente ao longo do processo. Os resultados mostraram uma forma de estimular o pensamento científico em torno do fenômeno da espectroscopia em um ambiente informal de aprendizagem. Destaca-se o fato de que, por meio de um curto processo, projetado contextualmente, foi possível iniciar aos visitantes no conhecimento de conceitos como dispersão, difração, átomo, espectro eletromagnético, classificação estelar, linhas de emissão e frequência, além de ser sujeitos ativos durante a maior parte do tempo da visita.

**Palavras-chave:** Prática de Laboratório; Observatório; Astrofísica; Espectrógrafo LISA; Pensamento Científico.

<sup>1</sup> Universidad Distrital Francisco José de Caldas (UDFJC), Bogotá, Colômbia. E-mail: olcastiblanco@udistrital.edu.co.

<sup>2</sup> Universidad Distrital Francisco José de Caldas (UDFJC), Bogotá, Colômbia. E-mail: bslopezf@correo.udistrital.edu.co.

## STIMULATION OF SCIENTIFIC THOUGHT THROUGH EXERCISES WITH STELLAR SPECTROSCOPY

**Abstract:** The central question was; How to stimulate the scientific thinking of a group of visitors to the astronomical observatory by taking advantage of a spectroscopy practice? The objective is to enrich the visit to an Observatory by applying some knowledge from the Didactics of Physics. The design of the process focuses on the use of the home-type and illustrative experiment around basic concepts of stellar spectroscopy and from a dimensional perspective of science education, considering fundamental the interaction enrichment between participants and the expositor in a learning and teaching process. The research was in action-research type from the perspective of intervention. Data collection occurred through reports from the researcher teacher and observation grids filled out by a non-participant observer, who identified questions and concerns that arose spontaneously. Results showed a way to stimulate scientific thinking around the phenomenon of spectroscopy in an informal learning environment. It stands out the fact that, through a short process designed contextually, the visitors could initiate the knowledge of concepts such as dispersion, diffraction, atom, electromagnetic spectrum, stellar classification, emission lines, and frequency, in addition, to being active subjects most of the time during the visit.

**Keywords:** Laboratory practice; Observatory; Astrophysics; LISA spectrograph; Scientific Thought.

### Introducción

Este trabajo muestra los resultados del diseño y aplicación de una estrategia teórico experimental en el campo de la enseñanza de la espectroscopia en un ambiente informal como lo es el observatorio astronómico. Actuaron como visitantes dos grupos de estudiantes, uno de Ingeniería Catastral y Geodesia de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, y el otro de integrantes del Grupo de investigación en Enseñanza y Aprendizaje de la Física (GEAF) de la misma institución universitaria. Se realizó una investigación cualitativa de tipo investigación acción, para lo cual se diseñó una estrategia de interacción basada en los experimentos ilustrativo y casero desde una Perspectiva Dimensional de la Didáctica de la Física, en la línea de pensamiento de Castiblanco e Nardi (2022), logrando que los participantes presentaran avances en su lenguaje e inquietudes de corte científico. Lo cual, nos permitió, potenciar la visita a un observatorio pasando del plano meramente lúdico a uno de estímulo al desarrollo del pensamiento científico. Si bien, los participantes que hicieron parte de la toma de datos para este estudio, son personas que tienen afinidad con la ciencia, para la mayoría de ellos el tema de espectroscopia era relativamente desconocido. A partir de los resultados presentados en este trabajo se realizaron talleres con estudiantes de educación media obteniendo resultados similares.

Los conceptos de la espectroscopia suelen ser considerados como de gran complejidad, razón por la cual sería impensable de ser enseñado en un contexto informal. Sin embargo, es un tema que se puede hacer accesible a las personas ya que está a la base de muchas explicaciones de la astrofísica con fenómenos que se pueden visualizar a simple vista y que resultan de interés para la población en general. En la ciencia es aplicado desde hace más o menos 100 años en estudios de la Biología, Química, Astronomía y Física, por lo que tiene una gran diversidad de aplicaciones en temas que resultan curiosos e interesantes para los ciudadanos.

De otra parte, es importante resaltar que a comienzos del año 2019, la Universidad Distrital Francisco José de Caldas abre el Observatorio Astronómico; el cual, está dotado con nuevos y actualizados elementos e instrumentos, necesarios para

desarrollar de manera apropiada la Astronomía, entre los cuales está el Espectrógrafo LISA; un aparato útil para extraer e interpretar la información que contiene la luz, como por ejemplo, nos permite saber sobre la composición química de diferentes astros.

Sin embargo, el uso de estos equipos para interactuar con la sociedad, requiere del diseño de procedimientos que potencien la interacción con la ciudadanía. Para lograr esto, respondimos la pregunta de investigación ¿Cómo estimular el pensamiento científico de un grupo de visitantes al observatorio astronómico aprovechando una práctica de espectroscopia? Lo cual nos llevó a crear una estrategia de enseñanza teórico-experimental, donde le aportáramos conocimientos al participante. Con esta investigación mostramos una posibilidad de lograr aprendizajes de la física, con sentido, en un ambiente no formal.

## **Marco teórico**

### ***Perspectiva Dimensional de la Didáctica de la física***

De acuerdo con Castiblanco e Nardi (2018) la perspectiva dimensional de la didáctica de la física se fundamenta en la idea de que la formación del pensamiento del profesor, para la enseñanza, debe darse en al menos tres dimensiones cognitivas, la disciplinar, la sociocultural y la interaccional. Es decir, no basta con que el profesor tenga el conocimiento científico, ni siquiera es suficiente con que tenga a quien enseñárselo, pues para diseñar y aplicar procesos de enseñanza que resulten efectivos, el profesor debe ser educado para la toma de conciencia sobre su rol como transformador del pensamiento de sus alumnos y de la sociedad en general, pero además debe aprender como ejecutar en la acción dicho rol transformador. Esto implica la formación para la metacognición de su propio saber de la física en torno a una dimensión disciplinar, también la formación para la crítica reflexiva sobre la realidad de los contextos educativos desde una dimensión sociocultural, y de igual manera formarlo para la innovación contextualizada en el marco de una dimensión interaccional. Se trata de educar al profesional de la enseñanza como un didactólogo de las ciencias, con capacidad de transformación social y académica del mundo (Castiblanco, 2017; Castiblanco & Vizcaíno, 2018).

Esta teoría, esta a su vez inspirada en una multiplicidad de conocimientos ya producidos en la literatura especializada del área con autores que orientan las transformaciones necesarias en la formación de profesores y los procesos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias, tales como las propuestas de formación del profesor crítico, en (Fischman & Sales, 2010) y (Giroux, 1997), el profesor reflexivo en autores como (Alarçao, 2003), (Copello & Sanmartí, 2001), (Nóvoa, 1992) y (Zeichner, 2003), el profesor investigador con autores como (Elliott, 1990), (Gatti, 2004) y (Ludke, 2001), el profesor autónomo o intelectual en autores como (Tardif & Lessard, 2005), (Shulman, 1987). Sin embargo, desde esta perspectiva dimensional no se asume la definición de la didáctica como las metodologías o el saber de la “traducción” del saber sabio a un saber escolar, como se expresa en (Grisales-Franco, 2012) quien hace un recuento histórico del significa de la didáctica universitaria desde la antigüedad hasta la actualidad, y que por supuesto se basa en la idea de la transposición didáctica. En cambio, se entiende como la formación profesional del profesor para saber como orientar el desarrollo del pensamiento de sus estudiantes.

Para este caso, el investigador que actuó como docente en el observatorio, fue formado en esta línea de pensamiento y en consecuencia diseñó las actividades para impactar el pensamiento científico de los visitantes al observatorio. Se basó principalmente en la caracterización de tipologías de experimentos expuesta por (Avendaño, 2012), (Castiblanco, 2021), (Enciso, 2016) (Umaña, 2020) (Nardi & Castiblanco, 2019), a partir de lo cual se enriquece la interacción entre los participantes de un proceso de enseñanza, ya que la categorización de los experimentos en tipologías se hace de acuerdo con las posibilidades que ofrecen en términos de formación de habilidades de pensamiento, de tal manera que cuando el profesor reconoce tipologías de experimentos potencializa su capacidad de acción en el aula.

En el experimento casero el profesor diseña y elabora un montaje para presentarlo a sus estudiantes explicando en qué consiste, luego desafía a los estudiantes a construir su propia versión de dicho montaje facilitándole los materiales incluso para adecuar partes que no tiene la versión original, para lo cual se debe ir justificando la toma de decisiones. Esto facilita que se acompañe al estudiante en la identificación de variables, parámetros, constantes, así como en el refinamiento de las ideas mediante las cuales habla del fenómeno que está en estudio, por lo tanto, es una actividad en donde todos los participantes del proceso están dialogando permanentemente en pro de nuevas significaciones. Para este caso se utilizó la construcción de un espectrógrafo de caja de cartón con trozos de CD.

Por su parte, con el experimento ilustrativo, el profesor presenta la ocurrencia de un fenómeno a través de algún dispositivo, describiendo y explicando el fenómeno físico en cuestión, pero debe desarrollar el discurso de tal manera que haga dudar al estudiante sobre lo que está observando. Así, a través de la duda se construye un diálogo que gira en torno a las inquietudes de los estudiantes, en donde el docente va ofreciendo dosificadamente los recursos para poner a prueba el discurso científico del estudiante, entonces estimula la imaginación, fortalece el lenguaje científico y le ofrece seguridad al estudiante para irse involucrando con el montaje. En este caso se utilizaron las rejillas de difracción para observar la luz emitida por tubos de descarga que contienen diferentes gases, así como el análisis de las gráficas obtenidas por el espectrógrafo LISA.

### ***Espectro electromagnético y espectroscopia***

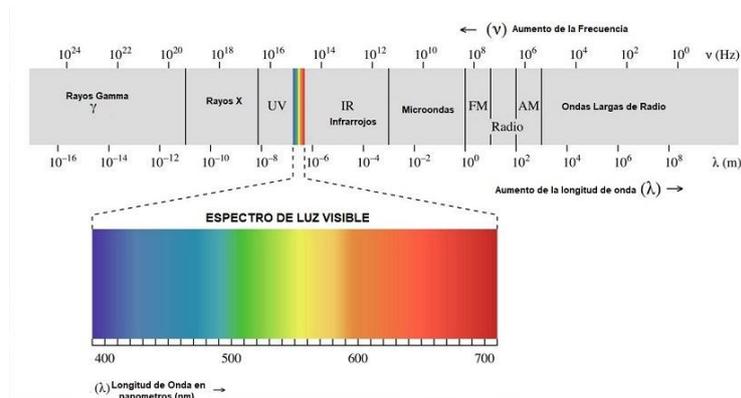
La espectroscopia en un observatorio astronómico se usa para estudiar de qué están compuestos los astros lejanos en el universo, de los cuales, lo único que podemos tener es la luz que emiten y que llega a nuestros ojos. Este tipo de estudio de la luz fue posible hacerlo solo después de que se unificaron las teorías de la electricidad y el magnetismo, que tuvo como una de sus consecuencias la construcción de un modelo explicativo en torno a la luz como onda electromagnética. De acuerdo con (Feynman, 1987) fue Maxwell quien alrededor de 1860 combinó las leyes de la electricidad y el magnetismo con las leyes del comportamiento de la luz, y a partir de ahí se postuló que la luz es un conjunto de ondas electromagnéticas.

Es decir, que cuando la luz viaja se entiende que lo que está viajando es una onda que tiene una determinada frecuencia de vibración y lo que vibra es una oscilación entre un campo magnético y un campo eléctrico, así, dependiendo del valor de la frecuencia de vibración aparece un color visible al ojo humano, como los colores del arcoíris, pero también aparece la luz no visible al ojo humano que se puede detectar con diversos

instrumentos de medida. De modo que el espectro electromagnético está compuesto por la superposición de un conjunto de frecuencias o colores, en donde tan solo una pequeña franja de frecuencias de ese espectro es visible al ojo humano ya que hay otras “frecuencias” con mayor vibración que la correspondiente al color violeta y con menor vibración que la frecuencia correspondiente al color rojo.

En síntesis, la espectroscopia estudia la luz que absorbe, emite o dispersa la materia. Para estudiar la luz es necesario hacer pasar la luz proveniente de alguna fuente a través de un instrumento que la descompone en las diferentes frecuencias que la componen. Este instrumento es el espectroscopio. El objetivo de analizar la luz es principalmente encontrar las diferentes frecuencias que componen la onda electromagnética, ya que se ha caracterizado la relación directa que existe entre cada frecuencia, que produce un color en el espectro, con el comportamiento de los elementos químicos. Esto hace que la espectroscopia sea útil para conocer la composición química de diferentes cuerpos celestes (Sañudo, 2013).

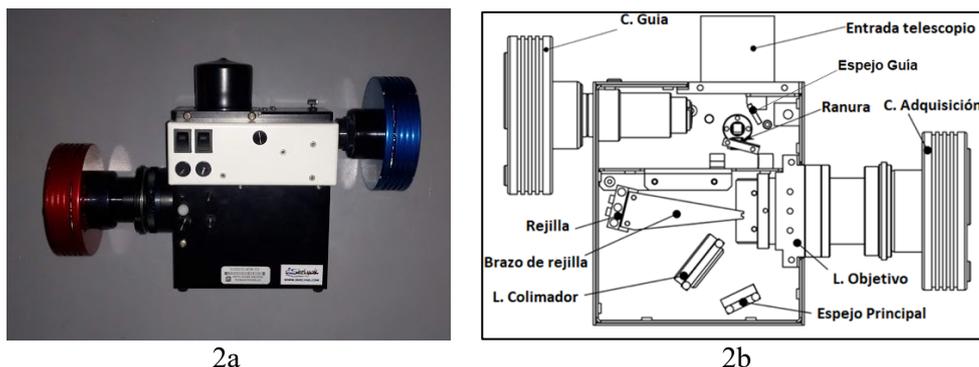
Dentro del espectroscopio se encuentra un prisma o una rejilla de difracción, que hacen que la luz se refracte o se difracte, es decir, que cambie la velocidad y la dirección con la que llega al instrumento, y al final, el resultado de atravesar el prisma o la rejilla, es que la luz sale dispersa, pues cada onda toma una nueva dirección, entonces se observan las diferentes frecuencias que la conforman (Bertomeu & García, 2019) (Hecht, 2000). De acuerdo con Serway (2005) el espectro electromagnético se compone de menor a mayor por frecuencias de radio, microondas, infrarrojo, luz visible, ultravioleta, rayos X y rayos gama. En la Figura 1 se observan los valores de dichas frecuencias y se puede apreciar la ubicación de la luz visible dentro del espectro electromagnético.



**Figura 1** - Espectro electromagnético y los valores de las respectivas frecuencias.

**Fuente:** (Library, 2020) <https://chem.libretexts.org/@go/page/1779>.

El espectrógrafo LISA con que cuenta el observatorio de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas funciona igual que un espectroscopio, analiza la luz descomponiéndola en las diferentes longitudes de onda que la conforman. Pero adicionalmente tiene capacidad óptica de alta resolución, cuenta con una cámara fotográfica que almacena la imagen del espectro lo cual permite ir archivando imágenes para luego analizarlas mediante software (Thizy & Cochard, 2012). El espectrógrafo LISA se usa para medir los espectros de la luz proveniente de las estrellas, a esta aplicación de la espectroscopia se le denomina Espectroscopia Estelar. En la Figura 2 vemos una imagen del espectrógrafo LISA.



2a

2b

**Figura 2** - (a) fotografía del espectrógrafo LISA,  
(b) Esquema de la estructura del espectrógrafo.

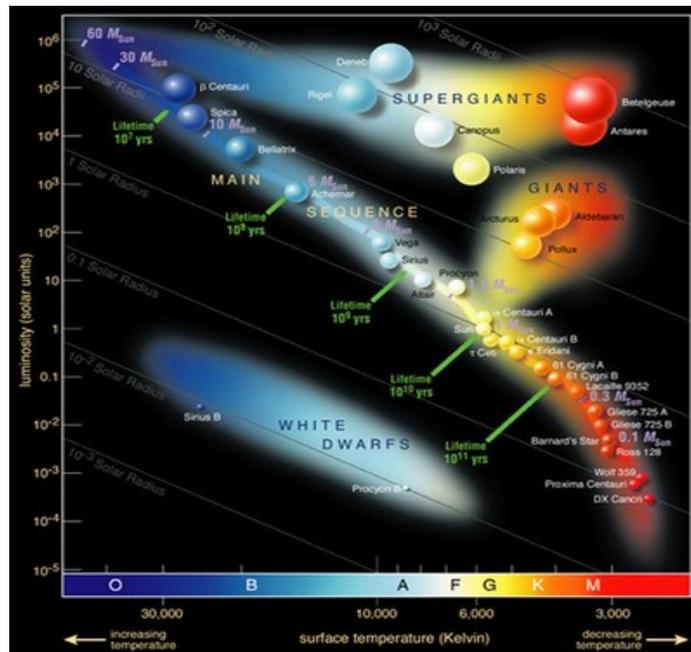
**Fuente:** los autores.

El funcionamiento interno del espectrógrafo LISA consiste en que la luz del objeto analizado entra por el telescopio y atraviesa la ranura para ser reflejada por el espejo principal, el cual al estar inclinado hace que la luz incida justo sobre el lente colimador. Esta lente, transforma la luz en un haz paralelo. El haz paralelo se direcciona hacia la rejilla que difracta la luz y por ende la dispersa en todas las longitudes de onda de la cual está constituida, es decir, produce el espectro. Así, el espectro se direcciona hacia el lente objetivo en donde se toma la imagen para analizarla.

Hertzsprung, un astrónomo del siglo XX que fue pionero en utilizar las técnicas de la espectroscopia para estudiar las estrellas, analizó el brillo de muchas estrellas y con ayuda de la clasificación espectral realizada por Cannon, construyó un diagrama de estrellas, en donde se representa la relación del brillo, tamaño y color de las estrellas. De manera similar el Astrónomo estadounidense Henry Norris Russell, creó un diagrama donde relacionaba el color, brillo y temperatura de las estrellas, muy similar al propuesto por Hertzsprung. A pesar de que ambos tenían un diagrama muy similar Russell confirmó que el trabajo de Hertzsprung había sido algo anterior al suyo. Sin importar esto, el diagrama fue llamado como el Diagrama Hertzsprung-Russell o simplemente el Diagrama H-R, el cual tiene un eje horizontal para ubicar valores de temperatura y uno vertical para ubicar el brillo o luminosidad. De acuerdo con (Paolantonio, Camino, & Merlo, 2021, p.160).

Hertzsprung estaba convencido de que la clasificación espectral más detallada realizada por Antonia Maury era mucho más completa que la presentada por Annie Cannon. Por ello comenzó a investigar la relación entre temperatura y luminosidad, en forma independiente con el astrónomo suizo Alexander von Rasfeldt. En 1911, Hertzsprung encontró diferencias entre el brillo de las estrellas rojas y, utilizando la ley de radiación de Planck propuesta una década atrás, concluyó que la misma se debería a una diferencia de tamaño. Aquí surge la distinción entre estrellas gigantes y estrellas enanas. Además, halló una correlación entre la magnitud absoluta visual y el color de las mismas, hoy denominado “índice de color”. Asimismo, dos años después Russell obtuvo una correlación similar, pero con el tipo espectral establecido en la clasificación de Harvard. En estas representaciones se evidenciaron que la mayoría de las estrellas se distribuyen en una zona central, llamada Secuencia Principal, con las características de “enanas” establecidas por Hertzsprung, y otras en menor medida en regiones ubicadas a la derecha y en el sector superior, con propiedades de “gigantes” (Paolantonio, Camino, & Merlo, 2021, p.160).

La escala de temperatura, acorde a la clasificación hecha por Cannon, empieza desde las temperaturas mas altas y va hasta las temperaturas mas bajas, es decir, que la clasificación estelar se ubica en el eje horizontal desde la O hasta la M, en donde, mas cercano a O quiere decir de mayor temperatura y mas cercano a M significa de menor temperatura. En el eje vertical se organiza una escala de luminosidad tomando como referencia nuestro Sol, tal como se observa en la Figura 3.



**Figura 3** - Diagrama Hertzsprung-Russell para representar la relación entre brillo, temperatura y tamaño de las estrellas.  
**Fuente:** (Naukas, 2020).

A la línea central que atraviesa en diagonal desde la parte superior izquierda hasta la parte inferior derecha, se le denomina como Secuencia Principal. Allí se encuentran la mayoría de estrellas, incluyendo nuestro Sol, dado que son estrellas que fusionan H en He y que aún no han evolucionado. Por encima de la Secuencia Principal están las estrellas gigantes y súper gigantes, nótese que a pesar de que tienen temperaturas muy similares a varias de la secuencia principal, se diferencian en su luminosidad y por lo tanto en su tamaño. Debajo de la secuencia principal se encuentran las enanas blancas que son pequeñas, pero con densidad enorme, por lo tanto, con altísimas temperaturas. Gracias a este diagrama se logra definir una tercera clasificación, fruto de la relación entre la luminosidad y el tamaño. La clasificación general de las estrellas actualmente se define como:

- Ia0: Son estrellas súper gigantes extremas.
- Ia: Son estrellas súper gigantes luminosas.
- Iab: Son estrellas súper gigantes moderadas.
- Ib: Son estrellas súper gigantes menos luminosas.
- II: Son estrellas gigantes brillantes.
- III: Son estrellas gigantes normales.
- IV: Son estrellas sub gigantes.
- V: Son estrellas enanas, estrellas de la Secuencia Principal.

- VI: Son estrellas sub enanas.
- VII: Son estrellas enanas blancas.

Si pensamos en la clasificación espectral del Sol encontramos que es una estrella G2V, lo que significa que su temperatura esta cerca a los 5.500 K y el V significa que está en la secuencia principal.

### **Metodología de investigación**

Dado que se trabaja con personas y con los discursos que ellas puedan producir, enmarcamos esta como una investigación cualitativa fundamentada en la perspectiva de (Flick, 2009) quien la caracteriza como un camino para comprender, describir y explicar los fenómenos sociales y educativos desde diferentes perspectivas.

Puntualmente asumimos la investigación acción, dado que el investigador fue el mismo docente que planeó, ejecutó y analizó la estrategia. Según (Elliot, 1990) la investigación acción ofrece la posibilidad de consolidar un problema asociado al propio ejercicio docente y su solución con la cooperación de los estudiantes. En este caso, el problema del investigador está asociado a como mejorar su desempeño como instructor en la visita que hacen grupos de estudiantes al observatorio astronómico con el fin de ofrecer un espacio de desarrollo del pensamiento.

Los instrumentos de toma de datos fueron los relatos hechos por el docente investigador a partir de su observación directa de lo ocurrido. Lo cual se complementó con el diseño y diligenciamiento de una rejilla de observación por parte de un colega que lo acompañó solamente observando y cuyo principal indicador de observación fueron las expresiones espontaneas manifestadas por los participantes en los diferentes momentos. Se realizaron dos sesiones de observación con dos grupos diferentes, el primero eran estudiantes de Ingeniería Catastral y geodesia de la Universidad Distrital con edades entre los 20 y 25 años y el segundo eran Integrantes del Grupo de investigación en Enseñanza y Aprendizaje de la Física-GEAF, también de la Universidad Distrital, con edades diversas desde jóvenes hasta adultos.

El objetivo principal era generar una práctica que le permitiese al participante discutir sobre los conceptos básicos de la espectroscopia y su aplicación en la Astronomía, así como generar inquietudes en ellos.

La estrategia de intervención del docente investigador durante la visita, se dividió en tres etapas, la duración de las tres etapas fue aproximadamente de tres horas, siendo mas o menos una hora por cada etapa.

### ***Presentación de un experimento ilustrativo***

Mediante el uso de gafas que están hechas de rejillas de difracción, y el uso de tubos de descarga. En esta parte se presentaron informaciones sobre la historia del fenómeno, así como sobre el porqué se observa lo que se observa a través de las gafas, generando un diálogo permanente con los participantes. Se analizaron especialmente las intervenciones espontaneas de los visitantes, preguntas sobre el tema, reacciones al observar los tubos de descarga encendidos y la relación que iban encontrando entre la

explicación ofrecida sobre el desarrollo histórico y el experimento observado. En la Figura 4 están los estudiantes observando la luz emitida por los tubos de descarga, haciendo uso de las gafas. En las Figuras 5 y 6 se ven las imágenes que se observan a través de las gafas para los casos de hidrogeno y helio.

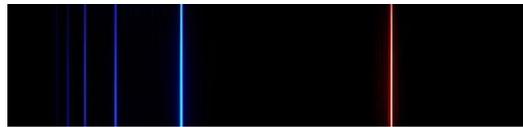


**Figura 4** - Estudiantes observando los tubos de descarga mediante rejillas de difracción en las gafas.

**Fuente:** los autores.



5a



5b

**Figura 5** - Espectro del hidrogeno obtenido con rejilla de difracción.

(a) Luz emitida por el hidrogeno sometido a descarga eléctrica.

(b) Espectro obtenido de la luz emitida por el hidrógeno.

**Fuente:** los autores.



6a

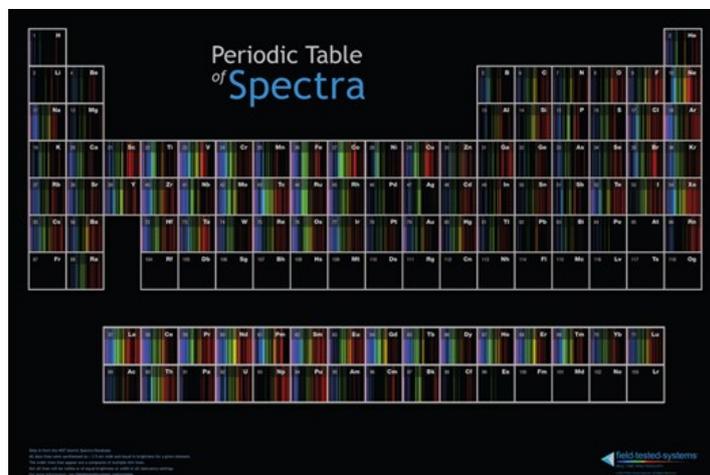


6b

**Figura 6** - Espectro del Helio con rejilla de difracción. (a) Luz emitida por el helio sometido a descarga eléctrica. (b) Espectro obtenido de la luz emitida por el helio

**Fuente:** los autores.

En seguida, disponemos la tabla periódica con los espectros de las diferentes sustancias, disponible en la literatura online, con el fin de ampliar la información respecto a los espectros de emisión, en el que se nota que cada material tiene su propio patrón de líneas.



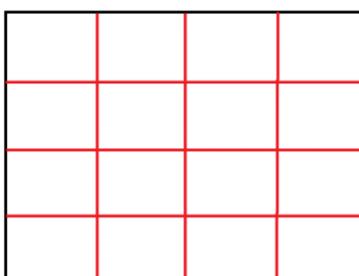
**Figura 7** - Tabla Periódica espectral.

**Fuente:** Field (2021). <https://www.fieldtestedsystems.com/>

### ***Construcción del espectroscopio casero y aplicación con los tubos de descarga.***

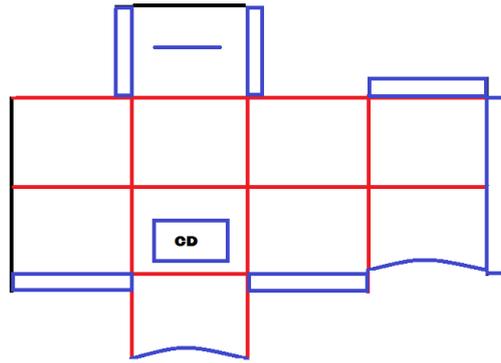
En la segunda etapa se presentó un espectroscopio construido por el docente y se entregaron las instrucciones y los materiales a los visitantes, para que construyeran su propio espectroscopio casero. Durante el proceso de elaboración, nos enfocamos en las reacciones y preguntas que cada uno iba presentando, haciendo notar para todos, las inquietudes, los comentarios, las curiosidades que mencionaban. Una vez finalizada la construcción del espectroscopio casero, se revisó con todos, la manera en que los participantes lo usaron para observar los tubos de descarga y las preguntas que surgían al observar el experimento, lo cual propició un ambiente de confianza para expresar diversas ideas.

En las Figuras 8, 9 y 10, se encuentra el modelo para la construcción del espectroscopio casero, que requirió de un octavo de cartulina, 1 CD, tijeras y pegamento. El octavo de cartulina se divide en 16 paralelogramos del mismo tamaño, en donde luego se resalta el croquis indicado, para plegarlo y formar una caja que debía tener una ranura por la cara frontal y un agujero visor por la cara posterior. Dentro de la caja en la parte de abajo se pegan trozos de CD ubicados convenientemente para hacer que la luz que entra por la ranura se difracte en los trozos de CD.

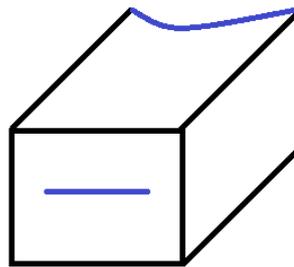


**Figura 8** - Modelo para construir espectroscopio casero.

**Fuente:** los autores.



**Figura 9** - Croquis del espectroscopio casero.  
**Fuente:** los autores.



**Figura 10** - Esquema del espectroscopio Casero.  
**Fuente:** los autores.

La línea horizontal azul representa la ranura por donde entra la luz y la línea azul curva es por donde el observador mirará el trozo de CD.

Para hacerlo funcionar basta con hacer entrar cualquier tipo de luz a través de la ranura. Luego se observa el CD dentro de la caja, con el fin de ver el espectro. El CD actúa como prisma y por lo tanto al incidir la luz, produce el espectro respectivo. En el uso del espectroscopio casero, se utilizaron tubos de descarga, lo cual permite ver diferentes formas de espectros, es decir, diferentes configuraciones de frecuencias. En la Figura 11 tenemos una fotografía de la imagen de espectro lograda cuando la fuente de luz es el Sol. En la Figura 12 cuando la fuente es un tubo de descarga que contiene hidrogeno, y en la Figura 13 un tubo de descarga con helio. En la Figura 14 presentamos dos escenas de visitantes participando en la construcción del espectroscopio casero.



11a



11b

**Figura 11** - Espectro de la luz Solar con Espectroscopio Casero.  
(a) Fuente de luz solar. (b) Imagen observada en el espectroscopio.  
**Fuente:** los autores.



12a



12b

**Figura 12** - Espectro del Hidrogeno con Espectroscopio Casero. (a) Luz emitida por el hidrogeno sometido a descarga eléctrica. (b) Imagen observada en el espectroscopio, del espectro del hidrogeno.

**Fuente:** los autores.



13a



13b

**Figura 13** - Espectro del Helio con Espectroscopio Casero. (a) Luz emitida por el helio sometido a descarga eléctrica. (b) Imagen observada en el espectroscopio, del espectro del helio.

**Fuente:** los autores.



**Figura 14** - Visitantes elaborando su espectroscopio casero.

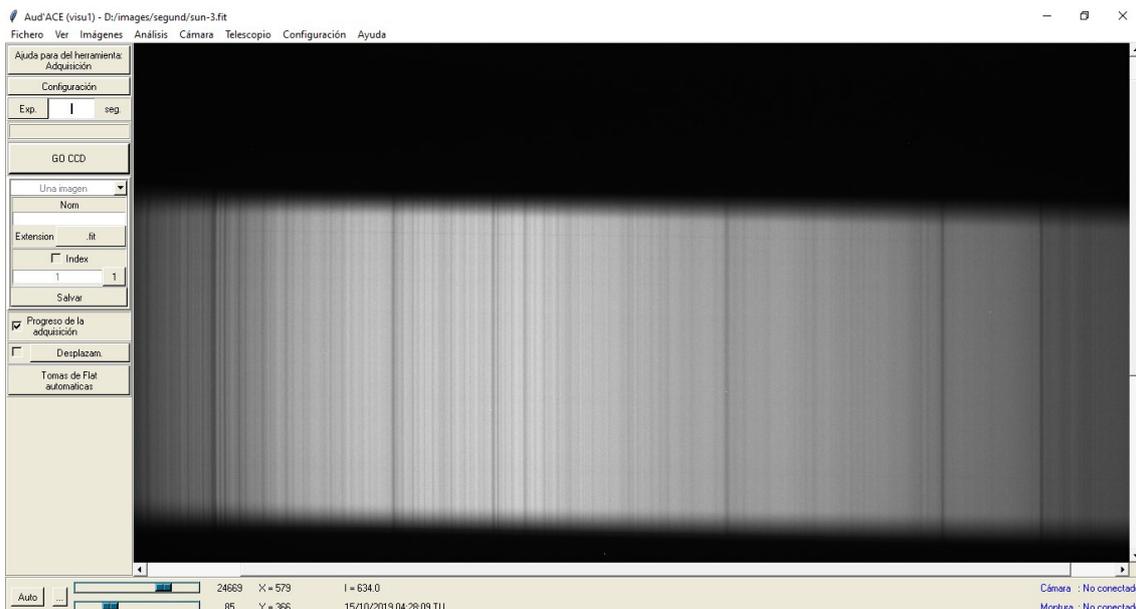
**Fuente:** los autores.

### *Uso del Espectrógrafo LISA*

Una vez el participante comprendió la idea general de la espectroscopia, se les brindó información más específica sobre este campo de conocimiento, pero ahora relacionándola con la Astronomía y su aplicación en el estudio de las estrellas. Este procedimiento fue idéntico al anterior, pero usando un instrumento mas sofisticado

ópticamente, pues, visto desde la Tierra, la luz de las estrellas es menos intensa en comparación con la del Sol y requiere de instrumentos que capten esa intensidad de luz. Entonces, se explicó el funcionamiento del espectrógrafo LISA y el modo como se usa para estudiar la composición de las estrellas. En esta fase, la intervención del participante fue de observador pasivo, pues el espectrógrafo LISA tiene procedimientos específicos para un funcionamiento correcto; en consecuencia, solo fue manipulado por el docente quien iba explicando el proceso y atendía los comentarios y preguntas de los participantes que se disminuyen al encontrarse frente a algo en lo que se sienten con menor dominio.

Las imágenes obtenidas mediante LISA son como se muestra en la Figura 15. Allí vemos el espectro solar, ya que fue la primera estrella que se observó por la facilidad de captar su luz. Al obtener el espectro del Sol, se notaron las líneas de absorción que evidenció Fraunhofer. Es de anotar que un espectro puede ser conseguido a partir de líneas de absorción o de emisión. La diferencia entre las dos técnicas es el momento en el que se captura la luz luego de una transición electrónica. Es decir, cuando se provoca la excitación de los electrones, que los lleva a pasar de un nivel inferior de energía a uno superior, los átomos absorben energía de una frecuencia determinada para cada elemento, de modo que si se logra registrar la luz que no ha sido absorbida por los átomos entonces se llamará espectro de absorción, pero si se logra registrar la radiación que ocurre después de que los electrones hayan vuelto a su estado, para lo cual deben emitir la energía que habían absorbido, entonces se llamará espectro de emisión.



**Figura 15** - imágenes obtenidas mediante el espectrógrafo LISA.

Se observan líneas oscuras y la mayoría claras.

**Fuente:** los autores.

## Resultados

A continuación, analizamos los resultados de haber diseñado, aplicado y observado el desarrollo de las actividades en las visitas al Observatorio Astronómico, prestando especial atención al nivel de logro en términos de estímulo al pensamiento científico y construcción de conceptos básicos de la espectroscopia.

### *En torno al experimento ilustrativo*

Como ya describimos, el tema se introdujo a partir del experimento ilustrativo, relatando hechos de la historia de la espectroscopia. Allí, encontramos que todos los participantes presentaron un gran asombro al usar por primera vez las gafas (espectroscopio profesional) y ver el espectro de la luz solar, esto facilitó el dialogo conducente a la construcción de conocimiento. A continuación, exponemos algunas de las declaraciones espontáneas que se presentaron con mayor frecuencia durante el proceso. Para ello identificaremos a cada participante con la letra *P* seguida de un subíndice que diferencia un participante de otro. No distinguimos entre un grupo y otro, dado que en general las reacciones se repitieron resaltando mas o menos los mismos aspectos que les llamaron la atención. Igualmente identificaremos al docente investigador con el código *Di*.

*P1: “¿Quiere decir que el color que vemos con nuestros ojos es la combinación de todos los colores que se ven con las gafas?”*

En este caso se observa que reflexionan sobre el hecho de que están viendo que la fuente de luz ofrece una luz blanca, pero al mirarla con las gafas observan muchos colores, lo que los lleva a preguntar si en verdad la luz blanca es la sumatoria de todas las frecuencias.

Otra manifestación de asombro fue al observar que para diferentes fuentes de luz se observaban diferentes patrones de líneas de colores.

*P2: ¿Es decir que cada elemento tiene un espectro único?*

Para cada una de las preguntas el docente investigador va dando las respuestas en voz alta para todos y ahí van surgiendo diálogos en torno a cada aspecto. En este caso, por ejemplo, el diálogo giró en torno a los nombres que reciben las diferentes sustancias químicas justamente haciendo honor al color mas brillante que aparece en su espectro. Así, elementos como el Cesio, Rubidio y Talio toman su nombre gracias al análisis de los espectros de cada uno, en donde el Cesio que del latín se traduce como “azul cielo” hace alusión a dos líneas de azul brillante que aparecen en su espectro. El Rubidio que del latín se traduce como “rubio” hace alusión al color dorado y rojizo brillante que caracteriza su espectro. El talio traducido del griego significa “retoño verde o rama” y su espectro de emisión se caracteriza por líneas de color verde brillante. Igualmente reaccionaron con inquietudes al enterarse de que el Helio se descubrió por primera vez en el Sol y por eso lleva ese nombre, ya que Helio traducido del latín significa “Sol”. En Hernandez (2006) se encuentra mayor información sobre el origen de los nombres de los elementos.

También se produjeron diálogos en torno a la composición atómica de cada elemento para tratar de comprender el porqué cada elemento genera un espectro distinto. En un grupo se discutió sobre un posible “animismo” en la explicación del docente investigador, ya que estaba explicando el hecho de la producción de los fotones al interior del átomo con frases como “el electrón salta de un nivel de energía a otro” o “el electrón siempre busca su mínimo nivel de energía”, frente a lo cual algunos de los participantes llamaban la atención sobre si el electrón tenía voluntad propia para saber cuándo saltar o buscar en donde quería estar, lo cual podría generar un obstáculo epistemológico en el sentido en que lo analizan (Castiblanco & Vizcaíno, 2020).

El docente aceptó la inquietud y procedió a explicar que es usual describir el comportamiento del electrón de este modo al ser excitado con aumento de energía y explicó algunas ideas intentando precisar la explicación del comportamiento del electrón,

*Di: Un átomo puede absorber diferentes tipos de energía, por ejemplo térmica y luminosa, y cuando absorbe energía las partículas que lo componen se excitan, es decir, aumentan su energía. Los electrones dentro del átomo están ubicados de manera natural en algún estado de energía, pero cuando reciben energía extra, se sale de su nivel de energía, lo cual es un desequilibrio de su estado, entonces emite luz, este momento se llama como emisión de radiación. Cuando el electrón emite esta radiación queda nuevamente en su equilibrio natural. Esa luz que emite es la que permite detectar el espectro en forma de colores, cuando dicha radiación está en el rango de frecuencias de los colores visibles al ojo humano. Y cada material se desequilibra con unos valores diferentes, por eso emiten radiación diferente.*

En general, hubo comentarios en donde manifestaban que de verdad eran las gafas las que hacían aparecer los colores y de manera indirecta comienzan a mostrar comprensión sobre el concepto de difracción. Es decir, que toman conciencia de que la luz solo al pasar por la rejilla experimenta la descomposición y por eso nuestros ojos perciben colores, rápidamente empiezan a asociar con diferentes frecuencias que componen la luz blanca. Entonces surgen preguntas sobre como están hechas las gafas, a lo cual se responde sintéticamente que:

*Di: es una lámina, que en este caso es de un tipo de plástico al que se le han imprimido una gran cantidad de ranuras o rendijas paralelas por donde puede pasar la luz, pero el ancho de cada rendija es muy pequeño, es del orden de los nanómetros, menor que la longitud de onda de la luz blanca y por eso la descompone.*

Por otro lado, las reacciones de asombro de los visitantes tanto de ingeniería como del semillero GEAF al usar por primera vez las gafas, muestra la importancia y la necesidad de conectar al visitante con la teoría y desarrollo de la espectroscopia por medio de la experimentación ilustrativa.

La información suministrada a los visitantes sobre el descubrimiento de elementos como el Helio, Talio, Rubidio y Cesio tuvo un impacto notable, pues los visitantes se mostraron interesados en saber más al respecto, lo que permitió complementar el desarrollo histórico de la espectroscopia. Los visitantes manifestaron que ahora veían como la espectroscopia tiene repercusión en diferentes disciplinas.

#### ***A partir del experimento casero***

Se notó una participación activa en la construcción del espectroscopio, ayudándose unos a otros y sorprendiéndose cada vez que alguno lograba terminarlo y observar algo. Los dos grupos lograron elaborar los prototipos relativamente rápido y espontáneamente iban buscando diversas fuentes de luz para observar, algunos directamente preguntaban sobre si podrían hacer modificaciones al montaje, ya que tenían algunas hipótesis, por ejemplo:

*P<sub>3</sub>: “¿Puedo hacer un orificio más grande para que entre más luz en el espectroscopio?”*

*P<sub>4</sub>: Podría dejarle destapado todo el lado de observar...*

Cuando se les dispusieron los tubos de descarga para que observaran la luz emitida por los gases se sorprendieron al notar que observaban los espectros de manera bastante similar a como se habían visto con las gafas. Muchos comentaban sobre lo simple del montaje casero y lo importante para estudiar este fenómeno. Aún cuando algunos no lograban el mismo resultado y cuestionaban pidiendo que les explicaran si estaban comprendiendo algo mal o estaban haciendo algo mal. Por ejemplo,

*P<sub>5</sub>: “¿Por qué en el espectro del hidrogeno se ven líneas tenues de color verde cuando se supone que se deberían ver líneas rojas y azules?”*

*P<sub>6</sub>: “¿Por qué con mi espectroscopio no puedo ver las líneas de colores?”*

Constatamos que los participantes presentaron facilidad para construir el espectroscopio casero, lo cual es el resultado de la preparación cuidadosa del material y la orientación ofrecida con lenguaje sencillo y claro, en donde se les iba haciendo reflexionar sobre lo básico que se requería, que era una caja oscura a donde entraría luz por una delgada ranura, la cual incidiría en el trozo de CD que haría las veces de rejilla de difracción, dispersando la luz que llegaría al ojo que observa por un orificio ubicado en el lado opuesto a la ranura. Luego, se hacían reflexiones sobre que la espectroscopia consiste básicamente en producir espectros para analizarlos por diferentes métodos.

Cuando P<sub>3</sub> propone agrandar el orificio, se asumió como una pregunta importante para analizar como ver mejor los espectros, ya que está demostrando que ha caracterizado una de las variables que intervienen en el fenómeno, la cual es la intensidad de luz, de modo que se dialogó con todos sobre cuál sería la cantidad de luz que se requeriría para observar mejor el fenómeno, la respuesta del docente investigador fue:

*Di: intentémoslo con diferentes tamaños y veamos que ocurre...*

Así, se llegó a la conclusión de que el orificio más grande permitía un ingreso mayor de luz y a su vez una producción de espectros mas definidos, especialmente cuando se tiene luz proveniente de fuentes de menor intensidad lumínica, como en el caso del hidrogeno y el nitrógeno, pues cuando se tenía una ranura demasiado estrecha, de acuerdo a los estudiantes “entraba una intensidad de luz muy bajita”.

El participante P<sub>5</sub> cuestiona sobre el hecho de observar líneas de color verde en el espectro del hidrogeno, ya que al compararlo con lo visto a través de las gafas encontraba que no se deberían ver líneas verdes. Notamos que a pesar de que la capacidad del espectroscopio casero es muy buena, tiene una limitante y es que deja entrar luz proveniente de otras fuentes, en este caso, concluimos que además de la luz proveniente de la lámpara de hidrogeno, a este espectroscopio le estaba entrando luz solar, poca, pero suficiente para crear nuevas líneas de frecuencias (que el ojo humano percibe como colores), dicha luz estaría ingresando por la cúpula del observatorio.

Cuando el participante P<sub>6</sub> manifiesta que no logra observar alguno de los espectros en comparación con sus compañeros, los demás se mostraron curiosos por saber que estaba pasando. Se concluyó que este espectroscopio no cumplía una condición importante y es que el trozo de CD estaba demasiado cerca a la ranura, esto hace que la luz incidente en el CD se difracte hacia una dirección diferente al orificio visor, por lo tanto, no llega luz al ojo. El participante corrigió el defecto en su artefacto y comprendió que la ubicación del CD era estratégica en el espectroscopio casero pues la luz incide en

una determinada dirección y se refleja en otra determinada dirección, esto indica que se pudo profundizar un poco más en la comprensión de la dispersión de la luz y el modo como se comporta, pues para cada frecuencia (color) hay un determinado ángulo de desviación, y el trozo del CD al estar más cerca a la ranura dispersaba la luz en un ángulo que no coincidía con la dirección en que estaba ubicado el orificio visor.

### ***Por medio de un instrumento sofisticado***

Usando el espectrógrafo LISA se complementó lo aprendido con la observación y análisis de las imágenes obtenidas anteriormente, siendo este ya un instrumento sofisticado para la obtención y análisis de los espectros de las estrellas, en general, aparecieron preguntas sobre como son los espectros de las estrellas y como identificar allí los diferentes componentes químicos de una estrella. Frente a esto se hizo la descripción de los espectros que ya están disponibles en la literatura para cada una de las estrellas identificadas y se mostraron ejemplos de las gráficas que se obtienen.

Los participantes mostraron asombro e inquietudes al enterarse de que las estrellas rojas son las estrellas con más baja temperatura y que las azules son las que tienen más alta temperatura, pues desde el sentido común se pensaría que lo que esté rojo esta mas caliente que lo azul. Este asombro ocurrió principalmente en el grupo de ingeniería. Igualmente, encontraron sorprendente que también se pudiera saber la vida media de una estrella, de acuerdo al color de luz que emite la estrella, esto mediante el diagrama H-R, como se describió anteriormente. Lo anterior permitió concluir que nuestro Sol es una estrella de baja temperatura en relación a las demás estrellas del firmamento.

Cuando se presentaron los espectros ofrecidos por LISA se encuentra que estos son en blanco y negro y no en colores, entonces surgen preguntas como,

*P7: “¿Por qué el espectro se ve a blanco y negro con ese aparato?”*

*P8: “¿Qué grafica el programa cuando muestra esos picos?”*

*P9: “¿Por qué el espectro de una estrella es menos alto que el del Sol? ¿Por qué tiene menos líneas que las del Sol?”*

Frente a esto se hicieron aclaraciones como:

*Di: el espectrógrafo LISA tiene una cámara con imagen a blanco y negro, por lo tanto, todos los espectros estarán ausentes de color, la forma como se sabe su color, es justamente mediante el valor de la longitud de onda o de la frecuencia, arrojado por el software...*

*Di: el gráfico que se obtiene de los espectros de estrellas es menos alto en el eje vertical y no se parece al espectro del Sol. Esto ocurre debido a que la intensidad lumínica de una estrella es mucho menor en comparación con la de nuestro Sol...Por otra parte, la diferencia en la cantidad de líneas de absorción es debido a que existen distintos tipos de estrellas, con distintas temperaturas y por lo tanto con distintos elementos químicos, lo cual ofrece distinta cantidad de líneas espectrales.*

Los participantes se mostraron en general muy atentos e interesados en las respuestas que ofrecía el docente investigador. Mostraron comprensión en términos generales sobre la relación de color (frecuencia) con la energía de un cuerpo

(temperatura). Del mismo modo muchos de los participantes desconocían que el Sol es una estrella de temperatura baja en comparación con estrellas en todo el universo, lo cual les causó asombro y curiosidad por saber más sobre el tema. En esta parte se pudo notar que los participantes empezaron a hablar con mayor propiedad sobre el concepto de espectro como un conjunto de diferentes frecuencias de una onda electromagnética. Empiezan a asociar esto al comportamiento de cada elemento de la materia y su composición atómica.

## **Conclusiones**

La formación como docente investigador a partir de la perspectiva dimensional de la didáctica de la física, permitió diseñar una estrategia metodológica que logró involucrar a los participantes con conceptos básicos de la espectroscopia y les generó preguntas e inquietudes, lo cual entendemos como un estímulo al desarrollo del pensamiento científico. Es claro que falta mucho por investigar, para optimizar las visitas al observatorio astronómico con el fin de trascender la mera lúdica, sin embargo, vemos que esta estrategia ofrece un camino positivo.

La comprensión del uso del experimento ilustrativo y del experimento casero desde la dimensión interaccional de la didáctica de la física posibilita la participación activa de los visitantes y del docente o guía, hace que se involucren y ganen autoestima y confianza para apropiarse lenguaje científico, así como para preguntar, debatir, cuestionar, lanzar hipótesis, lo cual supera la participación pasiva y de contemplación de lo que ocurre. En el caso del espectroscopio casero cada participante se sintió dueño de su instrumento y así mismo responsable de hacerlo funcionar, lo cual despertó emociones de compañerismo, asombro, a veces frustración, o de satisfacción de haberlo logrado, lo cual los incentivó para continuar participando activamente en el proceso.

El uso del espectrógrafo LISA fue importante como complemento al proceso y permitió que informaciones más específicas pudieran ser brindadas luego de haber creado un ambiente de curiosidad y atención. Seguramente si se hubiera llevado a los visitantes directamente a ver las imágenes del espectrógrafo habría sido muy difícil crear ese mismo nivel de atención, pues realmente la información que arroja el software es compleja y abstracta. Se entiende que cuando un proceso limita al participante de manera indirecta, limita igualmente la posibilidad de aprendizaje.

La espectroscopia al ser una técnica compleja y multidisciplinar, que se utiliza en diversos campos científicos, en particular la Astronomía, necesita ser vivida por cada participante y no solamente contada. De modo que, en conclusión, con esta experiencia mostramos que se creó una experiencia que pudo ser vivida por los participantes.

## **Agradecimientos**

Al Conselho Nacional de Pesquisa de Brasil, por financiar el proyecto marco en donde se desarrolla esta investigación, así como al Centro de Investigaciones y Desarrollo Científico de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

## Referencias Bibliográficas

- Alarção, I. (2003). *Professores reflexivos em uma escola reflexiva*. São Paulo: Cortez.
- Avendaño, R. et al. (2012). La enseñanza de la física a través de módulos experimentales. *Góndola Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias*, 7(1), 32-49.
- Bertomeu, S. & García, J. (2019). *Espectroscopios*. Obtenido de Instrumentos Científicos. Recuperado em 7 de fev., 2022 de [www.uv.es/~bertomeu/material/museo/instru/espectro.htm](http://www.uv.es/~bertomeu/material/museo/instru/espectro.htm)
- Castiblanco, O. & Nardi, R. (2018). What and how to teach didactics of physics? An approach from disciplinary, sociocultural, and interactional dimensions. *Journal of Science Education*, 19(1).
- Castiblanco, O. & Vizcaíno, D. (2018). Re(conocimiento) de la disciplina a partir de ejercicios metacognitivos en la formación de profesores en física. *Revista Internacional de Aprendizaje en Ciencias, Matemáticas y Tecnología*, 5(1), 29-39.
- Castiblanco, O. & Vizcaíno, D. (2020). Obstáculos epistemológicos en el aprendizaje de algunos conceptos de física. In: A. Shigunov, A. Da Silva, D. Strieder & I. Fortunato. *A formação de professores de física em discussão: passado, presente*.
- Castiblanco, O. (2017). La interacción en el aula como una dimensión de la didáctica de la Física. *Tecné, Episteme y Didaxis, (extraordinario)*, 382-388.
- Castiblanco, O. (2021). *Tipologías de experimentación para la enseñanza de la Didáctica de la Física*. Itapetininga: Edições Hipótese.
- Copello, M. & Sanmartí, N. (2001). Fundamentos de un modelo de formación permanente del profesorado de ciências centrado en la reflexión dialógica sobre las concepciones y las prácticas. *Enseñanza de las Ciências*, 19(2).
- Elliot, J. (1990). Teachers as researchers: implications for supervision and for teacher education. *Teaching and Teacher Education*, 6(1), 1-26.
- Elliott, J. T. (1990). Teachers as researchers: implications for supervision and for teacher education. *Teaching & Teacher Education*, 6(1).
- Enciso, N. (2016). *Tipologías de experimentos en función de sus potencialidades para la formación de habilidades de pensamiento científico*. Trabajo de Grado de la Licenciatura en Física, Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Feynman, R. (1987). *Física: mecánica, radiación y calor*. V.1. Wilmington: Addison-Wesley Iberoamericana.
- Field, T. (2021). *Field-Tested System*. Obtenido de *Real time spectroscopy*: Recuperado em 7 de fev., 2022 de [www.fieldtestedsystems.com/](http://www.fieldtestedsystems.com/)

- Fischman, G. & Sales, S. (2010). Formação de professores e pedagogias críticas. É possível ir além das narrativas redentoras? *Revista Brasileira de Educação*, 15(43), 7-20.
- Flick, U. (2009). *An introduction to qualitative research*. London: SAGE.
- Gatti, B. (2004). Formação do professor pesquisador para o ensino superior: desafios. In: R. Barbosa. *Trajetórias e perspectivas da formação de professores*. São Paulo: UNESP.
- Giroux, H. (1997). *Os professores como intelectuais: rumo a uma pedagogia crítica da aprendizagem*. Artmed.
- Grisales-Franco, L. M. (2012). Aproximación histórica al concepto de didáctica universitaria. *Educación y Educadores*, 15(6), 203-218.
- Hecht, E. (2000). *Óptica*. Madrid: Addison Wesley Iberoamericana.
- Heredia, S. (2009). Cómo construir un espectroscopio casero con un CD. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 6(3), 491-495.
- Hernandez, J. (2006). *Los elementos químicos y sus nombres*. Pliegos de Yuste, 1(4), 57-69.
- Library, U. (2020). *Electromagnetic Radiation*. Obtenido de Chemistry libre texts: Recuperado em 4 de mayo, 2020 de <https://chem.libretexts.org/@go/page/1779>
- Ludke, M. (2001). O Professor, seu saber e sua pesquisa. *Educação & Sociedade*, 22(74).
- Nardi, R. & Castiblanco, O. (2019). *Didática da física (2a ed.)*. São Paulo: UNESP, Editorial Escrituras.
- Naukas. (2020). Ciencia, escepticismo y humor. Obtenido de Cien años del diagrama de Hertzsprung-Russell, el gráfico que organizó las estrellas. Recuperado em 4 de mayo, 2020 de <https://naukas.com/2011/09/08/cien-anos-del-diagrama-de-hertzsprung-russell-el-grafico-que-organizo-las-estrellas/>
- Nóvoa, A. (1992). Formação de professores e profissão docente. In: Nóvoa. *Os professores e a sua formação*. Dom Quixote.
- Paolantonio, S., Camino, N. & Merlo, D. (2021). *La historia de vida de don Robert Winter*. Esquel, Argentina: Red de Museos de Observatorios Astronómicos Argentinos.
- Sañudo, M. C. (2013). *Evolución Histórica de los Principios de la Química*. Madrid: UNED.
- Serway, R. (2005). *Física para ciencias e ingeniería*. Bogotá: Thomson Learning.

- Shulman, L. (1987). Knowledge and Teaching: Foundations of the New Reform. *Harvard Educational Review*, 57(1).
- Tardif, M. & Lessard, C. (2005). *O trabalho docente: elementos para uma teoria da docência como profissão de interações humanas*. São Paulo: Vozes.
- Thizy, O. & Cochard, F. (2012). Shelyak Instrumens. In: LISA Pack. *High Luminosity Spectrograph User Guide & Reference Manual* (págs. 11-14). Shelyak Instrumens.
- Umaña, D. A. (2020). *Análisis del uso del experimento discrepante en la enseñanza de la física. Trabajo de Grado de la Licenciatura en Física*, Universidad Distrital Francisco José de Caldas-UDFJC., Bogotá, Colombia.
- Widiatmoko, E., Widayani, M., A., M. & Khairurrijal. (2011). Physics Education A simple spectrophotometer using common materials and a digital camera. *Phys. Edu.*, 46(3), 332.
- Zeichner, K. (2003). Formando professores reflexivos para a educação centrada no aluno: possibilidades e contradições. In: R. Barbosa. *Formação de educadores: desafios e perspectivas*. São Paulo: UNESP.

---

Artigo recebido em 14/10/2021.

Aceito em 15/06/2022.