



Universidad de
La Sabana

Hackatón de Exoplanetas: Una propuesta de aprendizaje basado en retos para el desarrollo de habilidades científicas

Santiago Páez Avendaño

Universidad de La Sabana
Facultad de Educación
Licenciatura en Ciencias Naturales
Chía - Cundinamarca
2023



Universidad de
La Sabana

Hackatón de Exoplanetas: Una propuesta de aprendizaje basado en retos para el desarrollo de habilidades científicas

Santiago Páez Avendaño

Trabajo de grado para obtener el título de
Licenciado en Ciencias Naturales

Asesor

David Tovar Rodríguez

Universidad de La Sabana
Facultad de Educación
Licenciatura en Ciencias Naturales
Chía - Cundinamarca
2023

Agradecimientos

A quienes me han escuchado hablar de astronomía y exoplanetas y se han interesado genuinamente. Ustedes han sido el motor fundamental de este trabajo. A mi asesor David Tovar, quien vio potencial en mi idea de trabajo de grado y me apoyó incondicionalmente durante todo el proceso. Al Planetario de Bogotá, representado por Karina Sepúlveda y María Angélica Leal, líderes de la línea de astronomía y el equipo educativo, quienes nos apoyaron en hacer realidad la primera Hackatón de Exoplanetas. A las instituciones y sus dedicados profesores y directivos que creyeron en este proyecto y apoyaron a sus estudiantes para que pudiesen participar. A todos mis compañeros y profesores de la Licenciatura en Ciencias Naturales, quienes han conocido los pormenores de este proyecto y que me aportaron ideas, comentarios y hasta referentes teóricos que me fueron útiles. A mi familia y seres queridos, quienes han sido un soporte fundamental en todos los ámbitos de mi vida y sin quienes no estaría donde estoy.

Dedicatoria

Este trabajo es la suma de lo que muchas personas le han aportado a mi vida durante los últimos cinco años y me siento afortunado de tener a tantos y tantas a quienes agradecer y dedicarlo. Por eso, si te sientes aludido, no dudes que te dedico este trabajo a ti, que:

- Siempre me has recordado que los límites los ponemos nosotros.
- Me has adoptado como parte de tu familia.
- Me invitaste sopa y muchos almuerzos.
- Compartiste una cerveza (o varias) conmigo.
- Me escuchas hablar de libros de M.M. sin aburrirte.
- Crees que soy un *referente* como si no existiesen muchos mucho mejores.
- Siempre me recordaste que el dinero no sería un problema.
- Compartiste ese espectacular viaje conmigo.
- Desde la distancia siempre me has recordado el orgullo que sientes por mí.
- Estás tan seguro como yo, que la educación es la salida para una sociedad mejor.
- Me compartiste la sensibilidad con la que ves el mundo.
- Que estás convencido de que estoy hecho para cosas grandes (me pones mucha presión).

Finalmente, este trabajo también va para ti, que sigues luchando por lo que quieres sin importar que tan difícil se ponga el camino.

Índice

1	Introducción	8
1.1	Objetivos	13
1.2	Esquema del documento	13
2	Justificación	14
2.1	Hackatones y ABR	15
2.2	Exoplanetas: un contenido idóneo	17
2.3	Hackatón de exoplanetas	19
3	Estado del arte	20
3.1	Ecuaciones de búsqueda	21
3.2	Análisis cuantitativo	22
3.3	Análisis documental	32
3.3.1	Generalidades de la enseñanza de la astronomía a nivel global	32
3.3.2	Enseñanza de la astronomía en Colombia	38
3.4	Conclusiones del estado del arte	39
4	Marco teórico	41
4.1	Educación Científica	41
4.2	Habilidades científicas	43
4.3	Aprendizaje Basado en Retos	47
4.4	Exoplanetas en tránsito	49
5	Metodología	53
5.1	Población y muestra	55
5.2	Variables e instrumentos	56
5.2.1	Instrumentos	56
5.3	Procedimiento	57
5.4	Análisis de los datos	58
6	Resultados y análisis	61
6.1	Rúbrica de evaluación de habilidades	61
6.1.1	Análisis e interpretación de gráficas	62
6.1.2	Apropiación conceptual	63
6.1.3	Redacción científica	64
6.2	Programa de preparación para la hackatón	65
6.3	Hackatón de Exoplanetas Colombia 2023	68
6.4	Habilidades científicas	71
6.4.1	Visualizaciones de radar	71
6.4.2	Prueba <i>t student</i>	74
6.4.3	Habilidades científicas y programa de preparación para la hackatón	74
7	Conclusiones	77

8	Anexos	89
8.1	Anexo 1: Evaluación continua del programa de preparación para la hackatón	89
8.2	Anexo 2: Prueba diagnóstica	90
8.3	Anexo 3: Cuestionario sesión 1	91
8.4	Anexo 4: Cuestionario sesión 2	93
8.5	Anexo 5: Guía para la construcción de un modelo de exoplanetas en tránsito	94
8.6	Anexo 6: Cuestionario sesión 5	95
8.7	Anexo 7: Reto de simulacro	96
8.8	Anexo 8: Plantilla de reporte de resultados	97
8.9	Anexo 9: Resultados de los estudiantes	98

Índice de figuras

1	Rendimiento de Colombia en lectura, matemáticas y ciencias en Pruebas PISA 2018	9
2	Resultados del promedio del puntaje y niveles de desempeño en Ciencias. Prueba Saber 11° 2018	10
3	Tipos de documentos después de aplicar filtros de remoción de duplicados y otros tipos de documentos. a Rastreo en el mundo; b Rastreo en Colombia.	24
4	15 temas más publicados. El gráfico muestra el total de artículos diferenciando en dos colores. El naranja se usa únicamente para los trabajos publicados durante el último año, debido a que es un valor importante para calcular el índice de crecimiento (Ruiz-Rosero et al., 2019)	25
5	Evolución de la publicación en el Top 10 de países que más han publicado. En la izquierda, se grafica el número acumulado de documentos publicados por cada país del top 10 en función del tiempo. En la derecha, ese grafica el promedio de documentos durante el último año en función del porcentaje del total de documentos de cada país, en esta parte, entre más arriba este un país, significa que más ha publicado, mientras que más a la derecha este da cuenta de la tasa de crecimiento en publicaciones.	26
6	Nube de palabras clave	27
7	15 palabras clave más usadas	29
8	Palabras clave de la investigación en el contexto colombiano	30
9	Análisis de correlación de términos	31
10	Análisis de correlación de términos de habilidades científicas. Elaboración propia con VOSviewer.	47
11	Esquema del tránsito de un exoplaneta. Adaptado de Deeg and Alonso (2018)	50
12	Gráficos de radar con el desempeño obtenido por cada grupo de trabajo antes y después de participar en la hackatón. AIG: Análisis e interpretación de gráficas, AC: Apropiación conceptual, RC: Redacción científica.	72
13	Rendimiento en las habilidades antes y después de la hackatón. AIG: Análisis e interpretación de gráficas, AC: Apropiación conceptual, RC: Redacción científica.	73
14	Prueba diagnóstica	90
15	Guía para fabricar un modelo de exoplanetas. Hacer clic para ir al recurso	94
16	Simulacro del reto	96
17	Plantilla para reportar los resultados	97

Índice de cuadros

1	Resultado del preprocesamiento con Scientopy para la ecuación de búsqueda en el mundo	23
2	Resultado del preprocesamiento con Scientopy para la ecuación de búsqueda en Colombia	23
3	Resultados análisis de correlación	32
4	Términos relacionados con las habilidades científicas seleccionadas	47
5	Estructura de la rúbrica	62
6	Secuencias didácticas del programa de preparación para la hackatón	67
7	Parámetros planetarios para TOI-560 c obtenidos por los estudiantes durante el evento de hackatón. Valores de referencia tomados de El Mufti et al. (2022) y Barragán et al. (2022)	69
8	Resultados del desempeño de los estudiantes en las tres habilidades científicas analizadas antes (pre) y después (post) a la hackatón. AIG: Análisis e interpretación de gráficas, AC: Apropriación conceptual, RC: Redacción científica.	71
9	Resultados de la asistencia al programa de preparación y cambios en las habilidades científicas	75

Abstract

Facing the need to continually work on developing innovative, creative, and student-centered teaching practices for natural sciences, in order to foster the critical scientific thinking skills necessary for the 21st century, this research aimed to assess the impact of an exoplanet hackathon (in collaboration with the European Space Agency) on the development of scientific skills in high school students from Bogotá and Chía. Through a quasi-experimental pre-post design, 24 students aged between 15 and 18 were evaluated before and after participating in the hackathon using a questionnaire and student's written production to measure scientific writing, graphical analysis and interpretation, and conceptual understanding. These three scientific skills are considered integral and closely related to each other. The use of radar visualizations allowed for a comprehensive evaluation of performance in these scientific skills while maintaining consistency with a cooperative approach among them. Furthermore, a *t Student* test revealed statistically significant differences between the measurements, suggesting improvements attributable to the strategy. Additionally, an analysis based on Spearman's correlation showed an association between the level of attendance at conceptual preparatory sessions and performance in the skills. It can be concluded that the exoplanet hackathon represents a challenge-based learning strategy that effectively promotes scientific skills in high school students, especially when reinforced by prior conceptual levelling activities. The quantitative skills assessment tool and the implemented methodology represent valuable contributions for future studies and similar experiences, as they enable a comprehensive evaluation of three key scientific skills through a rubric validated with theoretical references.

Keywords: [Educational strategies](#), [Educational Evaluation](#), [Educational research](#), [Physics education](#)

Resumen

Ante la necesidad de trabajar continuamente en el desarrollo de prácticas de enseñanza de las ciencias naturales que sean innovadoras, creativas y centradas en los estudiantes para lograr desarrollar las habilidades de pensamiento científico crítico necesarias para el siglo XXI, esta investigación tuvo como objetivo, evaluar el impacto de una hackatón de exoplanetas (articulada con la Agencia Espacial Europea) en el desarrollo de habilidades científicas en estudiantes de educación media de Bogotá y Chía. Mediante un diseño cuasi experimental pre-post, 24 estudiantes entre 15 y 18 años fueron evaluados antes y después de participar en la hackatón con un cuestionario y su producción escrita después de la hackatón para medir redacción científica, análisis e interpretación de gráficas y apropiación conceptual, tres habilidades científicas que se consideran clave por ser integradoras y estar estrechamente relacionadas entre sí. Análisis mediante visualizaciones de radar permitieron evaluar de manera integral el desempeño en las habilidades científicas, manteniendo coherencia con una visión cooperativa entre las habilidades. Por su parte, una prueba *t de Student* evidenció diferencias estadísticamente significativas entre las mediciones, sugiriendo mejora atribuible a la estrategia. Adicionalmente, un análisis a partir de la correlación de *Spearman* también mostró asociación entre nivel de asistencia a sesiones preparatorias conceptuales y el desempeño en las habilidades. Se puede decir entonces que la hackatón de exoplanetas representa una estrategia de aprendizaje basado en retos que promueve efectivamente habilidades científicas en estudiantes de media, fortalecida por actividades previas de nivelación conceptual. El instrumento cuantitativo de evaluación de habilidades y la metodología implementada constituyen

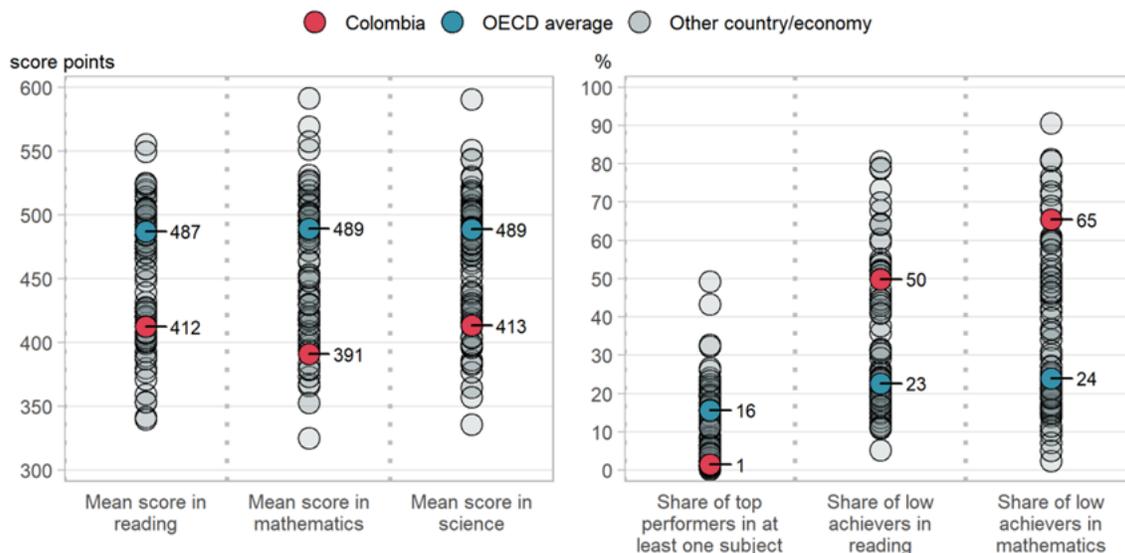
aportes para futuros estudios y experiencias similares, ya que permiten evaluar de manera integral tres habilidades científicas clave mediante una rúbrica validada con referentes teóricos.

Palabras clave: [Estrategias educativas](#), [Evaluación educativa](#), [Investigación pedagógica](#), [Enseñanza de la física](#)

1 Introducción

Colombia no ha sido un actor protagónico en el campo de la ciencia y la tecnología. A nivel internacional, el país ocupa el séptimo lugar en inversión a la investigación científica en relación con el producto interno bruto (PIB) en Latinoamérica, con apenas el 0.24 % según el Informe Mundial de la UNESCO en 2021 sobre Ciencia (Lewis et al., 2021). Según el mismo informe, Colombia es el quinto país en Latinoamérica en producción de artículos de investigación, con 222 publicaciones por millón de habitantes.

En cuanto a la educación científica, Colombia se encuentra significativamente por debajo de los demás países de la OCDE (Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos) en las pruebas PISA, 413 puntos de Colombia frente a 489 puntos en promedio de los demás países (Peña-López, 2019). Los resultados muestran que para el año 2018, el 50 % de los estudiantes colombianos estaban en los niveles 0 y 1 en ciencias, mientras que para los demás países de la OCDE el porcentaje fue del 22 % (ICFES, 2019), lo que muestra una brecha importante en el desempeño en ciencias frente al resto del mundo.



Nota: Solo se muestran países y economías con información disponible.
Fuente: OECD, base de datos PISA 2018, cuadros I.1 y I.10.1.

Figura 1: Rendimiento de Colombia en lectura, matemáticas y ciencias en Pruebas PISA 2018

Desde el punto de vista nacional, Colombia presenta varios aspectos a mejorar en materia de educación en ciencias. En el componente ciencias naturales, en la prueba Saber 11 del 2021 el promedio en el rendimiento fue de 49 % y ha mostrado una leve tendencia a bajar durante los últimos cinco años (ICFES, 2022). Además, los resultados indican que el 22 % de los estudiantes quedaron en el nivel 1 de desempeño, el 53 % quedaron en el nivel 2, el 23 % en el tercer nivel y solo el 2 % alcanzaron en el nivel 4. La figura 2 presenta el rendimiento en la prueba Saber 11° entre el 2017 y el 2021 y permite identificar cómo los resultados de la prueba para instituciones de calendario A (al que pertenece más de la mitad la población estudiantil) presentan un crecimiento en la cantidad de estudiantes en desempeños 1 y 2, así como una disminución en los estudiantes que alcanzan los niveles 3 y 4. Esta situación refleja la necesidad de mejorar la educación científica en el país.

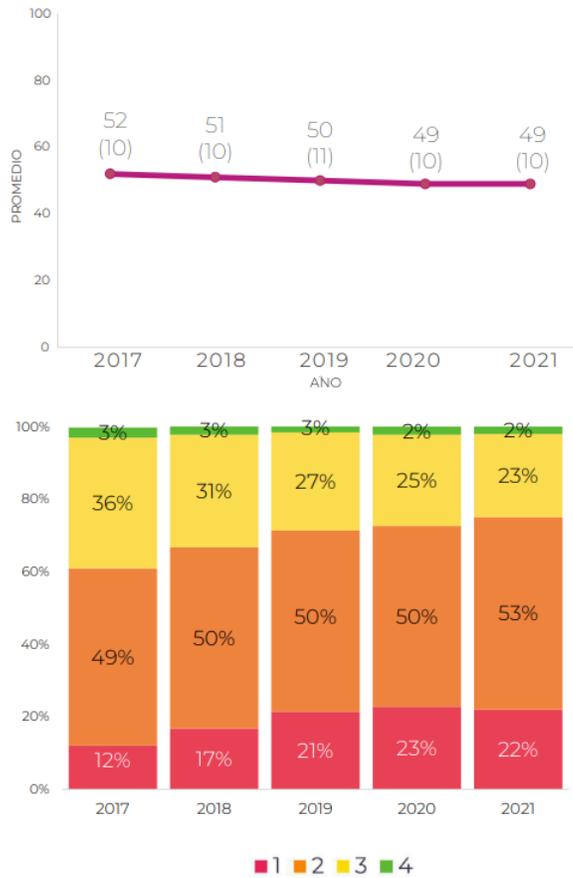


Figura 2: Resultados del promedio del puntaje y niveles de desempeño en Ciencias. Prueba Saber 11° 2018

A manera de referencia, se tiene en cuenta que los niveles de desempeño en la prueba ICFES Saber 11 son (ICFES, 2022):

1. Alcanza a reconocer información explícita, presentada de manera ordenada en tablas o gráficas, con un lenguaje cotidiano y que implica la lectura de una sola variable independiente.
2. Además de lo descrito en el nivel 1, el estudiante que se ubica en este nivel reconoce información suministrada en tablas, gráficas y esquemas de una sola variable independiente, y la asocia con nociones de los conceptos básicos de las

ciencias naturales (tiempo, posición, velocidad, imantación y filtración).

3. Además de lo descrito en los niveles 1 y 2, el estudiante que se ubica en este nivel interrelaciona conceptos, leyes y teorías científicas con información presentada en diversos contextos, en los que intervienen dos o más variables, para hacer inferencias sobre una situación problema o un fenómeno natural.
4. Además de lo descrito en los niveles 1, 2 y 3, el estudiante que se ubica en este nivel usa conceptos, teorías o leyes en la solución de situaciones problema que involucran procedimientos, habilidades, conocimientos y un lenguaje propio de las ciencias naturales.

Con este panorama general y resumido de Colombia en materia de ciencia y educación científica a nivel nacional e internacional, se consideran pertinentes los esfuerzos que promuevan una mejora en educación en ciencias y sobre todo en desarrollo de habilidades científicas. Esto permitirá que las personas sean capaces de resolver problemas cotidianos, tomar decisiones responsables en asuntos públicos y pensar críticamente (Meinardi et al., 2010).

La situación de Colombia no es aislada frente al resto del mundo, diversos sectores concuerdan que es necesario fomentar la educación científica y la alfabetización de las ciencias naturales en la ciudadanía (Acevedo-Díaz, 2004) y además es de gran importancia fomentar las ciencias desde edades tempranas (Furman, 2016)

Una base importante son los Estándares de Ciencias de Próxima Generación (NGSS, por sus siglas en inglés) en cuyo apéndice F define las prácticas científicas clave para la educación en ciencias en Estados Unidos y el mundo. Se hace un importante énfasis en las prácticas de ciencias e ingeniería en combinación con ideas disciplinarias centrales y conceptos transversales (Next Ge-

neration Science Standards, 2013)

En los NGSS, se describen ocho prácticas de ciencia e ingeniería y se proporciona una progresión de habilidades para cada nivel de grado; esas prácticas incluyen desarrollar y usar modelos, planificar y llevar a cabo investigaciones, analizar e interpretar datos, usar matemáticas y pensamiento computacional, argumentar a partir de la evidencia y obtener, evaluar y comunicar información (Next Generation Science Standards, 2013).

En ese sentido, resulta clave fortalecer las prácticas de enseñanza de las ciencias naturales, este trabajo propone la implementación de una hackatón (como estrategia de aprendizaje basado en retos, ABR) alineada con los NGSS para fomentar el desarrollo de habilidades científicas clave en los ciudadanos del siglo XXI como la argumentación, el razonamiento matemático, la redacción científica, entre otras; a través de los exoplanetas, una línea de investigación que toma fuerza cada día y con la que las personas tienen más contacto a través de medios de comunicación, redes sociales e internet en general (Otero, 2022).

Es en este punto donde nace la pregunta de investigación de este estudio, que busca aportar a la mejora de la educación científica no solo en el contexto en el que se aplica, sino a las estrategias de enseñanza que se llevan a cabo en diferentes tipos de ambientes de aprendizaje. Considerando la necesidad de fortalecer habilidades científicas en los estudiantes colombianos, se plantea evaluar una estrategia educativa innovadora centrada en retos para promover dichas habilidades: una hackatón sobre exoplanetas. Específicamente, la pregunta es: ¿cómo una estrategia de hackatón de exoplanetas contribuye en el desarrollo de habilidades científicas en estudiantes entre los 15 y los 18 años de distintas instituciones de Bogotá y Chía?

1.1 Objetivos

Para responder la pregunta de investigación, se plantea como objetivo general de la investigación evaluar el desarrollo de habilidades científicas en una hackatón de exoplanetas con estudiantes de diferentes instituciones entre 15 y 18 años de diferentes colegios de Bogotá y Chía.

Adicionalmente, como objetivos específicos:

- Organizar una estrategia de aprendizaje basado en retos que facilite el análisis de datos de exoplanetas y el desarrollo de habilidades científicas en los estudiantes.
- Diseñar un instrumento de evaluación de habilidades científicas para medir el desempeño de los estudiantes, antes y después de la estrategia.
- Evaluar el desempeño de los estudiantes en las habilidades de análisis e interpretación de gráficas, apropiación conceptual y redacción científica antes y después de participar en la estrategia.

1.2 Esquema del documento

Este documento se divide en ocho secciones de las cuales la presente introducción es la primera.

En la segunda sección se presenta la justificación de por qué una hackatón es una estrategia de enseñanza basada en retos ideal para desarrollar habilidades científicas, además de por qué abordar la temática de los exoplanetas es una oportunidad ideal para desarrollar habilidades científicas necesarias en la sociedad del siglo XXI.

La sección número tres, está dedicada al estado del arte. Una minuciosa revisión cuantitativa y bibliográfica de los artículos publicados en las dos bases de datos consideradas referentes de la

producción académica mundial sobre la enseñanza de los exoplanetas y otros temas astronómicos a través del aprendizaje basado en retos y otras estrategias de aprendizaje activo y centrado en el estudiante.

La cuarta sección consolida el marco teórico tenido en cuenta para el desarrollo de este proyecto de grado, donde se definen conceptos pedagógicos y disciplinares clave como educación científica, habilidades científicas, aprendizaje basado en retos y exoplanetas en tránsito.

La metodología de investigación utilizada se presenta en la sección número cinco. Se describen el enfoque utilizado, el alcance propuesto, la población, las variables de análisis y los instrumentos utilizados.

En la sección número seis, se presentan los resultados y análisis de la implementación y evaluación de la hackatón y el desempeño de los estudiantes en las habilidades científicas de interés definidas más adelante en este documento.

En la sección número siete, se presentan las conclusiones de este proyecto de grado a la luz de los objetivos propuestos, así como proyecciones a futuras investigaciones basadas en el trabajo aquí realizado.

Finalmente, la sección número ocho contiene los diferentes anexos mencionados a lo largo del documento y que le serán útiles al lector para profundizar en aspectos concretos del documento.

2 Justificación

Una hackatón puede ser una excelente manera de llevar a cabo implementaciones de aula basadas en ABR, la naturaleza de su metodología, formas y propósitos es completamente compatible con el ampliamente explorado enfoque centrado en el estudiante (Nandi and Mandernach, 2016;

Wallwey et al., 2022). Por su parte, los exoplanetas pueden ser un contexto disciplinar ideal para la enseñanza de las ciencias de forma interdisciplinar y llamativa para los estudiantes (Radnóti, 2021).

2.1 Hackatones y ABR

El aprendizaje basado en retos, es un enfoque pedagógico centrado en el estudiante y que parte de una situación real y significativa que implica definir un reto y proponer una solución (Bolaños and Pérez, 2019). El ABR tiene como principales beneficios, que los estudiantes logran comprensiones más profundas, desarrollan la creatividad y procesos de investigación, además de fortalecer sus habilidades blandas.

Desde una perspectiva metodológica y desde el rol del profesor de ciencias, para implementar una estrategia efectiva a partir del ABR, se requiere que el docente deje de ser el centro de la experiencia en el aula de clases con el fin de dejar el protagonismo en los estudiantes, también es necesario que esté capacitado para responder y abordar cualquier duda, problema u obstáculo para los estudiantes, así como trabajar de forma colaborativa con otros maestros porque en muchos casos los retos con los que se encuentran los estudiantes son de carácter multidisciplinario (Delgado et al., 2018).

En ese sentido, Delgado et al. (2018) retoman 10 elementos importantes que estructuran el ABR: idea general, pregunta esencial, reto, preguntas, actividades y recursos guía, solución, implementación, evaluación, validación, documentación y publicación y reflexión y diálogo. De estos 10 elementos, para el evento de hackatón de exoplanetas se utilizaron específicamente la idea general, el reto, las preguntas, las actividades y recursos guía, como base para plantear tanto la hac-

katón como un programa de preparación previo para entrenar a los estudiantes para el evento.

El aprendizaje basado en retos ha sido ampliamente analizado a partir de investigación educativa.

Por ejemplo, Pérez-Poch et al. (2022) analizaron los beneficios del ABR en términos de desarrollo y promoción de habilidades científicas; lograron mejorar la motivación y el compromiso de los estudiantes, desarrollar experiencias inmersivas y generar iniciativas de cooperación internacional. Otro ejemplo es el de Santiago-Acosta et al. (2018) cuyo trabajo se enfocó en desarrollar y movilizar aprendizajes en torno a la física y las matemáticas en estudiantes universitarios, encontrando que el ABR permite los estudiantes se involucren en su proceso de aprendizaje a través de discusiones y trabajo en equipo.

Por su parte, frente a las hackatones, se ha comprobado que permiten fomentar pensamiento creativo y la resolución de problemas, pues la naturaleza de corto plazo de los hackatones obliga a los participantes a pensar de forma creativa y rápida para generar una solución viable a un problema concreto (Martin et al., 2005). Al tener que idear soluciones innovadoras bajo presión, se estimula la creatividad y el pensamiento divergente.

De igual forma, el formato de una hackatón obliga a los estudiantes a trabajar en equipo y mejorar habilidades de trabajo en equipo. De hecho, el éxito en un hackatón depende de la capacidad de los miembros del equipo para trabajar efectivamente juntos (Briscoe, 2014). Esto desarrolla comunicación, resolución de conflictos, delegación de tareas y otros aspectos del trabajo en grupo.

Asimismo, una hackatón permite poner en práctica conocimientos teóricos para resolver problemas concretos. Las hackatones proveen oportunidades para que los estudiantes integren y apliquen lo que aprenden en clase de forma significativa (Lara and Lockwood, 2016). Esto refuerza el aprendizaje activo.

Del mismo modo, al tener poca supervisión, los participantes deben gestionarse de forma autónoma, generando una oportunidad para que los estudiantes demuestren autogestión y propiedad de su aprendizaje, fomentando habilidades de independencia.

Teniendo en cuenta todo lo anterior, una hackatón se enmarca dentro del ABR porque presenta a los estudiantes una situación problemática abierta que deben resolver de manera creativa en un tiempo determinado, promoviendo el desarrollo de habilidades blandas Marin-Zapata et al. (2022) y en este caso de ciencias naturales. De esta manera, la hackatón encaja en la definición de aprendizaje basado en retos, ya que expone a los participantes a una situación problemática real que deben abordar de forma creativa y usando todos sus conocimientos y habilidades.

2.2 Exoplanetas: un contenido idóneo

La astronomía es una ciencia que no debe entenderse aislada, sino que, por el contrario, ha contribuido al desarrollo de múltiples campos en la sociedad que van desde el arte, la economía, la cultura y la política (Valls-Gabaud, 2009) hasta el desarrollo de tecnología, el sector energético, la industria, la medicina y en general, la vida diaria de las personas (Rosenberg et al., 2014).

Hoy en día, la astronomía se divide en múltiples áreas de estudio que no son independientes entre sí. Algunas se basan en las longitudes de onda en las que se realizan las observaciones: radioastronomía, astronomía infrarroja, astronomía ultravioleta, astronomía de rayos X y astronomía de altas energías (Carroll and Ostlie, 2017). Cada una de estas se puede subdividir en categorías más específicas. Por ejemplo, otra forma de organizar la investigación astronómica es a partir de los cuerpos celestes que se estudian: astronomía planetaria, astronomía del medio interestelar, astronomía galáctica, astronomía extragaláctica y cosmología (Karttunen et al., 2007). Igualmente,

estas áreas tienen subdivisiones cada vez más detalladas (Kutner, 2003).

Dentro de la astronomía planetaria, desde hace siglos se postulaba la existencia de planetas orbitando otras estrellas. Frente a esta idea, Giordano Bruno en el siglo XVI manifestó la posibilidad de vida en otros mundos orbitando estrellas diferentes al Sol. Esta idea se consolidó hasta requerir una comprobación observacional, que llegó de la mano de Michael Mayor y Didier Queloz en 1995 (Mayor and Queloz, 1995), quienes descubrieron el primer exoplaneta orbitando una estrella de tipo solar, no obstante Wolszczan and Frail (1992) ya habían dado un paso importante al descubrir planetas alrededor de un pulsar.

Desde entonces, el estudio de los exoplanetas ha reestructurado y expandido el conocimiento humano sobre la formación, evolución y diversidad planetaria. Se han encontrado planetas con características inexistentes en el Sistema Solar, como Júpiter caliente, supertierras y mini-Neptunos, por ejemplo planetas con masa y tamaño comparable con Júpiter, pero a una distancia de su estrella más corta de lo que está Mercurio del Sol (Júpiter caliente) o planetas rocosos de varias veces la masa y el tamaño de la Tierra (supertierra) (Deeg and Belmonte, 2018)

Hoy en día, el tema de los exoplanetas ha llegado ampliamente a la sociedad de manera directa o indirecta, dado el gran interés de las personas y medios en los constantes descubrimientos productos de esta rama de la astronomía. Por ejemplo, se ha evidenciado como los reportes informativos en medios de comunicación impresos y digitales han aumentado el impacto mediático que ha tenido la investigación de exoplanetas en la sociedad, generando interés por la ciencia y la investigación (Otero, 2022).

Partiendo de esto, maestros alrededor del mundo, comenzaron a integrar a sus ejercicios de clase temáticas relacionadas con el espacio, la astronomía y por supuesto, los exoplanetas. Ha sido tanto el interés de la astronomía en contextos educativos que se ha integrado la astronomía en los

currículos de primaria (McKinnon and Geissinger, 2002; Morais de Abreu et al., 2022) y secundaria (Percy, 2005; Folhas, 2022; Horvath, 2022).

Se puede decir entonces que la enseñanza de los exoplanetas es un contenido integrador e interdisciplinar útil para movilizar aprendizajes, comprensiones y desarrollo de habilidades científicas como: observar, clasificar, medir, comunicar, inferir, predecir, recolectar, registrar e interpretar datos, identificar y controlar variables, construir hipótesis, experimentar, construir y usar modelos; y de pensamiento crítico como: analizar, sintetizar, evaluar, aplicar, generar y expresar ideas y resolver problemas (Valentino, 2000)

2.3 Hackatón de exoplanetas

En este trabajo se presenta una propuesta para evaluar la de enseñanza de los exoplanetas a través de una hackatón, como una estrategia enmarcada en ABR aprendizaje basado en retos con estudiantes de secundaria donde enfrentan desafíos usando conocimientos y habilidades sobre exoplanetas desarrollados en un programa de preparación previo.

Un evento como este, además de ser innovador con estudiantes de secundaria, permite el aprendizaje activo basado en retos, pues en las hackatones los estudiantes deben resolver un problema del mundo real aplicando sus conocimientos y habilidades (Bolaños and Pérez, 2019). Varios autores resaltan que el ABR fomenta la participación activa, motivación y aprendizajes profundos en los estudiantes (Delgado et al., 2018; Jiménez et al., 2019).

Adicionalmente, una hackatón de exoplanetas demanda que los estudiantes pongan en práctica habilidades como análisis de datos, construcción de modelos, comunicación científica y trabajo en equipo (Pérez-Poch et al., 2022). Estas son claves en la educación STEM y preparan a

los estudiantes para los retos del mundo actual. Al utilizar datos de misiones espaciales como CHEOPS, los estudiantes participan en procesos auténticos de la ciencia y comprenden mejor su naturaleza (Willis et al., 2017). Esta conexión con la “ciencia real” aumenta la motivación y el interés en los temas estudiados.

Debido a que analizan datos reales y se abordan retos de la investigación en exoplanetas como la determinación de parámetros planetarios, los estudiantes integran conocimientos de física, química, matemáticas y computación (Santiago-Acosta et al., 2018). Esto refuerza la interrelación entre disciplinas científicas. Adicionalmente, las hackatones promueven el uso de herramientas TIC como software de análisis de datos, simuladores y entornos colaborativos (Delgado et al., 2018), estas competencias tecnológicas resultan esenciales para la educación actual.

3 Estado del arte

Teniendo en cuenta que esta investigación plantea evaluar cómo una estrategia como las hackatones, enmarcadas en el ABR, contribuyen con el desarrollo de habilidades de pensamiento científico, se considera necesario conocer el estado de la investigación sobre la enseñanza de la astronomía y los exoplanetas, se contempla conocer el panorama de la astronomía dada la premisa de que al ser la ciencia abarcadora, la cantidad de producción académica al respecto es mayor. En ese sentido, se plantean las siguientes preguntas sobre el estado de la investigación:

- ¿Cuáles son las tendencias en enseñanza de la astronomía y los exoplanetas en Colombia y el mundo?
- ¿Cómo se ha usado el ABR en la enseñanza de la astronomía y los exoplanetas?

- ¿Cuáles habilidades científicas se han desarrollado por medio de la enseñanza de la astronomía y los exoplanetas?

La construcción de este estado del arte, se da a partir de dos tipos de análisis, el primero: una revisión cuantitativa, definida como el estudio de la información cuantitativa en el proceso de comunicación científica (Mingers and Leydesdorff, 2015), o en otras palabras como el análisis de la calidad, el impacto, el crecimiento y las tendencias en un campo de investigación (Ruiz-Rosero et al., 2019). Este tipo de análisis es útil para identificar un panorama general del estado del arte. En este caso, se revisan y analizan artículos y trabajos de investigación indexados en las bases de datos Scopus y Web of Science, consideradas como referentes de la producción científica mundial, a través de las herramientas, Scientopy desarrollada por Ruiz-Rosero et al. (2019) para las tendencias de publicación y VOSviewer desarrollada por Van Eck and Waltman (2010) para los análisis de correlación de términos.

Por otro lado, y con base en el análisis cuantitativo, se lleva a cabo una revisión documental a partir de los trabajos más relevantes identificados en el primer análisis, para con esto construir una visión general y aproximación a la respuesta de cada una de las preguntas formuladas antes.

3.1 Ecuaciones de búsqueda

Las ecuaciones de búsqueda usadas no proponen ninguna restricción temporal o por tipo de publicación para cada una de las categorías propuestas y se busca en títulos, palabras clave y abstract:

- **En el mundo:** “Astronomy education” OR “teaching astronomy” OR “astronomy outreach”

- **En Colombia:** “astronomy” AND “Colombia”

Estas ecuaciones de búsqueda permiten rastrear documentos que aborden temas relacionados con la enseñanza de la astronomía a nivel global y en Colombia. En el ejercicio de búsqueda de investigación y artículos publicados a nivel mundial se escogieron los términos *astronomy education*, *teaching astronomy* y *astronomy outreach* porque son términos generalmente usados para referir procesos de enseñanza, de aprendizaje o de divulgación de la astronomía. En el análisis, presentado más adelante, se parte de estos para estudiar los métodos de enseñanza que se han usado, las habilidades científicas que se han promovido y los temas específicos sobre los que se ha enseñado.

En el caso de la búsqueda de documentos relacionados con Colombia, la ecuación de búsqueda es amplia porque solo contiene los términos *astronomy* y *Colombia*, porque al analizar en un primer momento las publicaciones se determinó que es más viable partir de un panorama general de la astronomía en Colombia para luego centrar el análisis en la enseñanza de la astronomía.

3.2 Análisis cuantitativo

La herramienta Scientopy propone un proceso de análisis cuantitativo riguroso y versátil compuesto por el preprocesamiento, el análisis de los datos y la visualización de dichos análisis. En ese sentido, una vez descargados los metadatos de los artículos encontrados con las ecuaciones de búsqueda presentadas en la sección 3.1 en formato ‘.csv’ (Scopus) y ‘tab delimited file’ (Web of Science), se cargaron a la herramienta. Los resultados del preprocesamiento para ambas búsquedas se presentan en las tablas 1 y 2, cabe resaltar que como lo explican Ruiz-Rosero et al. (2019) la herramienta en un primer momento omite documentos diferentes a artículos, revisiones, pro-

cedimientos, artículos de prensa o memorias de conferencias. Posteriormente, el programa lleva a cabo un procedimiento de remoción de duplicados porque es común encontrar el mismo documento en las dos bases de datos.

Cuadro 1: Resultado del preprocesamiento con Scientopy para la ecuación de búsqueda en el mundo

Info	Number	%
Loaded papers	613	
Omitted papers by document type	68	11.1
Total papers after omitted papers removed	545	
Loaded papers from WoS	161	29.5
Loaded papers from Scopus	384	70.5
Duplicated removal results:		
Duplicated papers found	102	18.7
Removed duplicated papers from WoS	2	1.2
Removed duplicated papers from Scopus	100	26
Duplicated documents with different cited by	66	64.7
Total papers after rem. dupl.	443	
Papers from WoS	159	35.9
Papers from Scopus	284	64.1

Cuadro 2: Resultado del preprocesamiento con Scientopy para la ecuación de búsqueda en Colombia

Info	Number	%
Loaded papers	36	
Omitted papers by document type	5	13.9
Total papers after omitted papers removed	31	
Loaded papers from WoS	10	32.3
Loaded papers from Scopus	31	67.7
Duplicated removal results:		
Duplicated papers found	6	19.4
Removed duplicated papers from WoS	2	20
Removed duplicated papers from Scopus	4	19
Duplicated documents with different cited by	2	33.3
Total papers after rem. dupl.	25	
Papers from WoS	8	32
Papers from Scopus	17	68

Una vez realizado el preprocesamiento, los tipos de documentos que hacen parte del análisis después de aplicar los filtros de remoción, se presentan en la figura 3

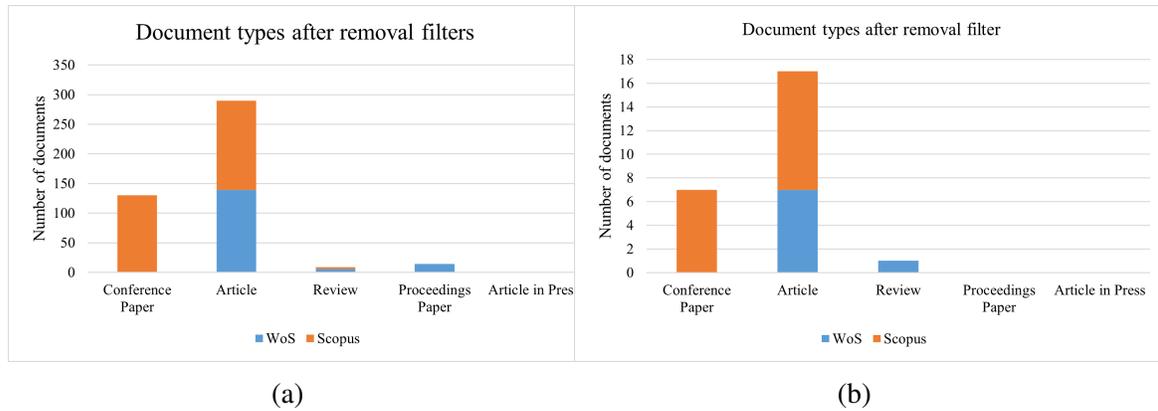


Figura 3: Tipos de documentos después de aplicar filtros de remoción de duplicados y otros tipos de documentos. **a** Rastreo en el mundo; **b** Rastreo en Colombia.

Ahora bien, respecto a la revisión global, los temas específicos en los que se enmarca la publicación de artículos encontrados está de acuerdo con el objetivo de la revisión cuantitativa, que es sobre el estado de la investigación frente a la enseñanza de la astronomía, por eso es coherente que el tema que predomina en las publicaciones sea, como lo muestra la figura 4, *Education & Educational Research*, de igual forma, también es esperado que temas como *Astronomy & Astrophysics* y *Physics* aparezcan en el registro de los temas bajo los que se han publicado los documentos analizados, dada su estrecha relación con el tema.

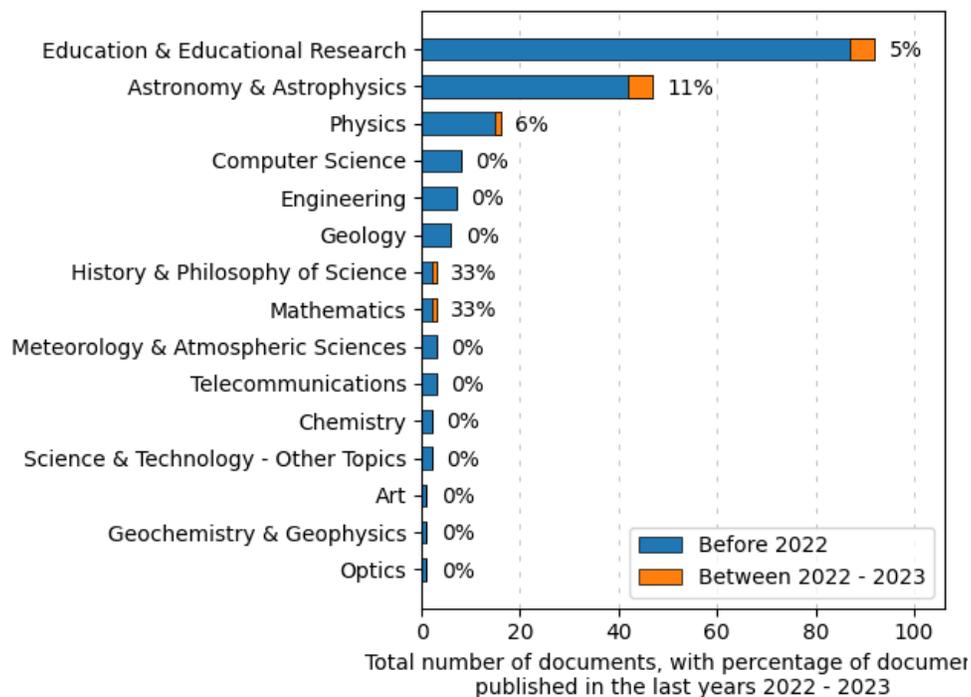


Figura 4: 15 temas más publicados. El gráfico muestra el total de artículos diferenciando en dos colores. El naranja se usa únicamente para los trabajos publicados durante el último año, debido a que es un valor importante para calcular el índice de crecimiento (Ruiz-Rosero et al., 2019)

De igual forma, al analizar los países que son tendencia en publicación sobre enseñanza de la astronomía, se observa que el top 10, está liderado por Estados Unidos, que además de ser el primer país en publicar sobre el campo de estudio, lidera la publicación e investigación actual sobre el tema. En la figura 5 se puede observar como ha sido la evolución de la publicación por países alrededor del mundo, en la parte izquierda se presenta la evolución en términos de la cantidad de documentos publicados acumulados, mientras que en la parte derecha del gráfico se tiene un registro de la actividad de cada uno de los países desde el 2022 en adelante.

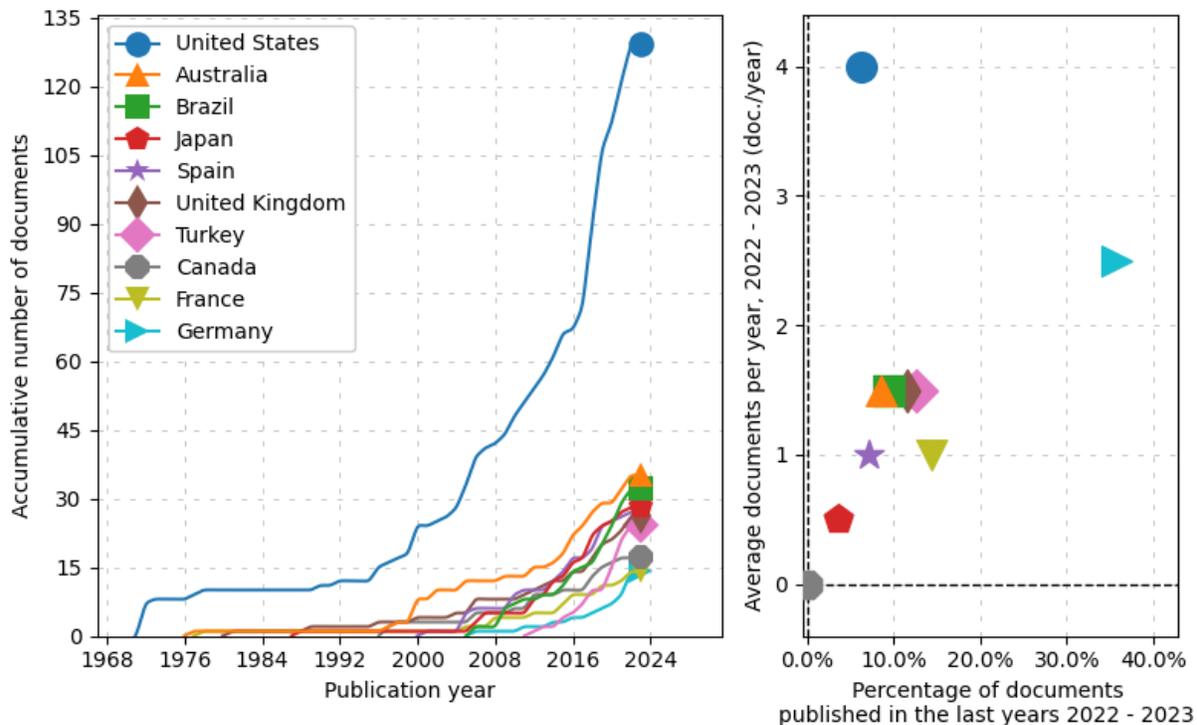


Figura 5: Evolución de la publicación en el Top 10 de países que más han publicado. En la izquierda, se grafica el número acumulado de documentos publicados por cada país del top 10 en función del tiempo. En la derecha, ese grafica el promedio de documentos durante el último año en función del porcentaje del total de documentos de cada país, en esta parte, entre más arriba este un país, significa que más ha publicado, mientras que más a la derecha este da cuenta de la tasa de crecimiento en publicaciones.

Por otro lado, el análisis de palabras clave permite identificar las principales tendencias de publicación y los temas en los que se ha enfocado, y se enfoca actualmente, la investigación sobre enseñanza de la astronomía, en ese sentido la figura 6 presenta un panorama general de las palabras clave más usadas en la publicación de los artículos científicos sobre el campo de conocimiento de interés mediante una nube de palabras en la que el tamaño de cada concepto depende de la cantidad de veces que dicha palabra aparece en un artículo que hace parte de la muestra analizada.

Se resalta, la gran variedad de terminología relacionada con la enseñanza de la astronomía, co-

Con el objetivo de focalizar en análisis, se limitó la figura 6 a las 15 palabras clave más usadas y se presentan en función de la cantidad de documentos en los que aparecen en la figura 7, en la que además de confirmar que *astronomy education*, *astronomy* y *education* son las palabras clave que más importantes en la comunicación de la investigación sobre la enseñanza de la astronomía, se logran identificar términos sobre los que se puede decir que se fundamenta o se inclina la enseñanza de la astronomía a nivel mundial como *virtual reality* y *augmented reality* que hacen referencia al uso de recursos tecnológicos para mediar la enseñanza de la astronomía. Asimismo, el hecho de que términos como *outreach*, *planetarium*, *astronomy outreach*, *informal education* y *science communication* estén entre los más usados, revela la importancia que han tenido los espacios de educación no convencional en la enseñanza de la astronomía. Por último, el gráfico también incluye términos como *inclusion*, *teacher education e history of astronomy* lo que permite inferir posibles tendencias relacionadas con: el desarrollo de experiencias educativas incluyentes que permitan llevar el conocimiento astronómico a todas las personas, la relevancia de la formación docente para la enseñanza de la astronomía y algunas de las temáticas que se pueden abordar desde la enseñanza de la astronomía como la historia, un campo diferente a la tradicional relación en la enseñanza de la astronomía con la enseñanza de la física y la matemática.

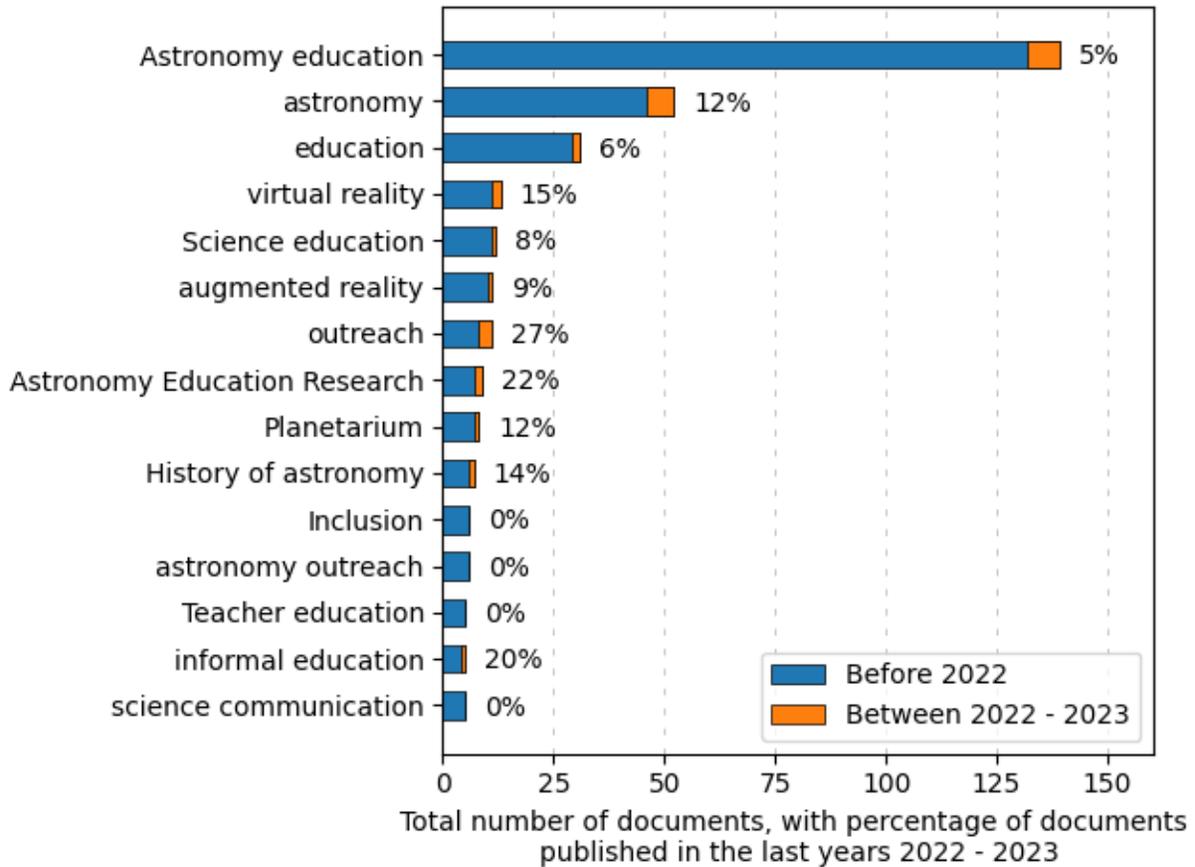


Figura 7: 15 palabras clave más usadas

Por otro lado, desde una perspectiva enfocada en el desarrollo de la astronomía en Colombia, se logran identificar temas de investigación consolidados respecto a la enseñanza de la astronomía. La figura 8 presenta las palabras clave usadas en las publicaciones académicas enmarcadas en el contexto colombiano y es evidente como la enseñanza de la astronomía juega un papel importante en el desarrollo de la astronomía en Colombia al encontrar palabras como *astronomy teaching*, *educational material*, *science outreach*, *education*, *citizen education* entre otras relacionadas con aspectos de apropiación de la astronomía por parte de la sociedad en contextos de enseñanza formal y no formal.

Cuadro 3: Resultados análisis de correlación

Science	Education and Learning	Research and Analysis
Astronomer	Astronomy education	Analysis
Astronomy	Course	Data
Earth	Education	Observation
Space	Learning	Paper
Star	School	Problem
Universe	Student	Project
Physics	Teacher	Research
Sciences	University	Resource
		Study
Concepts and Ideas	Time	Goals and Impact
Concept	Year	Goal
Content	Time	Impact
Idea		Importance
Knowledge		
Topic		
Work and Roles	Technology and Tools	Order and Structure
Field	Technology	Order
Part		
Role		
Way		
Work		
Article and Papers	Activities	People and places
Article	Activities	Person
	Experiences	Country
		World

3.3 Análisis documental

3.3.1 Generalidades de la enseñanza de la astronomía a nivel global

A partir de los artículos encontrados, se puede decir que el desarrollo de la enseñanza de la astronomía profundiza en aspectos fundamentales de la ciencia sobre la que se ha trabajado en educación primaria, como una apuesta por iniciar procesos de enseñanza desde los niveles elementales, para después realizar procesos de enseñanza gradualmente más avanzados (Plummer and Krajcik, 2010)

De igual forma, varios de los autores cuyos documentos fueron analizados reconocen que en términos de enseñanza de la astronomía, hace falta comprensión científica tanto en adultos como niños y jóvenes (Plummer and Krajcik, 2010; Plummer and Maynard, 2014; Taylor et al., 2003)

Un aspecto que sin duda es importante y ha sido tendencia en investigación es el uso de la tecnología. Respecto a esto, en la enseñanza de la astronomía se han usado elementos de realidad virtual para la enseñanza del sistema de movimiento terrestre (Chen et al., 2007; Kersting et al., 2021), realidad aumentada para aumentar el nivel de interés en los estudiantes (Onal and Onal, 2021; Pérez-Lisboa et al., 2020) y el uso de telescopios electrónicos para la enseñanza de la astronomía en general (Sibbersen, 2022).

En cuanto a los temas en los que se ha centrado la enseñanza de la astronomía, se encuentran pueden encontrar tópicos como mecánica celeste, dinámica del sistema Tierra-Luna, el Sol y sus manchas, el movimiento planetario y las fases de la Luna.

Frente a desarrollo de habilidades científicas, de razonamiento o mentales, autores como Plummer and Maynard (2014) han explorado la dificultad que tienen los estudiantes para desarrollar habilidades de razonamiento que les permitan, por ejemplo, las observaciones terrestres con el movimiento de la Tierra en el espacio. Por otro lado, bajo esta misma perspectiva del desarrollo de habilidades a través de la astronomía, se ha explorado la manera en como esta puede mediar en la habilidad de los estudiantes para construir modelos mentales, un concepto fundamental de la investigación astronómica (Taylor et al., 2003).

En esta misma línea, autores como Plummer et al. (2011) han explorado como estrategias estructuradas de enseñanza de la astronomía han permitido a estudiantes (de primaria en su caso) a fortalecer habilidades de descripción y explicación de los modelos del Sistema Solar, por ejemplo.

Otro trabajo relevante desde esta perspectiva, la del desarrollo de habilidades de explicación, es

el que exploró Subramaniam and Padalkar (2009) quién integra habilidades de visualización en diagramas por parte de los estudiantes para comunicar sus aprendizajes.

Otro enfoque desde las habilidades mentales y científicas desarrolladas a través de la enseñanza de la astronomía es el que proponen Cole et al. (2018) quienes realizan una revisión de la literatura sobre la importancia de abordar el fortalecimiento del pensamiento espacial desde las disciplinas STEM y especialmente la astronomía, además propone enfoques y estrategias para abordar el desarrollo de esta habilidad en los estudiantes.

Frente a enfoques metodológicos que se han usado, se encontró que esta se ha abordado desde perspectivas como el aprendizaje basado en la indagación, sin embargo, frente a esta idea Fitzgerald et al. (2019) encontró que una muestra estudiada de maestros encuentran barreras como las limitaciones de tiempo, definiciones claras de lo que es la enseñanza basada en indagación y la falta de recursos adecuados. Sin embargo, es un enfoque que está en actual discusión entre comunidades de maestros en ciencias y frente al que muchos profesores encuentran múltiples limitaciones (Fitzgerald et al., 2015).

Desde una mirada clásica, se ha destacado la importancia de la visualización y el uso de imágenes en la enseñanza de las ciencias y en este caso de la astronomía, frente a esto Pena and Gil Quilez (2001) resalta la importancia del uso de las imágenes en el material de clases de astronomía, pero además destacada la necesidad de que estas sean de calidad y rigurosidad científica, puesto que, por ejemplo, en muchos libros de texto se encuentran gran cantidad de imágenes poco acordes con la realidad que pueden generar errores conceptuales en el aprendizaje. En esta misma línea, otros autores han discutido ampliamente la importancia, más que de las imágenes, de los procesos de visualización y representación tanto para enseñar (Galano et al., 2018) como para evaluar (Subramaniam and Padalkar, 2009).

Otro enfoque metodológico para la enseñanza de la astronomía que se logró identificar fue la gamificación, que autores como Cardinot and Fairfield (2022) han encontrado como una iniciativa útil para motivar a los estudiantes y profesores, desarrollar habilidades sociales y mejorar las interacciones estudiante-estudiante. De igual forma, la gamificación también ha resultado una forma significativa para la enseñanza de la astronomía a nivel universitario, siempre y cuando los juegos propuestos por los maestros sean organizados, claros y bien planeados (Barringer et al., 2018).

También se han explorado marcos metodológicos como el enfoque basado en conceptos y el aprendizaje activo basado en la evaluación formativa. Respecto al primero, Ampartzaki and Kalojiannakis (2016) explora la enseñanza de la astronomía en la primera infancia y desde ese enfoque argumenta que el aprendizaje basado en conceptos permite a los estudiantes, de primaria en su caso, fortalecer habilidades de pensamiento como el pensamiento espacial y el aprendizaje espacial, habilidades que antes en este documento, se identificaron como de gran interés en la investigación sobre la enseñanza de la astronomía.

Frente al segundo, el aprendizaje activo, basado en la evaluación formativa, Schultz et al. (2021) identifica en este enfoque una necesidad, puesto que pocas veces se ve reflejado en las estrategias de enseñanza de espacios como planetarios, en su caso, y argumenta entonces como la aproximación a la enseñanza de la astronomía desde un enfoque basado en la evaluación formativa puede enriquecer el aprendizaje de los estudiantes que asisten a espacios no convencionales de la enseñanza de la astronomía como los planetarios.

Otro tema relevante de ser analizado es el tipo de espacios en los que se llevan a cabo estrategias de enseñanza de la astronomía. Al ser un área del conocimiento muchas veces articulado con la física no está contemplada en los currículos formales como asignatura, esto cobra relevancia

porque esa puede ser una de las razones por las que es importante, por ejemplo, desarrollar iniciativas de divulgación y comunicación pública de la astronomía, porque no se profundiza o no se aborda de manera formal en las escuelas y los colegios. Otra razón es la que exponen Millar et al. (2019), fundamentada en la preocupación que existe en muchos países acerca de la baja participación de estudiantes en ciencias, para lo que se han creado programas de divulgación científica dirigidos especialmente por universidades con el objetivo de involucrar y retener a los estudiantes en ciencias.

En ese sentido, se ha encontrado un gran interés alrededor del mundo por desarrollar proyectos e iniciativas de divulgación de la astronomía, un ejemplo del claro interés de la comunidad académica, es por ejemplo el gran apoyo que recibe la divulgación de la astronomía de agencias como la NASA (Administración Nacional de Aeronáutica y Espacio, por sus siglas en inglés), que tiene un sólido programa orientado a la divulgación pública los descubrimientos de las ciencias espaciales, el mejoramiento de la calidad de la educación en ciencias, matemáticas y tecnología, especialmente en los niveles preuniversitarios, y el apoyo a la creación de nuestra fuerza laboral científica y técnica del siglo XXI (Rosendhal et al., 2004).

Un aspecto que puede resultar de gran interés son los espacios que se han propuesto para llevar a cabo este tipo de proyectos de divulgación. Se encontraron iniciativas que parten de espacios como campamentos de verano (Mangan et al., 2019), espacios generados por grupos interesados en aprender astronomía (Uchima Tamayo et al., 2019), festivales de ciencia (Kersting et al., 2021) y el más común, los planetarios.

Desde estos últimos, se ha explorado su utilidad a la hora de enseñar conceptos específicos de la astronomía y autores como Turk and Kalkan (2015) han evidenciado que estrategias de enseñanza en planetarios han sido más significativas y eficaces para la enseñanza de la astronomía. Tam-

bién se ha estudiado la importancia de la formación de los educadores de los planetarios y se ha llegado incluso a proponer programas de formación de profesores de astronomía (Schultz et al., 2020). Otro aspecto que se ha investigado son los temas que se abordan en las estrategias de los planetarios, éstas han sido variadas y en múltiples niveles de profundidad, desde conceptos sobre el tiempo (Marques et al., 2021), el Sol y sus manchas (Aroca and Silva, 2011) hasta temas como la cosmología o la función inicial de masa (Kautsch et al., 2021).

Por su parte, para Bretones (2019) las tendencias de investigación en educación astronómica indican que existe una dispersión significativa de artículos (revisados por pares) sobre educación astronómica, lo que dificulta establecer el campo como una rama importante de la disciplina académica. Esta dispersión de artículos resalta la necesidad de compartir ampliamente el conocimiento en este campo. Además, la dificultad del idioma se identifica como una barrera importante, ya que muchas personas que investigan la educación en astronomía publican solo en su propio idioma y país, lo que complica aún más los esfuerzos para identificar y acceder a su trabajo (Bretones, 2018).

Además, existe un llamado a identificar y publicitar la literatura dispersa de la investigación en educación astronómica para aumentar la visibilidad de los autores e instituciones, ya que gran parte del trabajo en esta área sigue siendo desconocido para los astrónomos debido a su ocurrencia en diferentes contextos específicos de producción, cultura, currículo, materiales y aplicaciones (Bretones, 2019).

Estas tendencias sugieren que existe la necesidad de una mayor colaboración y difusión de la investigación en educación astronómica para superar los desafíos planteados por la dispersión y las barreras lingüísticas y, en última instancia, hacer avanzar el campo como una disciplina académica reconocida.

En cuanto a tendencias metodológicas, hay un llamado a promover estructuras y prácticas exitosas como GHOU (Global Hands-On Universe), GTTP (Galileo Teacher Training Program), NASE (Network for Astronomy School Education) y UNawe, para mejorar la educación en astronomía (Bretones, 2019). Además, existe la necesidad de nuevas líneas de investigación para diferentes áreas de contenido, adquisición de datos, marco teórico y metodológico, muestreo y contextos en la educación en astronomía. Esto sugiere un énfasis creciente en el desarrollo e implementación de metodologías de enseñanza innovadoras en la educación astronómica.

Por último, frente al desarrollo de habilidades científicas a través de la enseñanza de la astronomía, Bretones (2018) menciona que tendencias de investigación en educación astronómica enfatizan la necesidad de desarrollar habilidades científicas entre los estudiantes. Esto incluye promover el uso de diferentes epistemologías para resolver problemas y fomentar enfoques interdisciplinarios en la educación. Además, se hace un llamado a reflexionar sobre los objetivos de la enseñanza de la astronomía, considerando la formación y aprendizaje de los estudiantes para su crecimiento laboral y personal, así como el estímulo de la toma de decisiones individuales y la colaboración dentro de grupos. Esto sugiere centrarse en fomentar el pensamiento crítico, la resolución de problemas y las habilidades de colaboración en la educación astronómica.

3.3.2 Enseñanza de la astronomía en Colombia

Los resultados del análisis cuantitativo realizado, que la enseñanza, es uno de los temas fundamentales del abordaje de la astronomía en Colombia (ver figuras 7 y 8). De los artículos encontrados y reportados en la tabla 2 se analizaron los que específicamente abordan la educación astronómica.

En términos de enseñanza, investigaciones colombianas han explorado especialmente aspectos

conceptuales como el sol (Cárdenas-Avendaño et al., 2019), la historia de la astronomía, el sistema Tierra-Luna y la observación astronómica, además de enfocarse en elementos pedagógicos como la construcción de modelos, el diálogo de saberes, la formulación de preguntas, capacidad de observación y elaboración de explicaciones (Pedreros-Martínez, 2019);

Por otro lado, autores como Uchima Tamayo et al. (2019) han explorado estrategias de enseñanza de la astronomía a través de metodologías inclusivas que permitan abordar procesos de enseñanza y aprendizaje de esta ciencia en la comunidad en condición de discapacidad, visual en su caso.

La enseñanza de la astronomía también ha sido analizada en Colombia desde la perspectiva de la formación de profesores de ciencias, por ejemplo Muñoz-Candamil and Romero-Chacón (2019) presentan algunos fundamentos teóricos para la cualificación de los profesores de ciencias a partir de una propuesta centrada en el estudio de la astronomía. De igual forma, se resalta la relevancia que ha tenido la divulgación de la astronomía en Colombia y la enseñanza en ambientes no convencionales.

3.4 Conclusiones del estado del arte

Se puede decir entonces que teniendo en cuenta tanto el análisis cuantitativo presentado en la sección 3.2 como el análisis documental (ver sección 3.3) la enseñanza de la astronomía se ha explorado ampliamente a nivel mundial, pues se han propuesto metodologías, enfoques, recursos basados en tecnología, el desarrollo de algunas habilidades científicas y gran variedad de temas.

Sin embargo, aunque la enseñanza de los exoplanetas ha estado presente, la cantidad de artículos que han explorado esta rama de la astronomía como cuerpo de conocimientos de partida, han sido pocos.

De manera similar con el ABR, aunque se han explorado diversas estrategias y metodologías fundamentadas en el aprendizaje activo, el ABR ha sido poco explorado para la enseñanza y aprendizaje de la astronomía.

En el caso de Colombia, la revisión indica que aunque lo que más se trabaja en astronomía es su enseñanza, las tendencias de investigación apuntan a contemplar aspectos como la motivación de los estudiantes y el abordaje de tópicos como el movimiento de los cuerpos celestes, la observación astronómica y la historia de la astronomía.

Ahora bien, es importante resaltar que si bien esta revisión parte de dos únicas bases de datos, estas son de importancia mundial como referentes de la publicación académicas, por lo que aunque sí puede haber más trabajos relacionados con la enseñanza de la astronomía en Colombia, el hecho de que no se encuentren indexados en estas bases de datos, podría evidenciar el poco impacto que han tenido dichos trabajos o investigaciones.

En cuanto a las habilidades científicas exploradas por la literatura sobre las que se ha trabajado en astronomía, se observó que el principal conjunto de habilidades científicas son las relacionadas con la indagación (por ejemplo Fitzgerald et al. (2015)), lo que indica que hace falta explorar ampliamente toda la gama de habilidades científicas, por supuesto teniendo en cuenta los objetivos que planteen, los currículos nacionales e internacionales y lo que evalúan las diferentes pruebas estandarizadas.

Asimismo, el tema de los exoplanetas no ha sido ampliamente explorado a través de investigaciones formales en educación. Si bien en los últimos años ha ganado relevancia en las aulas y existen diversos recursos educativos disponibles en las páginas de las principales agencias espaciales del mundo, son escasos aún los estudios que examinan en profundidad su implementación e impacto pedagógico. Probablemente, esto se deba a que la detección de exoplanetas es un campo relati-

vamente nuevo en astronomía, por lo que su inclusión en los currículos escolares es reciente. De los pocos estudios existentes, la mayoría documentan experiencias de integración de programas de ciencia ciudadana sobre la búsqueda de exoplanetas en contextos educativos (Küpper et al., 2020). Si bien estas iniciativas resultan motivadoras, se requiere investigación educativa más sistemática para comprender a fondo cómo abordar la enseñanza de exoplanetas, de modo que promueva aprendizajes significativos y habilidades científicas en distintos niveles escolares. Queda un amplio camino por recorrer en términos de generación de conocimiento educativo sobre esta rama de la astronomía.

4 Marco teórico

4.1 Educación Científica

La educación científica, entendida como aquella que enseña a los estudiantes a aplicar los conocimientos científicos en la vida cotidiana y el trabajo para mejorar la calidad de vida y el progreso de la sociedad (Martí, 1883). Según este mismo autor, la educación científica es necesaria para prevenir problemáticas sociales relacionadas con el crimen y la violencia y dota a las personas con las habilidades necesarias para tener éxito en el mundo moderno.

Por su parte Macedo (2016), argumenta que la falta de una educación científica relevante limita la capacidad de los individuos para participar en la toma de decisiones democráticas y obstaculiza el desarrollo de sociedades sostenibles y equitativas. En ese sentido, para esta misma autora, la educación científica es aquella capaz de promover en cada una de las personas la motivación de aprender, dudar y cuestionarse de manera permanente.

En la misma línea de Macedo, Meinardi et al. (2010) argumentan que la educación científica es necesaria para mejorar la participación de las personas en la adopción de decisiones relacionadas con las aplicaciones de los nuevos conocimientos. Adicionalmente, actualmente se reconoce que los conocimientos científicos son importantes y necesarios en distintos ámbitos de la vida, el desarrollo y el progreso humano.

Es importante señalar que la educación científica debe ser interdisciplinaria y que ya no comprende únicamente la clase de ciencias, sino que debe ser abarcada desde múltiples perspectivas y por ende no debe tomarse como un enfoque a partir de un único docente o maestro, sino desde una perspectiva colectiva y cooperativa (Meinardi et al., 2010)

Por otro lado, la enseñanza actual de la ciencia, también implica transformaciones importantes en los métodos de enseñanza, pues se debe evolucionar desde la enseñanza tradicional que enfatiza la observación y un único método científico a la idea de múltiples habilidades científicas, así como diversas aproximaciones a la investigación científica y construcción del conocimiento sobre el mundo y sus fenómenos.

Según Meinardi et al. (2010), la enseñanza de las ciencias naturales debe trascender de la idea de un único método científico lineal y considerar la estructura epistemológica de cada disciplina en específico, por lo que cada una de ellas tendrías sus formas y métodos distintos que, aunque pueden converger, no son los mismos por la manera en como cada disciplina aborda los fenómenos naturales.

Adicionalmente, la educación científica debe abordar la idea de que la ciencia es una construcción humana compleja y son, por ende, importantes las habilidades de pensamiento crítico para comprender dichas complejidades, así como los factores sociales y culturales que pueden influir en la investigación científica, dejando clara la naturaleza cambiante de la ciencia, la subjetividad

humana y la imposibilidad de las verdades absolutas.

Otro aspecto importante de resaltar es el rol de los profesores de ciencias, ya que estos deben:

- Cuestionar supuestos y mitos que pueden llegar a presentar los textos escolares científicos y fomentar una mirada crítica hacia ellos.
- Reconocer las particularidades de cada ciencia y enseñar habilidades cognitivas en el contexto de los contenidos específicos de cada disciplina.
- Abordar ideas previas de los estudiantes como circunstancias necesarias para la evolución del aprendizaje

Eso, además de cumplir con el perfil profesional del profesor de ciencias que según Buitrago-López (2014) debe ser meta disciplinar y abordar dimensiones como lo pedagógico, lo contextual, lo disciplinar y lo didáctico; asegura que los procesos de enseñanza y aprendizaje sean apropiados las múltiples y cambiantes características.

En el contexto de este trabajo, esos aspectos del profesor de ciencias son relevantes porque, en conjunto, estas características del profesor potencian la experiencia de aprendizaje de la hackatón, permitiendo un mayor aprovechamiento por parte los estudiantes.

4.2 Habilidades científicas

Teniendo en cuenta la relevancia de la educación científica en una sociedad verdaderamente democrática, equitativa y desarrollada, es importante hablar de las habilidades científicas, puesto que cuando se habla de educación científica, lo que se busca es que las personas, independientemente de la profesión a la que se dedique, desarrollen habilidades necesarias para desempeñarse como ciudadanos activos en sus comunidades y la sociedad en general.

En ese sentido, el objetivo de la educación científica es desarrollar habilidades transversales a la vida cotidiana de los estudiantes, independientemente de si estos se desempeñarán o no como científicos en el futuro (Meinardi et al., 2010; Holbrook and Rannikmae, 2007).

Concretamente, las habilidades científicas son un conjunto de habilidades que permiten a una persona comprender y aplicar diferentes enfoques y métodos de la ciencia para investigar, analizar y resolver problemas (Sommer and Ontiveros, 2015). Estas habilidades incluyen la observación, la formulación de preguntas e hipótesis, la experimentación, la recolección y análisis de datos, la interpretación de resultados y la comunicación de hallazgos. También contemplan la capacidad de razonar de manera inductiva, partiendo de observaciones particulares para llegar a conclusiones generales. El desarrollo de estas habilidades es importante para fomentar el pensamiento crítico y la resolución de problemas tanto en investigación científica como en la vida cotidiana. Más allá de seguir un método preestablecido, se busca cultivar una mentalidad inquisitiva, analítica y adaptable frente a diversas situaciones.

Ahora bien, las anteriores son habilidades científicas generales y estrechamente relacionadas con la idea tradicional del método científico; sin embargo, estas se pueden desglosar en habilidades más concretas como: explicar, predecir, analizar, clasificar, comparar, comunicar, evaluar, experimentar, explorar, preguntar, medir, observar, planificar, predecir, registrar, usar instrumentos y usar y construir modelos (Avila Alvarez, 2021).

Por otro lado, en cuanto a la importancia de las habilidades científicas, se puede decir que estas son importantes porque permiten a las personas observar, explorar, organizar y analizar hechos y fenómenos de manera sistemática y rigurosa, además son esenciales para el desarrollo de la ciencia y la tecnología, y son fundamentales para la resolución de problemas en la vida cotidiana y en el mundo laboral. Adicionalmente, el desarrollo de habilidades científicas debe fomentar el

pensamiento crítico, la creatividad y la curiosidad, lo que contribuye al aprendizaje a lo largo de toda la vida (Sosa and Dávila, 2019).

En esa misma línea Sommer and Ontiveros (2015) menciona que las habilidades científicas son importantes porque permiten a los estudiantes comprender el mundo que les rodea y desarrollar habilidades críticas de pensamiento y resolución de problemas. Además, la ciencia es fundamental para el progreso y la innovación de la sociedad, evidenciando así la necesidad de formar personas capacitadas en ciencia y tecnología para seguir avanzando.

Frente a las habilidades científicas a evaluar durante la estrategia de hackatón de exoplanetas, se analizaron lo que proponen diversos autores frente a las habilidades científicas.

- **Indagación:** Es el conjunto de habilidades como hacer preguntas, formular hipótesis, hacer descripciones, diseñar experimentos y analizar evidencia para explorar fenómenos. Según Pedaste et al. (2015) es el centro del que hacer científico.
- **Análisis e interpretación de gráficas:** Es una habilidad que permite extraer información de representaciones como tablas, diagramas y visualizaciones (Shah and Hoeffner, 2002). Esta habilidad es clave para comprender reportes científicos o de prensa que suelen tener gran impacto mediático en la sociedad.
- **Argumentación:** Es la habilidad para evaluar afirmaciones y llegar a conclusiones basadas en pruebas y evidencias (Toulmin, 2003).
- **Apropiación conceptual:** Implica la comprensión y aplicación correcta de conceptos y teorías científicas (NRC, 2012). Además, es la base para construir nuevo conocimiento y poder usarlo de manera consiente en múltiples contextos (DiSessa, 2014).

- Razonamiento matemático: Según Friedlander and Arcavi (2012) es la habilidad para aplicar herramientas cuantitativas para analizar y modelar datos e información.
- Pensamiento modelístico: Para Schwarz et al. (2009) es la habilidad para construir y usar modelos que representen fenómenos naturales que son especialmente útiles para razonar y predecir.
- Redacción científica: Es la habilidad para comunicar hallazgos e ideas científicas de forma escrita, precisa y coherente (Glynn and Muth, 1994). Es una habilidad de suma importancia porque permite fortalecer el aprendizaje (Keys, 1999) y contribuye en la difusión del conocimiento.

Frente a las habilidades ya mencionadas y que podrían considerarse centrales del pensamiento científico, se seleccionaron tres como las habilidades de interés: apropiación conceptual, redacción científica y análisis e interpretación de gráficas. Al analizar los productos esperados por los estudiantes y las mejores formas de recolectar los aprendizajes de los estudiantes, se definieron que esas tres habilidades están estrechamente relacionadas y diversas habilidades más específicas se pueden relacionar directamente con cada una de ellas.

Al realizar un análisis de correlación de términos, se encontraron 16 los términos relacionados a habilidades científicas que también se relacionan con esas tres. La figura 10 presenta una visualización de red de como se relacionan los términos asociados a cada una de las habilidades científicas. Por su parte, la tabla 4 lista los términos asociados a habilidades científicas que se enmarcan en las tres habilidades seleccionadas.

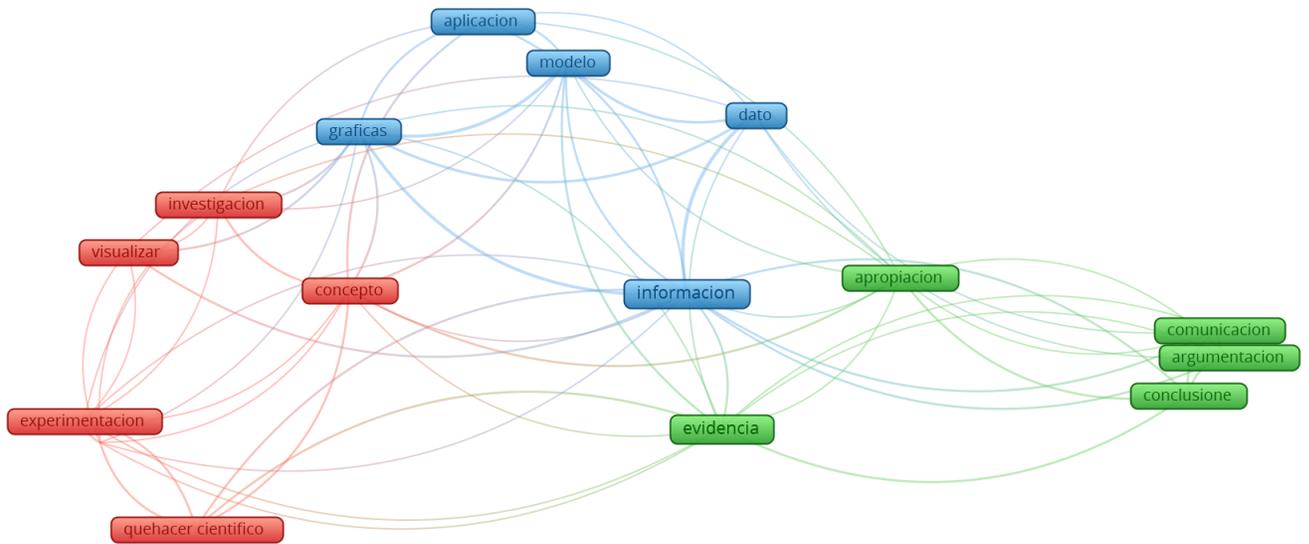


Figura 10: Análisis de correlación de términos de habilidades científicas. Elaboración propia con VOSviewer.

Cuadro 4: Términos relacionados con las habilidades científicas seleccionadas

Análisis e interpretación de gráficas	Apropiación conceptual	Redacción científica
Aplicación	Concepto	Apropiación
Dato	Experimentación	Argumentación
Gráficas	Indagación	Comunicación
Información	Quehacer científico	Conclusiones
Modelo	Visualizar	Evidencia
	Investigación	

4.3 Aprendizaje Basado en Retos

En coherencia con que unos de los propósitos de desarrollar habilidades científicas en los estudiantes y las personas en general es que tengan las capacidades necesarias para resolver todo tipo de problemas de la vida cotidiana, el mundo laboral y las labores científicas, se contemplan las metodologías centradas en los estudiantes como el Aprendizaje Basado en Proyectos, Aprendizaje Basado en Problemas o Aprendizaje Basado en Retos (ABR) como aproximaciones meto-

dológicas pertinentes y adecuadas con el desarrollo de habilidades científicas porque precisamente exponen a los estudiantes a situaciones retadoras que demandan de múltiples habilidades para ser superadas.

Específicamente, el ABR involucra activamente a los estudiantes en una situación problemática real, significativa y relacionada con su entorno, lo que le implica definir un reto e implementar para este una solución. Este enfoque proviene del aprendizaje vivencial, cuyo principio fundamental es que los estudiantes aprenden mejor cuando participan de forma activa en experiencias abiertas de aprendizaje que cuando participan de manera pasiva en actividades estructuradas (Bolaños and Pérez, 2019).

En cuanto a su estructura, el ABR se basa en la presentación de una situación problemática o un reto que sirve como estímulo para los estudiantes. El reto se presenta formalmente a través de una pregunta provocadora que alienta a poner en marcha la capacidad de aprendizaje e investigación en torno a los contenidos necesarios para conseguir un producto final. A lo largo del trabajo, se realizan diferentes pasos para la generación del producto final, que pueden incluir la investigación, la presentación de soluciones y la difusión del producto (Jiménez et al., 2019)

En cuanto a su relevancia, el ABR es importante porque permite a los estudiantes desarrollar habilidades prácticas y relevantes para el mundo real, fortalecer la conexión entre lo que aprenden en la escuela y lo que perciben del mundo que los rodea, y lograr una comprensión más profunda de los temas. Además, el ABR fomenta el uso de las tecnologías web y móviles, tales como herramientas y wikis colaborativos, que están disponibles para los alumnos, pero que no se utilizan a menudo en los cursos. Este modelo es, con frecuencia, interdisciplinar en su enfoque, y alienta proyectos que involucran a la comunidad en general. La combinación de lo que permite a los estudiantes elegir su desafío y la vinculación de estos desafíos a la interacción de la comunidad

aumenta la inversión de los estudiantes en un resultado productivo (Delgado et al., 2018).

4.4 Exoplanetas en tránsito

Las primeras ideas que se conocen sobre planteamientos de la posibilidad de existencia de exoplanetas, vino de Giordano Bruno y aunque la idea nunca se negó, se necesitó de siglos para que el conocimiento y tecnología llegase al nivel de poder encontrarlos. Fue Struve (1952) quien propuso que un trabajo de velocidad radial estelar de alta precisión debería ser la manera en que se podría encontrar evidencia de la existencia de planetas orbitando alrededor de estrellas lejanas.

También mencionó la posibilidad de que estos también se pudiesen estudiar a través de los eclipses que provocarían cuando pasasen frente a su estrella, siempre y cuando la línea de visión estuviese alineada.

En 1995, Mayor and Queloz (1995) publicaron el primer descubrimiento de un exoplaneta orbitando alrededor de una estrella de tipo solar, la búsqueda y el eventual estudio de estos cuerpos lejanos al sistema solar, se convirtió en un objeto de estudio de gran interés para la comunidad de astrónomos a nivel mundial, prueba de ello es el crecimiento exponencial de la cantidad de exoplanetas descubiertos desde entonces gracias a la constante y rápida evolución de la calidad de los instrumentos y técnicas observacionales.

El método con el que se descubrió el primer exoplaneta fue el de velocidad radial, propuesto por Struve (1952) y consiste en la medición del efecto gravitacional que tiene un planeta orbitando alrededor de su estrella anfitriona, dicho efecto se ve reflejado en la velocidad con la que la estrella se mueve alrededor del centro de masas del sistema y que se puede medir mediante espectroscopia.

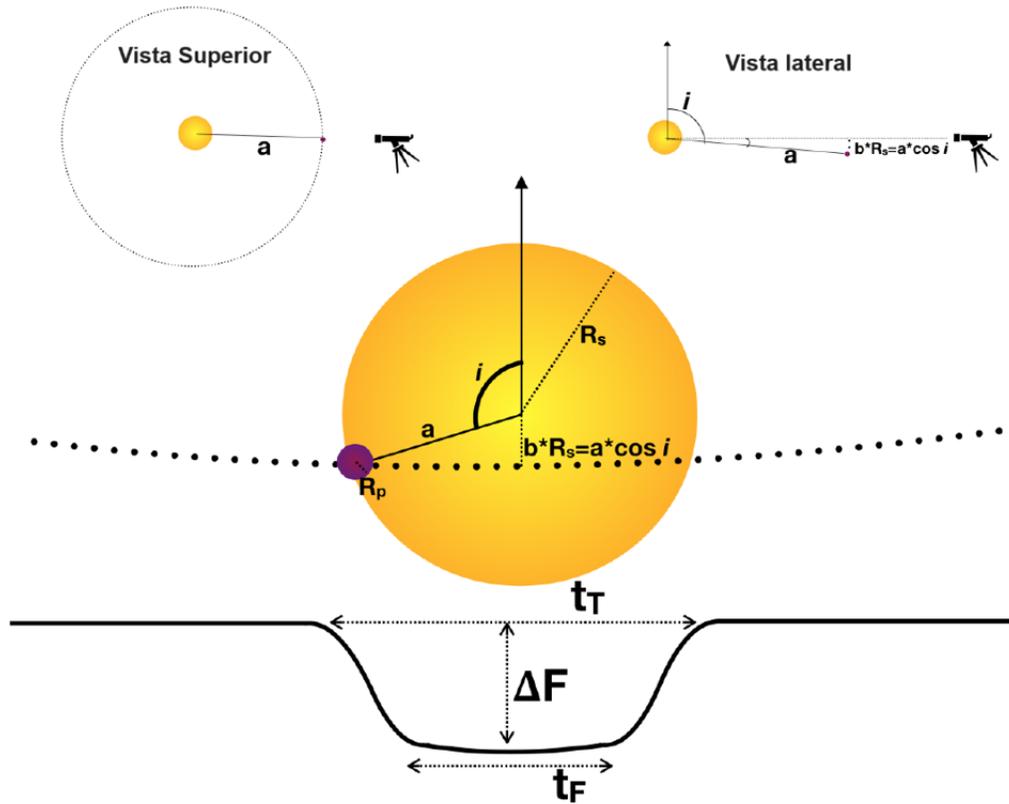


Figura 11: Esquema del tránsito de un exoplaneta. Adaptado de Deeg and Alonso (2018)

Si bien las mediciones de velocidad radial permitieron el descubrimiento del primer exoplaneta, el método más efectivo a la hora de buscar exoplanetas hasta ahora es el método de tránsito. Que consiste en medir la disminución en el brillo de una estrella cuando un exoplaneta pasa frente a la línea de visión y genera una ocultación. Al medir la cantidad de luz que llega de la estrella y graficarla en función del tiempo se puede obtener lo que se conoce como una curva de luz, cuyo análisis permite determinar parámetros planetarios como el tamaño del exoplaneta, la inclinación de su órbita y el periodo orbital y la distancia entre el planeta y su estrella huésped.

La figura 11 presenta la estructura matemática de los diferentes aspectos que se pueden estudiar de un exoplaneta en tránsito gracias a partir de su curva de luz.

Desde la perspectiva de esta investigación, debido a que el método de tránsito que observacional-

mente consiste en detectar pequeñas disminuciones periódicas en el brillo de una estrella causadas por el paso o tránsito de un planeta frente a ella y al registrar y analizar estas curvas de luz se puede detectar la presencia de exoplanetas y obtener información como su tamaño o periodo orbital; en una hackatón de exoplanetas, los participantes pueden trabajar con conjuntos de datos reales de curvas de luz de estrellas y analizarlos e interpretarlos con el fin de modelar tránsitos de exoplanetas.

Esta actividad fomenta directamente la habilidad de análisis e interpretación de gráficas, porque los estudiantes deben inspeccionar de forma crítica las curvas de luz, identificar posibles eventos de tránsito planetario en ellas y extraer información relevante para sus modelos a través de cálculos y estimaciones.

De esta manera, el uso del método de tránsito y curvas de luz durante la hackatón representa una oportunidad concreta para reforzar y aplicar la habilidad de interpretar adecuadamente este tipo muy particular de representaciones gráficas asociadas a la astronomía exoplanetaria.

Por otro lado, para el fortalecimiento de la habilidad de apropiación conceptual es necesario reconocer los modelos matemáticos que les permiten a los astrónomos determinar las características y parámetros planetarios concretos sobre estos cuerpos lejanos, es por eso que se considera indispensable apropiarse y saber usar las ecuaciones matemáticas necesarias para calcular esos parámetros.

Así pues, se reconoce que el radio del exoplaneta se puede determinar mediante la ecuación

$$\Delta F \approx \left(\frac{R_p}{R_s} \right)^2 = k^2 \quad (1)$$

donde R_p es el radio del planeta, R_s el radio de la estrella y k la relación de los radios. Ahora

bien, Seager and Mallen-Ornelas (2003) obtuvieron las expresiones analíticas que relacionan todas las variables observables con parámetros orbitales de los exoplanetas y que se sintetizan de la siguiente forma:

$$b \equiv \frac{a}{R_s} \cos i = \left\{ \frac{(1 - k)^2 - [\sin^2(t_F \pi / P) / \sin^2(t_T \pi / P)](1 + k)^2}{\cos^2(t_F \pi / P) / \cos^2(t_T \pi / P)} \right\}^{1/2} \quad (2)$$

donde a es el semieje mayor de la órbita, i es la inclinación orbital, P el periodo orbital, t_T es la duración del evento de tránsito, t_F es el tiempo en el que la curva de luz es relativamente plana y b es parámetro de impacto definido como la distancia mínima proyectada al centro del disco estelar durante el tránsito.

No obstante, para fines escolares, los parámetros orbitales de un exoplaneta se terminan mediante expresiones simplificadas y a las que los estudiantes pueden acercarse más fácilmente. Por ejemplo, de la ecuación (1) se puede despejar R_p como $\sqrt{(\Delta F)(R_s)^2}$. Otra ecuación útil a la hora de llevar a un contexto escolar, es la tercera ley de Kepler, expresada como

$$T^2 = \left(\frac{4\pi}{GM_s} d^3 \right) \quad (3)$$

donde G es la constante de gravitación universal, T el periodo orbital, M_s la masa de la estrella y d la distancia orbital del planeta. Despejando la anterior ecuación, se puede calcular la distancia d como

$$d = \sqrt[3]{\frac{GM_s}{4\pi} T^2} \quad (4)$$

Por otro lado, conociendo la masa del planeta a través de otras técnicas observacionales, en un contexto escolar se puede calcular la densidad media de un exoplaneta (ρ) asumiendo una forma esférica de la siguiente manera

$$\rho = \frac{M_p}{V_p} \quad (5)$$

donde V_p es el volumen del exoplaneta que se obtiene usando R_p mediante la expresión

$$V_p = \frac{4}{3}\pi(R_p)^3 \quad (6)$$

Conociendo estos factores, que se pueden determinar fácilmente a partir de datos reales sin tener que acudir a técnicas o herramientas computacionales, los estudiantes de media pueden obtener resultados coherentes con los parámetros orbitales de cualquier exoplaneta en tránsito reportados en la literatura.

5 Metodología

En esta investigación se propone adoptar un enfoque cuantitativo, con un alcance descriptivo y diseño cuasi-experimental pre-post de un solo grupo. Este enfoque se considera apropiado porque permite medir variables y expresarlas en valores numéricos para analizar estadísticamente los datos recolectados (Hernández et al., 2010). En este caso, las habilidades científicas se evaluarán a través de instrumentos de tipo cuestionario y de producción escrita antes y después de la hackatón.

El alcance de la investigación es descriptivo, pues el propósito es determinar el nivel o estado de las habilidades científicas de los estudiantes antes y después de la intervención y no pretende llegar a establecer relaciones causales (Briones, 1990).

Por su parte, el diseño cuasi-experimental pre-post de un solo grupo, tal como sustentan Cook et al. (1979), permite evaluar el efecto de la hackatón midiendo a los mismos sujetos antes y después, sin grupo control.

Para responder la pregunta de investigación que se planteó, se evalúan los resultados de las mediciones de las habilidades científicas de los estudiantes antes y después de la hackatón para determinar como cambia el desempeño en las habilidades científicas de los estudiantes. Para esa evaluación, se recurre a herramientas estadísticas coherentes con el alcance descriptivo para determinar el cambio en las habilidades científicas de interés, esas herramientas son: inicialmente, un abordaje integral de las habilidades que se hace mediante las visualizaciones de radar, la prueba *t student* y la correlación de *Spearman*.

La prueba *t student* sirve para determinar si un conjunto de datos tomados en dos momentos de tiempo diferentes son significativamente diferentes o no, esta prueba ha sido especialmente útil en la investigación sobre la enseñanza de la astronomía en planetarios (Slater and Tatge, 2017).

En este caso, la prueba *t student* se usa para evaluar las habilidades de los estudiantes antes y después de la hackatón.

En el caso de la correlación de *Spearman*, que permite evaluar si existe una correlación lineal entre dos variables sin requerir una normalidad en los datos (Creswell, 2012). en este caso, se usa esta evaluación para determinar el impacto de la asistencia a las sesiones preparatorias con el cambio en el desempeño de las habilidades científicas antes y después de la estrategia.

Por ende, la pregunta de investigación, se responderá en términos de la evaluación de las tres ha-

bilidades científicas de interés de los estudiantes que participaron en la hackatón.

5.1 Población y muestra

La muestra con la que se trabajó no se definió a priori, dado que se intentó incluir la mayor cantidad posible de estudiantes interesados en participar. Más que una muestra representativa, la investigación se centró en un grupo focal conformado inicialmente por 35 estudiantes, de los cuales 11 provenían de un colegio público y los restantes de instituciones educativas privadas de alto rendimiento académico en Bogotá y Chía, que además cuentan con expreso interés en la astronomía a través de clubes y sesiones extracurriculares en el área. Lamentablemente, los 11 estudiantes del colegio público decidieron no continuar tras la primera sesión. Los 24 estudiantes restantes, que completaron las actividades previstas, tenían en común ser de colegios privados y hacer parte de clubes de astronomía en sus respectivas instituciones. Si bien el pertenecer a dichos clubes fue un criterio importante, no fue un elemento de exclusión debido a que se invitó a participar a todos los estudiantes, no obstante resultó ser una característica presente en todos los participantes al final del proceso.

Dadas las condiciones y limitaciones de conformación de este grupo focal, el estudio permite una primera evaluación de la estrategia empleada y sentar las bases metodológicas y conceptuales para la evaluación y posible mejora de la misma en futuros análisis con muestras más grandes y representativas de la población estudiantil. Los resultados encontrados podrán aportar hallazgos y tendencias relevantes sobre el efecto de estrategias tipo hackatón en el desarrollo de habilidades científicas en estudiantes con alto interés y capacidades STEM previas.

5.2 Variables e instrumentos

Para este estudio, se definió como variable independiente la participación en la hackatón de exoplanetas, puesto que todos los estudiantes inscritos participaron en el evento. Como variable dependiente, se identifica el desempeño en las habilidades científicas evaluadas antes y después de su participación tanto en el evento de hackatón como en el programa de formación. Dichas variables, se escogieron dados los objetivos y pregunta de investigación de este trabajo.

En el caso de las habilidades científicas a evaluar, se propusieron tres: redacción científica, análisis e interpretación de gráficas y apropiación conceptual. Se definieron estas específicamente dada la naturaleza del producto esperado de los estudiantes en la hackatón (ver sección 5.3) adicionalmente, estas habilidades están estrechamente relacionadas con las prácticas de ciencia e ingeniería propuestas en los NGSS (Next Generation Science Standards, 2013)

5.2.1 Instrumentos

Los instrumentos utilizados para medir el nivel de desempeño de los estudiantes fueron dos. El primero, un cuestionario de preguntas abiertas (Ver Anexo 8.2), el objetivo de este cuestionario fue medir el desempeño en las tres habilidades científicas escogidas y con ayuda de una rúbrica determinar cuantitativamente el desempeño de los estudiantes antes del evento de hackatón.

El segundo instrumento, fue el producto esperado de los estudiantes en la hackatón, un escrito en formato de artículo científico con los resultados, análisis y conclusiones de su trabajo de investigación de exoplanetas durante la hackatón, el formato utilizado se presenta en el Anexo 8.8. Adicionalmente, el instrumento para evaluar los artículos escritos por los estudiantes y los formularios se diseñó a partir de referentes teóricos e investigaciones publicadas frente a cada una de

las habilidades, este fue importante y es de gran relevancia para la comunidad académica porque estandariza los postulados de varios autores frente a cada una de las habilidades propuestas para el análisis. Dado que dicho instrumento constituye un resultado de este trabajo, los autores, sus postulados y los niveles de desempeño se presentan en la sección 6.1.

5.3 Procedimiento

Inicialmente, se realizó la articulación con el evento de Hackatón de Exoplanetas de la Agencia Espacial Europea y se realizó la convocatoria de los estudiantes. En un segundo momento, se diseñó el formulario diagnóstico (pre hackatón) teniendo en cuenta las habilidades científicas que se querían medir.

Después, se realizó el trabajo de revisión teórica y documental rigurosa para consolidar el instrumento de evaluación con las habilidades científicas definidas que se muestra en la sección 6.1.

Teniendo el instrumento, se realizó la planeación del programa de preparación de la hackatón contemplando 6 sesiones virtuales de 90 minutos cada una. Dicha planeación, se presenta en la sección 6.2. Con todo lo anterior listo, se realizó la inauguración de la hackatón en donde se les comunicó a los participantes, sus profesores y sus padres el cronograma de actividades y la dinámica de trabajo tanto en el programa de preparación y el día de la hackatón.

Posteriormente, se desarrolló el programa de preparación para la hackatón de acuerdo con las planeaciones realizadas en modalidad virtual en horarios externos a las actividades escolares normales de los participantes.

Una vez realizado todo el programa de preparación, los estudiantes asistieron, en compañía de algunos de sus profesores y padres de familia, al evento de hackatón durante 4 horas. Los reportes

fueron enviados a la ESA para su consideración.

Por último, después de la hackatón, se realizó la evaluación y análisis del rendimiento en cada una de las habilidades mostrado por los estudiantes antes y después de la hackatón.

5.4 Análisis de los datos

Los productos de los estudiantes fueron evaluados y con la rúbrica (que hace parte de los resultados de este trabajo y se presenta en la sección 6.1) se les asignó un puntaje cuantitativo a cada una de las habilidades. Entendiendo que las habilidades evaluadas, están estrechamente relacionadas entre sí, se escogió analizar los resultados de cada habilidad de forma integral.

Teniendo en cuenta que en la práctica científica estas habilidades actúan en conjunto para la construcción de explicaciones, el análisis de evidencias y la comunicación efectiva de ideas (Osborne, 2014). La argumentación requiere interpretar datos, hacer cálculos y usar conceptos de forma precisa. El razonamiento matemático se aplica para analizar gráficas. Y la redacción integra todas para comunicar hallazgos.

Asimismo, Schwarz et al. (2009) sostienen que el razonamiento científico implica la coordinación de habilidades como formular preguntas, construir modelos, diseñar estudios y argumentar con base en pruebas. Ninguna opera independientemente.

Para llevar a cabo dicha evaluación integral de todas las habilidades, se propone un análisis cuantitativo de los resultados que permite obtener un puntaje único de todas las habilidades que es viable comparar. En ese sentido, se escoge un análisis a partir de gráficos de radar.

Estos son ideales para presentar visualmente el desempeño en un conjunto de habilidades que se encuentran interrelacionadas, ya que permiten una comparación integral de los diferentes factores

evaluados. Según Bernal (2010), este tipo de representación gráfica permite visualizar múltiples variables de forma simultánea, mostrando el perfil del desempeño en cada una como un todo integrado. A diferencia de gráficos de barras o sectores, el radar muestra las interconexiones entre las variables mediante ejes unidos en un mismo plano (Saary, 2008). De esta manera, utilizar gráficos de radar para representar habilidades científicas interdependientes facilita una evaluación y visualización integral del desempeño de los estudiantes en pensamiento científico.

Otro análisis que se plantea es la prueba *t student* que permite comparar medias de un mismo grupo en dos momentos distintos (Derrick et al., 2017). Es apropiada cuando la variable es cuantitativa y continua. Para aplicar esta prueba, es necesario plantear una hipótesis nula (H_0) y una alternativa (H_a), en el caso de la nula, esta establece que no hay diferencias entre las medias.

Posteriormente, se debe calcular la media y desviación estándar de los datos antes y después de la intervención. Una vez se han calculado esos valores, se calcula el valor de t de acuerdo con la fórmula:

$$t = \frac{Media_{despues} - Media_{antes}}{Error_estandar_de_la_diferencia} \quad (7)$$

donde el valor del error estándar de la diferencia se calcula mediante

$$Error_estandar_de_la_diferencia = \sqrt{\frac{varianza_{antes}}{n} + \frac{varianza_{despues}}{n}} \quad (8)$$

y n es el tamaño de la muestra. Ahora bien, para definir una conclusión de la prueba, se debe establecer que si la comparación t calculado $\geq t$ crítico, se rechaza la hipótesis nula. El t crítico, es un valor que se obtiene de las tablas de distribución *t student* (Murray and Larry, 2009). Al usar dichas tablas se debe escoger un nivel de significancia, que se refiere a la probabilidad de rechazar la hipótesis nula cuando es verdadera. En investigación científica, se suelen usar niveles de

0.05 (5 %) y 0.01 (1 %) como señalan Ortiz and Greene (2007) y Nuzzo (2014). Sin embargo, la elección de nivel de significancia depende del área de conocimiento; por estándar, en ciencias sociales se utiliza 0.05 (5 %)(Gravetter et al., 2021)

Un tercer tipo de análisis estadístico que se usa, especialmente para determinar si existe una correlación entre el índice de asistencia a las sesiones de preparación para la hackatón y la mejora en el desempeño de las habilidades científicas, es la correlación de Spearman, que es una prueba estadística no paramétrica que permite medir la asociación o interdependencia entre dos variables cuantitativas, sin requerir supuestos de normalidad (McDonald, 2014).

El procedimiento consiste en ordenar los datos de ambas variables y reemplazarlos por rangos. Luego se calcula la diferencia entre rangos (D) y se aplica la fórmula del coeficiente de correlación r_s de Spearman (Chan and Walmsley, 1997). Este coeficiente varía de -1 a +1, indicando la fuerza de la correlación.

$$r_s = 1 - \frac{6 \cdot \sum D_i^2}{n(n^2 - 1)} \quad (9)$$

Posteriormente, se realiza una prueba t para evaluar la significancia estadística basada en el valor r_s y el tamaño de muestra. Si $p < 0.05$ se rechaza la hipótesis nula de no correlación.

$$t = r_s \cdot \sqrt{\frac{n - 2}{1 - r_s^2}} \quad (10)$$

Posteriormente, se compara el valor de t con el valor crítico de las tablas *t student* con n-2 grados de libertad. Si se da que $t > t_{crítico}$, se rechaza la hipótesis nula y se concluye que existe correlación significativa entre las variables.

La correlación de Spearman permite identificar relaciones monótonas entre variables cuantitati-

vas sin distribución normal y es especialmente recomendada con muestras pequeñas (Chan and Walmsley, 1997). A diferencia de otros coeficientes de correlación, Spearman permite evaluar si existe una correlación lineal entre dos variables sin requerir normalidad. Por esta razón, es muy útil en estudios educativos donde frecuentemente se dispone de datos en escala ordinal provenientes de evaluaciones aplicadas a muestras que no siempre se distribuyen normalmente (Creswell, 2012). Mediante el coeficiente de Spearman un investigador puede evaluar, por ejemplo, la relación entre el rendimiento académico y las horas de estudio semanal de los estudiantes, o entre sus habilidades cognitivas y el puntaje obtenido en una evaluación por competencias, para así aportar evidencia sobre cómo se vinculan estos factores educativos relevantes. En este caso, se evalúa la participación en sesiones de preparación para la hackatón con el cambio en el desempeño en las habilidades científicas de interés.

6 Resultados y análisis

6.1 Rúbrica de evaluación de habilidades

Para el instrumento de evaluación de habilidades, se diseñó la siguiente rúbrica a partir de la rigurosa revisión de referentes teóricos que han explorado e investigado ampliamente sobre las habilidades científicas definidas para el análisis (Para facilitar la lectura de la rúbrica y poder agregar claramente lo que proponen los autores, la tabla 5 muestra cómo se presenta la rúbrica en las secciones 6.1.1 a 6.1.3). Recordando que se midieron tres para el análisis pre y post hackatón (apropiación conceptual, análisis e interpretación de gráficas y redacción científica).

Cuadro 5: Estructura de la rúbrica

Habilidad científica	Niveles de desempeño (Sec- ción)	Referentes
Análisis e interpretación de gráficas	6.1.1	(Shah and Hoeffner, 2002; Glazer, 2011)
Apropiación conceptual	6.1.2	(DiSessa, 2014)
Redacción científica	6.1.3	(Keys, 1999; Klein and Rose, 2010)

6.1.1 Análisis e interpretación de gráficas

Frente a la habilidad de análisis e interpretación de gráficas Shah and Hoeffner (2002), argumenta que la habilidad de analizar e interpretar gráficas es importante porque facilita la comprensión de conceptos cuantitativos y científicos, siendo esta una habilidad clave de alfabetización científica y pensamiento crítico. Además, propone que son tres los factores que influyen en la interpretación de gráficas: características visuales, conocimiento sobre gráficas y conocimiento sobre el contenido.

En ese sentido, Glazer (2011) agrega que las principales dificultades de los estudiantes para analizar e interpretar gráficas están en, por ejemplo, confundir pendiente con altura, ver las gráficas como imágenes literales o enfocarse en puntos individuales en lugar de tendencias.

Así pues, cinco niveles de desempeño frente a la habilidad de interpretar gráficas pueden definirse como:

1. Extracción de datos puntuales (0-1): capacidad para localizar y obtener valores específicos directamente representados en la gráfica.
2. Identificación de tendencias (1-2): habilidad para reconocer tendencias, patrones y relaciones generales en los datos graficados.

3. Realización de comparaciones (2-3): capacidad de hacer comparaciones entre conjuntos de datos, puntos o tendencias en una gráfica.
4. Extrapolación (3-4): habilidad para hacer predicciones que van más allá de los datos provistos, extrayendo conclusiones por inferencia.
5. Evaluación crítica (4-5): capacidad de evaluar críticamente la validez de los datos, identificar sesgos o limitaciones, y relacionar con conocimientos teóricos.

6.1.2 Apropriación conceptual

La apropiación de conceptos científicos es un proceso complejo que requiere cambiar las conceptualizaciones intuitivas iniciales de los estudiantes y depende fuertemente del marco conceptual específico; puede enfocarse en cambiar conceptos individuales o cambiar ontologías y teorías intuitivas según diferentes perspectivas (DiSessa, 2014).

Para que exista una apropiación conceptual, en la mayoría de los casos es necesario partir de ideas previas y generar espacios idóneos para que se lleve a cabo un proceso de cambio conceptual que según DiSessa (2014) es difícil y diferente al aprendizaje de habilidades o hechos. Requiere que los estudiantes construyan nuevas ideas en el contexto de las previas.

Así pues, cinco niveles de desempeño para la habilidad de apropiación conceptual, pueden ser:

1. Identificación de ideas intuitivas (0-1): capacidad de reconocer y expresar aspectos o elementos espontáneos sobre un fenómeno.
2. Contraste con modelos científicos (1-2): habilidad para comparar las ideas intuitivas con los modelos científicos y encontrar diferencias.

3. Reestructuración conceptual (2-3): Reorganización activa de las ideas propias para acercarse al modelo científico, aprovechando elementos intuitivos útiles.
4. Coordinación con marcos teóricos (3-4): Articulación de los conceptos científicos con marcos explicativos y modelos teóricos de mayor alcance.
5. Transferencia de nuevos contextos (4-5): Uso flexible y consciente de los conceptos científicos apropiados en la explicación de diversos fenómenos.

6.1.3 Redacción científica

La habilidad de redacción en la enseñanza de las ciencias naturales, juega un papel fundamental en la comunicación del conocimiento. Por ejemplo, Keys (1999) afirma que la redacción en géneros científicos tradicionales (como experimento, explicación e informe) promueve la reflexión y la producción de nuevo conocimiento, especialmente a través de la formación de inferencias significativas para los datos.

Este mismo autor argumenta que la escritura para comunicarse con una audiencia requiere auto-cuestionamiento y metacognición que la escritura informal no necesariamente promueve. Escribir para una audiencia motiva a los estudiantes a presentar sus entendimientos más completos y garantizados.

Por su parte, Klein and Rose (2010) afirma que enseñar a los estudiantes a escribir textos argumentativos y explicativos puede mejorar su habilidad para aprender a través de la escritura.

Además, sugiere que la escritura para aprender puede ser mejor conceptualizada desde una perspectiva situada, en la que el aprendizaje ocurre en un contexto que incorpora recursos externos y otras personas.

En este sentido, teniendo en cuenta lo propuesto por Keys (1999) y Klein and Rose (2010), cinco niveles de desempeño para la habilidad de redacción científica pueden ser:

1. Redacción incipiente (0-1): Presenta dificultades para redactar textos científicos coherentes. Sus escritos carecen de una estructura clara y no logra vincular adecuadamente sus ideas. No utiliza términos ni géneros científicos apropiados.
2. Redacción básica (1-2): capacidad de redactar textos científicos sencillos que comunican sus ideas, aunque con una estructura y coherencia limitadas. Incorpora algunos términos científicos básicos, pero no maneja bien los géneros científicos.
3. Redacción estructurada (2-3): Capacidad para redactar textos científicos estructurados en géneros como explicación o argumentación. Vincula sus ideas con coherencia y utiliza términos y estructuras científicas apropiadas. Puede acceder a conocimiento relevante.
4. Redacción efectiva (3-4): Capacidad de redactar efectivamente en géneros científicos, transformando conocimiento a través de metas retóricas, resolución de problemas y acceso a información relevante. Produce textos coherentes y bien estructurados.
5. Dominio retórico (4-5): El estudiante demuestra un dominio experto en la redacción científica. Produce textos completamente coherentes y bien estructurados en diversos géneros científicos. Transforma conocimiento fluidamente a través de sus textos.

6.2 Programa de preparación para la hackatón

Si bien los participantes de la hackatón de exoplanetas hacen parte de clubes de astronomía en sus respectivos colegios, fue necesario desarrollar un programa de preparación previo porque el

tema de exoplanetas requiere de unos conocimientos y habilidades específicas que probablemente estos estudiantes no habían trabajado en profundidad. Aunque motivados e interesados en la astronomía, no se podía asumir experiencia y conocimientos en este campo tan nuevo y especializado de la detección y caracterización de planetas extrasolares. Temas como métodos de detección, análisis de curvas de luz, clasificación de exoplanetas y sus implicaciones astrobiológicas requieren de una introducción y nivelación conceptual que permitió a los participantes aprovechar mejor la experiencia de la hackatón, enfrentar los retos planteados y proponer soluciones informadas e innovadoras.

El programa de preparación buscó precisamente construir un conocimiento base común sobre exoplanetas, fortalecer habilidades como interpretación de datos y modelado y potenciar el trabajo colaborativo, para que los participantes pudieran tener las herramientas necesarias al participar en este evento internacional. Para cada una de las seis sesiones del programa de preparación se realizaron planeaciones didácticas con el fin de abordar diferentes temas dentro del estudio de exoplanetas que le permitieran a los estudiantes responder al reto de hackatón. La tabla 6 consolida todas las secuencias planteadas.

Cuadro 6: Secuencias didácticas del programa de preparación para la hackatón

Tema	Objetivo de aprendizaje	Contenidos	Recursos	Actividad introductoria	Desarrollo	Cierre	Evaluación
Introducción a los exoplanetas	Los estudiantes identificarán la definición y las características generales de los exoplanetas	Historia de exoplanetas, métodos de detección y tipos	Domo del Planetario de Bogotá y presentación	Película en el domo	Magistral con preguntas a los estudiantes	Respuesta a preguntas de los estudiantes	En la siguiente sesión
Exoplanetas en tránsito	Los estudiantes comprenderán el método de tránsito para la detección de exoplanetas	Métodos de detección, tránsitos de exoplanetas, cálculo de tamaños	Presentación en diapositivas y datos reales de WASP-2 b	Explicación del árbol de los métodos de detección	Magistral con preguntas a los estudiantes	Los estudiantes calculan el radio de WASP-2 b	Quiz conceptual
Caracterización de exoplanetas con CHEOPS	Los estudiantes identificarán el propósito de la misión CHEOPS y sus objetivos	Misión CHEOPS y cálculos con la tercera Ley de Kepler	Presentación con diapositivas y curvas de luz de TOI-178	Animación de la historia de la detección de exoplanetas	Magistral con preguntas a los estudiantes	Los estudiantes calculan la distancia de un exoplaneta simulado	Quiz conceptual y tarea de calcular las distancias de todos los planetas del sistema TOI-178
Modelado de un sistema exoplanetario	Los estudiantes experimentarán con un modelo de un sistema planetario en tránsito	Densidad de exoplanetas y modelado de un sistema planetario	Guía Exoplanetas en Movimiento (Ver Anexo 8.5)	Animación de TOI-178 en resolución	Demostración del funcionamiento del modelo	Los estudiantes experimentan con su propio modelo cambiando tamaños de los exoplanetas	A partir de las curvas de luz predichas y comprobadas por los estudiantes con el modelo.
Redacción científica	Los estudiantes reconocerán las características de la redacción científica y estructura de artículos científicos	Estructura de artículos científicos	Presentación con diapositivas y plantilla de artículo científico (Ver Anexo 8.8)	Recuento de las sesiones abordadas	Magistral con preguntas a los estudiantes	Los estudiantes redactan un análisis de resultados de sesiones anteriores, conclusiones frente a una pregunta y dan un título	Quiz conceptual
Simulacro de retos	Los estudiantes aplicarán su conocimiento para resolver retos de exoplanetas	Retos preliminares	Curva de luz de WASP-189 b (Ver Anexo 8.7)	Presentación de los retos	Actividad individual de los retos	Los estudiantes presentan sus resultados de manera escrita	Socialización de los resultados y aclaración de dudas.

En cuanto al desempeño en las actividades de evaluación de cada una de las sesiones, se puede decir que sirvieron como guía para orientar el desarrollo de las sesiones, se realizó una evaluación continua (semana a semana, dada la periodicidad de cada encuentro virtual con los estudiantes) para ajustar detalles y momentos durante las siguientes sesiones. Para conocer el desempeño de los estudiantes en el programa de preparación de la hackatón, dado que no hacen parte del foco de investigación, el lector puede remitirse al Anexo 8.1

6.3 Hackatón de Exoplanetas Colombia 2023

‘Hack an Exoplanet’ fue el primer hackatón para estudiantes de secundaria organizado por la oficina educativa de la Agencia Espacial Europea (ESA Education) y al que el Planetario de Bogotá se unió de manera oficial como organizador del evento en Colombia. Esta iniciativa buscó convertir a estudiantes de secundaria entre 15 y 18 años en detectives espaciales que ayudaron a perfilar dos misteriosos exoplanetas analizando los datos de CHEOPS, un satélite científico real de la ESA, que observó dos exoplanetas a principios de 2023, KELT-3b y TOI-560c.

Los estudiantes tuvieron la oportunidad de aprender sobre métodos y conceptos propios del estudio de exoplanetas, así como también de desarrollar habilidades en análisis de datos, resolución de problemas y trabajo en equipo. En el marco del evento se desarrolló un programa de formación para los estudiantes de 6 semanas, entre el 25 de marzo y el 6 de mayo, con sesiones virtuales y presenciales en el Planetario de Bogotá, en las que se hizo una introducción a los exoplanetas, instrumentos y métodos de detección, análisis de curvas de luz, tipos de exoplanetas y el potencial astrobiológico del estudio de atmósferas exoplanetarias.

Durante la hackatón a los diferentes equipos se les proporcionaron los datos y desafíos específi-

cos a resolver usando los conocimientos y habilidades desarrollados durante las 6 semanas de preparación. Además de estar acompañados por sus profesores, los estudiantes contaron con la disponibilidad del personal del Planetario de Bogotá e instituciones aliadas como apoyo en la solución de su desafío. Las soluciones fueron enviadas directamente a la ESA y fueron ellos quienes evaluaron el trabajo de cada uno de los equipos.

El evento de hackatón se llevó a cabo el día sábado 20 de mayo del 2023 desde la 1:00 p.m. hasta las 5:00 p.m. Durante la hackatón, el reto de los estudiantes fue determinar los parámetros planetarios de TOI-560 c usando los datos del telescopio CHEOPS mediante un análisis de los datos y curva de luz obtenida el 23 de enero de 2023 desde las 13:12 CET. La tabla 7 muestra los parámetros obtenidos por los estudiantes comparados con los valores reportados en la literatura para el exoplaneta estudiado. Si bien la medición de los niveles de las habilidades estuvo dada específicamente por la rúbrica de evaluación descrita en la sección 6.1, la tabla también permite determinar de cierta forma el nivel de apropiación conceptual sobre exoplanetas de los estudiantes, dado que para obtener resultados similares a los reportados en la literatura es necesario un dominio tanto teórico como práctico sobre el tema.

Cuadro 7: Parámetros planetarios para TOI-560 c obtenidos por los estudiantes durante el evento de hackatón. Valores de referencia tomados de El Mufti et al. (2022) y Barragán et al. (2022)

Equipo	Radio (R_{\oplus})	Dist. (UA)	Periodo (Días)	Densidad (g/cm^3)	Comp.
Referencia	2.672	0.1233	18.8805	6.1	-
Grupo 1	2.388	0.1824	18.8797	3.9140	Rocoso
Grupo 2	2.39	0.2173	6895	3.94	Rocoso
Grupo 3	2.38	0.00183	18.88	3.954	Gaseoso
Grupo 4	2.39	0.1249	18.8797	3.9045	Rocoso
Grupo 5	2.395	0.1827	18.8797	3.88	Rocoso

Frente a estos parámetros planetarios obtenidos por los estudiantes, estos indican, en términos generales, que los estudiantes lograron usar datos astronómicos reales y con ellos generar co-

nocimiento científico sobre los exoplanetas, comparación con los parámetros reportados indica que los estudiantes, con recursos matemáticos y tecnológicos limitados respecto a los usados por astrónomos profesionales, lograron obtener parámetros bastante cercanos a los reportados en la bibliografía científica, como es el caso del periodo orbital, el radio planetario y la distancia entre el planeta y su estrella huésped.

Si bien se observa la discrepancia entre lo obtenido por algunos grupos en la distancia o el periodo orbital, por ejemplo, esto es posible que se deba a errores propagados en los cálculos, debido a que cada parámetro que los estudiantes calcularon lo usaron en los cálculos para obtener otro (ver sección 4.4). Adicionalmente, otra posible explicación para la discrepancia entre los valores obtenidos por algunos grupos y los valores reportados es la dificultad de los estudiantes para convertir unidades, dado que durante la hackatón, uno de los retos intrínsecos fue convertir diferentes magnitudes físicas a unidades poco convencionales o específicamente usadas como unidades de masa terrestre para la masa, unidades de radio terrestre para el radio o unidades astronómicas para las distancias, así como los días para el caso del periodo orbital (tiempo). En ese sentido, es importante mencionar que para muchos de los cálculos los estudiantes debieron usar algunas unidades para obtener unos parámetros, después convertir esos valores a otras unidades para poder calcular otros parámetros y posteriormente, volver a transformarlos en otras unidades para reportarlos. La conversión adecuada de unidades es una habilidad esencial en ciencias que requiere práctica para dominarla, ya que los estudiantes a menudo tienen dificultades con ella y cometen errores (Sasson and Dori, 2015). Los múltiples pasos de conversión de unidades necesarios para los cálculos de exoplanetas plantearon un desafío adicional que contribuyó a las discrepancias entre los resultados de los estudiantes y los valores de la literatura. Proporcionar más andamiaje en el análisis de unidades podría ayudar a contribuir a mejorar esta habilidad.

6.4 Habilidades científicas

Al evaluar los textos escritos por los estudiantes durante el evento de hackatón y el cuestionario de preguntas abiertas que se aplicó al principio, se logró medir de forma cuantitativa su desempeño, por grupos de trabajo, en las habilidades científicas de análisis e interpretación de gráficas, apropiación conceptual y redacción científica. La tabla 8 presenta los resultados obtenidos por cada grupo de trabajo antes y después de la hackatón.

Cuadro 8: Resultados del desempeño de los estudiantes en las tres habilidades científicas analizadas antes (pre) y después (post) a la hackatón. **AIG:** Análisis e interpretación de gráficas, **AC:** Apropiación conceptual, **RC:** Redacción científica.

Grupo	pre RC	pre AIG	pre AC	post RC	post AIG	post AC	Δ RC	Δ AIG	Δ AC
1	2	3	3	4	3	4	2	0	1
2	2	2	2	5	3	5	3	1	3
3	3	3	3	4	4	4	1	1	1
4	3	3	3	4	3	4	1	0	1
5	2	2	3	4	3	4	1	1	1

6.4.1 Visualizaciones de radar

Bajo la premisa de que las tres habilidades están estrechamente relacionadas, el principal análisis que se plantea es el rendimiento general en todas las habilidades, como un promedio aritmético no se considera adecuado, un análisis mediante visualizaciones de radar es más pertinente porque el área dentro del triángulo formado en este caso, permite analizar de manera integral las habilidades. En ese sentido, los gráficos de la figura 12 muestran el rendimiento de cada grupo en las tres habilidades medidas antes y después de participar en la hackatón de exoplanetas.

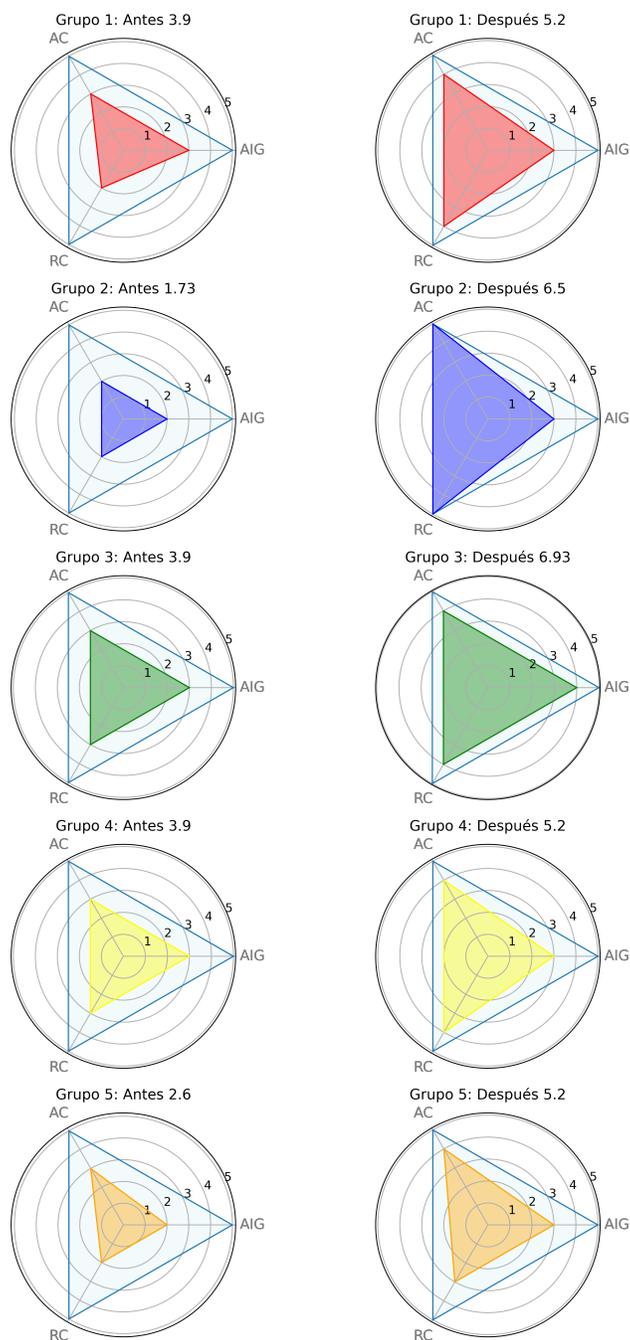


Figura 12: Gráficos de radar con el desempeño obtenido por cada grupo de trabajo antes y después de participar en la hackaton. **AIG**: Análisis e interpretación de gráficas, **AC**: Apropriación conceptual, **RC**: Redacción científica.

Al analizar esa gráfica y especialmente el área de los gráficos que configura una medida cuantitativa del desempeño en todas las habilidades, se tiene que antes de la hackatón, el promedio de

desempeño de los estudiantes fue de 3,2, que corresponde a aproximadamente un 30 % del rendimiento perfecto; mientras que después de la hackatón, al utilizar el mismo instrumento para evaluar cuantitativamente el desempeño en las habilidades científicas, el promedio de los grupos fue mayor, de 4,5 que corresponde a un 42 % de rendimiento después de la hackatón.

De igual forma, aunque en la sección 5.4 se menciona que el análisis más pertinente en este trabajo es el análisis mediante los gráficos de radar porque permiten analizar de manera integral el desempeño de los estudiantes, la figura 13 muestra mediante un gráfico de barras el rendimiento individual antes y después de la hackatón.

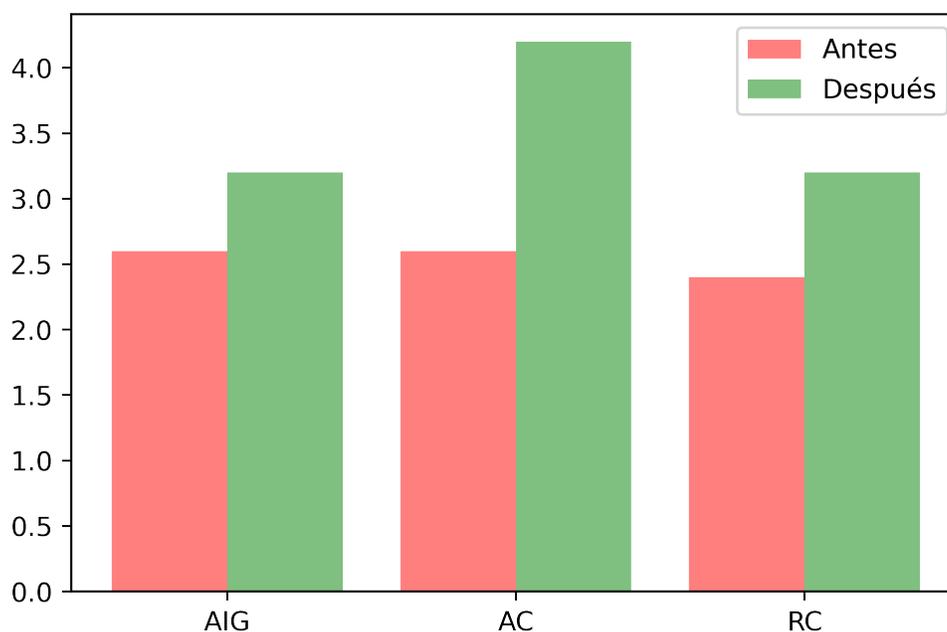


Figura 13: Rendimiento en las habilidades antes y después de la hackatón. **AIG**: Análisis e interpretación de gráficas, **AC**: Apropiación conceptual, **RC**: Redacción científica.

6.4.2 Prueba *t student*

Al aplicar la prueba de *t student* descrita en la sección 5.4 se pueden comparar las medidas en dos momentos distintos. En este caso, partiendo de entender las áreas de los triángulos de color como un desempeño integral en las habilidades de cada grupo de estudiantes. Para aplicar la prueba a todo el grupo de participantes se tiene que:

Se define la hipótesis nula (H_0) como “No hay diferencia en el desempeño promedio de los grupos de trabajo, antes y después de la hackatón”, eso quiere decir que la hipótesis alternativa (H_a) sería “Sí, hay mejora en el desempeño promedio después de la hackatón”.

La media de los resultados, antes de la hackatón es de 3,18 con una desviación estándar de 0,96.

Por su parte, la media después de la hackatón fue 5,78 con una desviación estándar de 0,55. Se calcula entonces el error estándar de la diferencia como 0,61 y por ende el t calculado es 4,33.

Teniendo en cuenta que el grado de libertad es 4 el valor crítico se toma como 2,78 (con $\alpha = 0,05$). En ese sentido, como $t_{calculado} (4,33) > t_{crítico} (2,78)$, se rechaza H_0 . Por lo que se puede decir, con un nivel de confianza del 95 % los datos muestran que existe una diferencia estadísticamente significativa entre el desempeño promedio antes y después; en consecuencia, la evidencia sugiere que participar en la hackatón tuvo un efecto positivo en las habilidades científicas.

6.4.3 Habilidades científicas y programa de preparación para la hackatón

Como ya se discutió en el apartado anterior, es válido afirmar que participar en todo el evento de hackatón de exoplanetas tuvo un impacto significativo en la mejora del desempeño de los grupos de trabajo en tres habilidades científicas. Sin embargo, como bien se describió en la metodología

de esta investigación, fue necesario llevar a cabo un programa de preparación para la hackatón, por lo que es de gran relevancia tener en cuenta la asistencia a dicho programa de preparación y que fue voluntario.

La tabla 9 presenta el reporte de asistencia por grupos al programa de preparación para el evento de hackatón. La primera columna hace referencia al grupo, las columnas enumeradas de 1 a 6 reportan la asistencia de al menos un miembro del grupo a la sesión. La siguiente columna a la derecha es el porcentaje de asistencia a todo el programa, contándola con la presencia de al menos un integrante del grupo. La columna etiquetada con ΔH es el cambio del área de los triángulos en las gráficas de radar (Ver figura 12). Por último, la columna etiquetada con i es un índice de asistencia por estudiante calculado con la fórmula

$$i = \frac{\#asist.}{6 \cdot \#integrantes} \quad (11)$$

De esta manera, en caso de que en un grupo de 5 estudiantes, todos hubiesen asistido a todas las sesiones, el índice i sería de 1.

Cuadro 9: Resultados de la asistencia al programa de preparación y cambios en las habilidades científicas

Grupo	1	2	3	4	5	6	% asist.	ΔH	i
1	Sí	Sí	–	Sí	–	–	50	1.33	0.33
2	Sí	Sí	Sí	–	Sí	Sí	83	4.77	0.47
3	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	100	3.03	0.44
4	Sí	Sí	Sí	–	–	–	50	1.3	0.27
5	Sí	Sí	Sí	–	Sí	Sí	83	2.6	0.42

Al aplicar la prueba de Spearman, descrita en la sección 5.4 se tiene que H_0 : “No existe correlación entre i y mejora en las habilidades”. Después de ordenar de menor a mayor los valores de i ,

asignar los rangos para cada grupo y calcular la diferencia entre los rangos (D), después se aplica la fórmula presentada en la ecuación 9 para obtener el coeficiente de correlación de Spearman (r_s) y posteriormente se usa la ecuación 10 para obtener el t calculado. En este caso también se usa un nivel de significancia de 0.05 para obtener el valor de t crítico es 2,77.

En este caso, los resultados generan un valor de $r_s = 0,8$ y un t calculado = 2,67. Como t calculado $>$ t crítico, se rechaza H_0 , es decir, que existe una correlación positiva significativa entre las variables.

Se puede decir, entonces, que mediante el análisis estadístico de la correlación de Spearman, existe una asociación positiva significativa ($r_s = 0.8$, $p > 0.05$) entre el nivel de asistencia al programa de preparación sobre exoplanetas y la mejora promedio en habilidades científicas clave como redacción científica, análisis e interpretación de gráficas y apropiación conceptual.

El valor de $r_s = 0.8$ para el coeficiente de correlación de Spearman indica que existe una correlación positiva fuerte entre las variables analizadas (índice de asistencia a las sesiones de preparación, variable independiente; y la mejora en las habilidades científicas, variable dependiente). Por su parte, $p > 0.05$ indica que el nivel de significancia es del 5 %, es decir que la probabilidad de que esta correlación no se deba al azar es mayor al 95 %.

Esto sugiere que la participación en las sesiones de preparación, como estrategia educativa previa a la hackatón, tuvo un efecto beneficioso en el desarrollo de competencias necesarias para el desempeño en la actividad. Como señalan Gravetter et al. (2021), los programas educativos que anteceden a experiencias de aprendizaje basado en retos, como hackatones, pueden dotar a los estudiantes de conocimientos y habilidades que maximizan los resultados de aprendizaje.

La preparación en temas de exoplanetas parece haber proporcionado a los participantes recursos conceptuales y procedimentales que después se vieron reflejados en un mejor desempeño en

tareas científicas concretas de la hackatón. Sin embargo, al ser un estudio preliminar con pocos casos, es necesario más investigación para confirmar esta tendencia.

No obstante, estos hallazgos iniciales resaltan la importancia de poner especial atención en el proceso de planeación y secuenciación didáctica de los momentos que previos a experiencias educativas basadas en retos como hackatones, para potenciar su impacto en el aprendizaje científico.

7 Conclusiones

La implementación de la hackatón como estrategia de aprendizaje basado en retos resultó efectiva para motivar a los estudiantes a realizar análisis de datos reales sobre exoplanetas obtenidos directamente de un telescopio espacial. De igual forma, facilitó un ambiente de aprendizaje para que aplicaran creativa y eficazmente conceptos y habilidades científicas como la redacción científica, el análisis e interpretación de gráficas y apropiación conceptual, en la solución de los retos propuestos sobre exoplanetas.

Por otro lado, la aplicación de un instrumento tipo cuestionario permitió establecer parámetros cuantitativos del desempeño de los estudiantes en tres las tres habilidades específicas como redacción científica, análisis e interpretación de gráficas y apropiación conceptual, antes de la hackatón. Asimismo, productos escritos en formato de artículo científico permitieron medir nuevamente el desempeño de los estudiantes en las mismas habilidades después de la hackatón. Para realizar dichas mediciones, se construyó un instrumento de tipo rúbrica de evaluación basado en autores como Shah and Hoeffner (2002) y Glazer (2011) para los niveles de desempeño en análisis e interpretación gráfica; en DiSessa (2014) para los niveles de apropiación conceptual; y Keys

(1999) y Klein and Rose (2010) para los niveles de redacción científica.

Bajo los criterios definidos por los autores, el instrumento de evaluación fue efectivo porque permitió evaluar cuantitativamente el desempeño de los estudiantes.

Frente a esas evaluaciones, las visualizaciones de tipo radar permitieron analizar con coherencia el desempeño de los estudiantes en las habilidades científicas, puesto que estas se entiende como parte del pensamiento científico que implica la estrecha articulación y coordinación entre distintas habilidades y que no serían adecuadamente analizadas de manera individual.

Por su parte, los análisis estadísticos mediante prueba *t Student* evidenciaron con una significancia del 96 % diferencias significativas en el desempeño promedio de los participantes en las habilidades evaluadas, antes y después de la hackatón. Esto sugiere un efecto positivo de la estrategia en el fortalecimiento de dichas competencias. Adicionalmente, se halló una correlación positiva significativa, con una significancia del 95 %, entre el nivel de asistencia al programa de preparación sobre exoplanetas y la mejora en habilidades científicas, mediante la prueba de correlación de Spearman. Esto indica la importancia de las estrategias de aprendizaje basado en retos, incorporen diferentes etapas de preparación para brindar a los estudiantes, las herramientas necesarias para enfrentarse de manera individual o grupal a retos dentro y fuera del aula de clase.

Esto indica que la estrategia de hackatón fue efectiva para el desarrollo de habilidades científicas de análisis e interpretación de gráficas, apropiación conceptual y redacción científica.

En cuanto a la efectividad de la hackatón como estrategia de aprendizaje basado en retos, los resultados coinciden con los hallazgos de estudios como el de (Nugent et al., 2010), donde también se encontró que este tipo de experiencias mejoraban las habilidades técnicas y blandas de los estudiantes. Asimismo, la preparación previa resultó ser un factor relevante (Gravetter et al., 2021)

Sin embargo, a diferencia del estudio cuasi-experimental de Kolodner et al. (2003), en esta inves-

tigación no se incluyó un grupo control, lo cual habría permitido establecer relaciones causales más contundentes entre la hackatón y el desempeño. Se requieren más estudios experimentales al respecto.

En cuanto al impacto positivo en habilidades científicas específicas, los hallazgos concuerdan con investigaciones como la de Nugent et al. (2010), aunque en áreas STEM diferentes. Esto sugiere que el potencial de las hackatones podría extrapolarse a distintas disciplinas.

Se resalta la importancia de utilizar instrumentos válidos y confiables para evaluar habilidades de proceso científico. Sin embargo, a diferencia de ese estudio, en este caso se utilizó una escala cuantitativa y no una rúbrica cualitativa (Kruit et al., 2018).

Los resultados obtenidos permiten concluir que la hackatón de exoplanetas, complementada con una fase de preparación conceptual, constituye una estrategia de aprendizaje basado en retos efectiva para motivar y desarrollar habilidades científicas clave como la redacción científica, el análisis e interpretación de gráficas y la apropiación conceptual en estudiantes de educación media.

Si bien los resultados son alentadores, se requieren más estudios con muestras mayores y grupos de control, para confirmar estas tendencias mediante un diseño experimental más robusto, que permita determinar relaciones causales en lugar de solo correlacionales. En este punto es importante recordar que el alcance planteado para este trabajo fue descriptivo y en gran medida exploratorio, sobre la manera en como una hackatón de exoplanetas permite desarrollar habilidades científicas específicas. No obstante, es trabajo para futuras investigaciones continuar evaluando la estrategia propuesta en ambientes y contextos de aprendizaje diversos y cada vez más específicos. Finalmente, se puede decir que la implementación efectiva de la hackatón de exoplanetas en el desarrollo de habilidades científicas clave, según se determinó en los análisis cuantitativos, indica que este tipo de estrategias educativas basadas en retos representan una alternativa prometedora

para motivar el aprendizaje de las ciencias naturales y la investigación educativa en este campo en Colombia. Al evidenciar beneficios concretos sobre habilidades como la apropiación conceptual, el análisis e interpretación de gráficas y la redacción científica, se resalta el potencial de estrategias como las hackatones para hacer las clases de ciencias más dinámicas y efectivas en conjunto con el desarrollo de competencias del siglo XXI.

Referencias

- Acevedo-Díaz, J. A. (2004). Reflexiones sobre las finalidades de la enseñanza de las ciencias: educación científica para la ciudadanía. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, 1(1):3–16.
- Ampartzaki, M. and Kalogiannakis, M. (2016). Astronomy in early childhood education: A concept-based approach. *Early Childhood Education Journal*, 44:169–179.
- Aroca, S. C. and Silva, C. C. (2011). Teaching astronomy in an informal space: observing the sun and its sunspots. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 33:01–11.
- Avila Alvarez, F. S. (2021). Desarrollo de habilidades científicas desde edades tempranas. *Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle*.
- Barragán, O., Armstrong, D. J., Gandolfi, D., Carleo, I., Vidotto, A., Villarreal D'Angelo, C., Oklopčić, A., Isaacson, H., Oddo, D., Collins, K., et al. (2022). The young hd 73583 (toi-560) planetary system: two 10- m_{\oplus} mini-neptunes transiting a 500-Myr-old, bright, and active k dwarf. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 514(2):1606–1627.
- Barringer, D. F., Plummer, J. D., Kregenow, J., and Palma, C. (2018). Gamified approach to teaching introductory astronomy online. *Physical Review Physics Education Research*, 14(1):010140.
- Bernal, C. (2010). *Metodología de la investigación. Tercera edición*. Colombia: PEARSON EDUCACIÓN.
- Bolaños, O. and Pérez, S. M. (2019). Aprendizaje basado en retos (abr). *Centro de Recursos para el aprendizaje CREA. Universidad Icesi*.
- Bretones, P. S. (2018). Overview of the astronomy education research landscape. *Proceedings of the International Astronomical Union*, 14(A30):570–571.
- Bretones, P. S. (2019). Astronomy education research: impact and future directions. In *EPJ Web of Conferences*, volume 200, page 01022. EDP Sciences.
- Briones, G. (1990). *Métodos y técnicas de investigación para las ciencias sociales*. Trillas México, DF.
- Briscoe, G. (2014). Digital innovation: The hackathon phenomenon. *Arts and Humanities Research Council*.
- Buitrago-López, D. L. (2014). Conocimiento profesional del profesor de ciencias naturales de educación básica y media: un análisis desde las relaciones en las disciplinas de conocimiento. *Universidad Pedagógica Nacional*.
- Cardinot, A. and Fairfield, J. A. (2022). Game-based learning to engage students with physics and astronomy using a board game. In *Research Anthology on Developments in Gamification and Game-Based Learning*, pages 785–801. IGI Global.

- Carroll, B. W. and Ostlie, D. A. (2017). *An introduction to modern astrophysics*. Cambridge University Press.
- Chan, Y. and Walmsley, R. P. (1997). Learning and understanding the kruskal-wallis one-way analysis-of-variance-by-ranks test for differences among three or more independent groups. *Physical therapy*, 77(12):1755–1761.
- Chen, C. H., Yang, J. C., Shen, S., and Jeng, M. C. (2007). A desktop virtual reality earth motion system in astronomy education. *Journal of Educational Technology & Society*, 10(3):289–304.
- Cole, M., Cohen, C., Wilhelm, J., and Lindell, R. (2018). Spatial thinking in astronomy education research. *Physical Review Physics Education Research*, 14(1):010139.
- Cook, T. D., Campbell, D. T., and Day, A. (1979). *Quasi-experimentation: Design & analysis issues for field settings*, volume 351. Houghton Mifflin Boston.
- Creswell, J. W. (2012). *Educational research*. pearson.
- Cárdenas-Avenidaño, A., Domínguez, S. V., Moreno-Cárdenas, F., and Calvo-Mozo, B. (2019). The educational and influential power of the sun. *Are We Alone*, page 28.
- Deeg, H. J. and Alonso, R. (2018). Transit photometry as an exoplanet discovery method. *arXiv preprint arXiv:1803.07867*.
- Deeg, H. J. and Belmonte, J. A. (2018). *Handbook of exoplanets*. Springer.
- Delgado, R. d. P. G., Hernández, M. R., Morales, J. G. T., and Mendoza, H. B. (2018). Aprendizaje basado en retos. *Anfei Digital*, (9).
- Derrick, B., Russ, B., Toher, D., and White, P. (2017). Test statistics for the comparison of means for two samples that include both paired and independent observations. *Journal of Modern Applied Statistical Methods*, 16(1):9.
- DiSessa, A. (2014). A history of conceptual change research: Threads and fault lines. In *The Cambridge Handbook of the Learning Sciences*. Cambridge University Press.
- El Mufti, M., Plavchan, P. P., Isaacson, H., Cale, B. L., Feliz, D. L., Reefe, M. A., Hellier, C., Stassun, K., Eastman, J., Polanski, A., et al. (2022). Toi 560: Two transiting planets orbiting a k dwarf validated with ishell, pfs, and hires rvs. *The Astronomical Journal*, 165(1):10.
- Fitzgerald, M., Danaia, L., and McKinnon, D. H. (2019). Barriers inhibiting inquiry-based science teaching and potential solutions: Perceptions of positively inclined early adopters. *Research in Science Education*, 49:543–566.
- Fitzgerald, M., McKinnon, D. H., and Danaia, L. (2015). Inquiry-based educational design for large-scale high school astronomy projects using real telescopes. *Journal of Science Education and Technology*, 24:747–760.
- Folhas, A. (2022). Astronomy: a way to interdisciplinarity in science teaching. In *European Planetary Science Congress*, pages 2022–1154.

- Friedlander, A. and Arcavi, A. (2012). Practicing algebraic skills: A conceptual approach. *The Mathematics Teacher*, 105(8):608–614.
- Furman, M. (2016). Educar mentes curiosas: la formación del pensamiento científico y tecnológico en la infancia: documento básico, xi foro latinoamericano de educación. *Santillana*.
- Galano, S., Colantonio, A., Leccia, S., Marzoli, I., Puddu, E., and Testa, I. (2018). Developing the use of visual representations to explain basic astronomy phenomena. *Physical Review Physics Education Research*, 14(1):010145.
- Glazer, N. (2011). Challenges with graph interpretation: A review of the literature. *Studies in science education*, 47(2):183–210.
- Glynn, S. M. and Muth, K. D. (1994). Reading and writing to learn science: Achieving scientific literacy. *Journal of research in science teaching*, 31(9):1057–1073.
- Gravetter, F. J., Wallnau, L. B., Forzano, L.-A. B., and Witnauer, J. E. (2021). *Essentials of statistics for the behavioral sciences*. Cengage Learning.
- Hernández, R., Fernández, C., and Baptista, M. d. P. (2010). *Metodología de la Investigación. Quinta Edición*. McGraw Hill Education. México.
- Holbrook, J. and Rannikmae, M. (2007). The nature of science education for enhancing scientific literacy. *International Journal of science education*, 29(11):1347–1362.
- Horvath, Z. (2022). *Teaching astronomy paying special attention to today's results of scientific research*. PhD thesis, Eotvos Lorand University.
- ICFES (2019). Informe nacional de resultados para colombia - pisa 2018. *ICFES*.
- ICFES (2022). Informe nacional de resultados del examen saber 11° 2021. *ICFES*.
- Jiménez, A. B., Hinojosa, V. C., Ramos, J. C., Sánchez, R. M., Blasco, V. J. Q., and Mendoza, C. A. (2019). El aprendizaje basado en retos como propuesta para el desarrollo de las competencias clave. *Padres y Maestros/Journal of Parents and Teachers*, (380):50–55.
- Karttunen, H., Kröger, P., Oja, H., Poutanen, M., and Donner, K. J. (2007). *Fundamental astronomy*. Springer.
- Kautsch, S. J., Veras, D., and Hansotia, K. K. (2021). The pedagogical representation of mass functions with lego and their origin. *European Journal of Physics*, 42(3):035605.
- Kersting, M., Steier, R., and Venville, G. (2021). Exploring participant engagement during an astrophysics virtual reality experience at a science festival. *International Journal of Science Education, Part B*, 11(1):17–34.
- Keys, C. W. (1999). Revitalizing instruction in scientific genres: Connecting knowledge production with writing to learn in science. *Science education*, 83(2):115–130.

- Klein, P. D. and Rose, M. A. (2010). Teaching argument and explanation to prepare junior students for writing to learn. *Reading Research Quarterly*, 45(4):433–461.
- Kolodner, J. L., Camp, P. J., Crismond, D., Fasse, B., Gray, J., Holbrook, J., Puntambekar, S., and Ryan, M. (2003). Problem-based learning meets case-based reasoning in the middle-school science classroom: Putting learning by design (tm) into practice. *The journal of the learning sciences*, 12(4):495–547.
- Kruit, P. M., Oostdam, R. J., van den Berg, E., and Schuitema, J. A. (2018). Assessing students' ability in performing scientific inquiry: instruments for measuring science skills in primary education. *Research in Science & Technological Education*, 36(4):413–439.
- Küpper, A., Morawietz, O., Schillings, J., and Schadschneider, A. (2020). Exoplanets at school—an educational program about hunting and analyzing exoplanets—meets the frei-project. *University of Leicester*.
- Kutner, M. L. (2003). *Astronomy: A physical perspective*. cambridge university press.
- Lara, M. and Lockwood, K. (2016). Hackathons as community-based learning: A case study. *TechTrends*, 60(5):486–495.
- Lewis, J., Schneegans, S., and Straza, T. (2021). *UNESCO Science Report: The race against time for smarter development*, volume 2021. UNESCO Publishing.
- Macedo, B. (2016). Educación científica. *Oficina de Montevideo UNESCO*.
- Mangan, J. M., Newman, D., Doss, K. B., and Virani, S. N. (2019). Improving science content learning with choreographed songs at an astronomy summer camp. *International Journal of Science Education, Part B*, 9(2):101–113.
- Marin-Zapata, S. I., Román-Calderón, J. P., Robledo-Ardila, C., and Jaramillo-Serna, M. A. (2022). Soft skills, do we know what we are talking about? *Review of Managerial Science*, 16(4):969–1000.
- Marques, J. B., Carlin, A. P., Gomes, M., and Moutinho, R. (2021). Periodicity and change: Talking about time inside the planetarium dome. *Science Education*, 105(6):1252–1284.
- Martin, E. W., Brown, C. V., DeHayes, D. W., Hoffer, J. A., and Perkins, W. C. (2005). Managing information technology. *Pearson Prentice Hall Englewood Cliffs, NJ*.
- Martí, J. (1883). Educación científica. *La América*, pages 137–139.
- Mayor, M. and Queloz, D. (1995). A jupiter-mass companion to a solar-type star. *nature*, 378(6555):355–359.
- McDonald, J. H. (2014). *Handbook of biological statistics*. New York.
- McKinnon, D. and Geissinger, H. (2002). Interactive astronomy in elementary schools. *Journal of Educational Technology & Society*, 5(1):124–128.

- Meinardi, E., González Galli, L., Revel Chion, A., and Plaza, M. V. (2010). *Educar en ciencias*. Paidós. Buenos Aires. Argentina.
- Millar, V., Toscano, M., van Driel, J., Stevenson, E., Nelson, C., and Kenyon, C. (2019). University run science outreach programs as a community of practice and site for identity development. *International Journal of Science Education*, 41(18):2579–2601.
- Mingers, J. and Leydesdorff, L. (2015). A review of theory and practice in scientometrics. *European journal of operational research*, 246(1):1–19.
- Morais de Abreu, R., Simao da Silva, R., Amorim, V., and Manoel de Bastos Vieira, R. (2022). Popularization of astronomy in elementary school: audiovisual production for the teaching of the phases of the moon. *Boletim da Sociedade Astronomica Brasileira*, 33(1):154–155.
- Murray, S. and Larry, S. (2009). *Estadística*. Chocolumbia. McGraw Hill, 4 edition.
- Muñoz-Candamil, N. and Romero-Chacón, A. E. (2019). Astronomy teaching as a means to articulate scientific education and citizen training: a proposal based on metascientific reflections. *Universidad Distrital Francisco José de Caldas*.
- Nandi, A. and Mandernach, M. (2016). Hackathons as an informal learning platform. In *Proceedings of the 47th ACM Technical Symposium on Computing Science Education*, pages 346–351.
- Next Generation Science Standards (2013). *Appendix F: Science and engineering practices in the NGSS*. NGSS Lead States.
- NRC (2012). *A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. National Research Council. National Academies Press.
- Nugent, G., Barker, B., Grandgenett, N., and Adamchuk, V. I. (2010). Impact of robotics and geospatial technology interventions on youth stem learning and attitudes. *Journal of Research on Technology in Education*, 42(4):391–408.
- Nuzzo, R. (2014). Statistical errors. *Nature*, 506(7487):150.
- Onal, N. T. and Onal, N. (2021). The effect of augmented reality on the astronomy achievement and interest level of gifted students. *Education and Information Technologies*, 26(4):4573–4599.
- Ortiz, D. and Greene, J. (2007). Research design: qualitative, quantitative, and mixed methods approaches. *Qualitative Research Journal*, 6(2):205–208.
- Osborne, J. (2014). Teaching scientific practices: Meeting the challenge of change. *Journal of Science Teacher Education*, 25(2):177–196.
- Otero, M. d. I. A. M. (2022). Los exoplanetas y su visibilidad creciente como piezas informativas en los periódicos abc y el mundo (1990-2018). *Doxa Comunicación. Revista Interdisciplinar de Estudios de Comunicación y Ciencias Sociales*, pages 79–101.

- Pedaste, M., Mäeots, M., Siiman, L. A., De Jong, T., Van Riesen, S. A., Kamp, E. T., Manoli, C. C., Zacharia, Z. C., and Tsourlidaki, E. (2015). Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle. *Educational research review*, 14:47–61.
- Pedrerros-Martínez, R. I. (2019). The teaching of astronomy in basic and higher education. *Universidad Distrital Francisco José de Caldas*.
- Pena, B. M. and Gil Quilez, M. (2001). The importance of images in astronomy education. *International Journal of Science Education*, 23(11):1125–1135.
- Percy, J. R. (2005). Why astronomy is useful and should be included in the school curriculum. *Highlights of Astronomy*, 13:1020–1021.
- Peña-López, I. (2019). Pisa 2018 results. what students know and can do. *OECD publishing*.
- Plummer, J. D. and Krajcik, J. (2010). Building a learning progression for celestial motion: Elementary levels from an earth-based perspective. *Journal of research in science teaching*, 47(7):768–787.
- Plummer, J. D. and Maynard, L. (2014). Building a learning progression for celestial motion: An exploration of students' reasoning about the seasons. *Journal of Research in Science Teaching*, 51(7):902–929.
- Plummer, J. D., Wasko, K. D., and Slagle, C. (2011). Children learning to explain daily celestial motion: Understanding astronomy across moving frames of reference. *International Journal of Science Education*, 33(14):1963–1992.
- Pérez-Lisboa, S., Rios-Binimelis, C. G., and Allaria, J. C. (2020). Augmented reality and stellation: Astronomy for children of five years. *Alteridad*, 15:25–35.
- Pérez-Poch, A., Torner Ribé, J., González Alonso, D. V., González Llamazares, L., Josep Martí, M., Pasquets Pérez, R. M., Alpiste Penalba, F., Brigos Hermida, M. A., and García Cuadrado, G. (2022). Challenge-based learning and the barcelona zero challenge: A space education case study. In *4th Symposium on Space Educational Activities*. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Radnóti, K. (2021). Exoplanets in physics classes. In *Journal of Physics: Conference Series*, volume 1929, page 012015. IOP Publishing.
- Rosenberg, M., Baldon, G., Russo, P., and Christensen, L. L. (2014). Astronomy in everyday life. *Communicating Astronomy to the Public Journal*, 14:30–36.
- Rosendhal, J., Sakimoto, P., Pertzborn, R., and Cooper, L. (2004). The nasa office of space science education and public outreach program. *Advances in Space Research*, 34(10):2127–2135.
- Ruiz-Rosero, J., Ramírez-González, G., and Viveros-Delgado, J. (2019). Software survey: Scientometry, a scientometric tool for topics trend analysis in scientific publications. *Scientometrics*, 121(2):1165–1188.

- Saary, M. J. (2008). Radar plots: a useful way for presenting multivariate health care data. *Journal of clinical epidemiology*, 61(4):311–317.
- Santiago-Acosta, R., Quezada Batalla, M., Hernández Medina, A., and Hernández Cooper, E. (2018). Challenge based learning physics and mathematics teaching. In *EDULEARN18 Proceedings*, 10th International Conference on Education and New Learning Technologies, pages 8303–8310. IATED.
- Sasson, I. and Dori, Y. J. (2015). A three-attribute transfer skills framework—part ii: applying and assessing the model in science education. *Chemistry Education Research and Practice*, 16(1):154–167.
- Schultz, S. K., Slater, T. F., et al. (2020). Who are the planetarians? a demographic survey of planetarium-based astronomy educators. *Journal of Astronomy & Earth Sciences Education (JAESE)*, 7(1):25–30.
- Schultz, S. K., Slater, T. F., et al. (2021). Use of formative assessment-based active learning by astronomy educators teaching in live planetarium learning environments. *Journal of Astronomy & Earth Sciences Education (JAESE)*, 8(1):27–38.
- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D., Shwartz, Y., Hug, B., and Krajcik, J. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 46(6):632–654.
- Seager, S. and Mallen-Ornelas, G. (2003). A unique solution of planet and star parameters from an extrasolar planet transit light curve. *The Astrophysical Journal*, 585(2):1038.
- Shah, P. and Hoeffner, J. (2002). Review of graph comprehension research: Implications for instruction. *Educational psychology review*, 14:47–69.
- Sibbersen, K. (2022). Electronic telescopes and their use in astronomy education. *The Physics Teacher*, 60(5):394–395.
- Slater, T. F. and Tatge, C. B. (2017). *Research on teaching astronomy in the planetarium*. Springer.
- Sommer, M. M. and Ontiveros, A. G. (2015). La importancia del desarrollo de habilidades científicas en los niños. *Jóvenes en la ciencia*, 1(2):995–998.
- Sosa, J. A. and Dávila, D. T. (2019). La enseñanza por indagación en el desarrollo de habilidades científicas. *Educación y Ciencia*, (23):605–624.
- Struve, O. (1952). Proposal for a project of high-precision stellar radial velocity work. *The Observatory*, 72:199–200.
- Subramaniam, K. and Padalkar, S. (2009). Visualisation and reasoning in explaining the phases of the moon. *International Journal of Science Education*, 31(3):395–417.

- Taylor, I., Barker, M., and Jones, A. (2003). Promoting mental model building in astronomy education. *International Journal of Science Education*, 25(10):1205–1225.
- Toulmin, S. E. (2003). *The uses of argument*. Cambridge university press.
- Turk, C. and Kalkan, H. (2015). The effect of planetariums on teaching specific astronomy concepts. *Journal of Science Education and Technology*, 24:1–15.
- Uchima Tamayo, J. P., Salazar Manzano, L. E., Arias Santa, N., and Quintero Salazar, E. A. (2019). Astronomia contacto: A strategy for astronomy outreach for the visually impaired. *REVISTA CIENTIFICA*, pages 262–270.
- Valentino, C. (2000). Developing science skills. Retrieved April, 26:2011.
- Valls-Gabaud, David y Boksenberg, A. (2009). The role of astronomy in society and culture. *Proceedings of the International Astronomical Union*, 5(S260):4–8.
- Van Eck, N. and Waltman, L. (2010). Software survey: Vosviewer, a computer program for bibliometric mapping. *scientometrics*, 84(2):523–538.
- Wallwey, C., Longmeier, M. M., Hayde, D., Armstrong, J., Kajfez, R., and Pelan, R. (2022). Consider “hacks” when designing hackathon challenges: Hook, action, collaborative knowledge sharing. In *Frontiers in Education*, volume 7, page 954044. Frontiers Media SA.
- Willis, S., Byrd, G., and Johnson, B. D. (2017). Challenge-based learning. *Computer*, 50(7):13–16.
- Wolszczan, A. and Frail, D. A. (1992). A planetary system around the millisecond pulsar psr1257+ 12. *Nature*, 355(6356):145–147.

8 Anexos

8.1 Anexo 1: Evaluación continua del programa de preparación para la hackatón

Para conocer los resultados de los quices conceptuales de varias de las sesiones y los resultados obtenidos por algunos de los estudiantes en otros mecanismos de evaluación, diríjase al link frente a cada sesión a continuación:

- Sesión 1: [Imágenes de evidencia](#)
- Sesión 2: [Quiz conceptual en Quizziz](#)
- Sesión 3: [Quiz conceptual en Quizziz](#)
- Sesión 4: No hay evidencias enviadas por los estudiantes porque la socialización fue en vivo.
- Sesión 5: [Quiz escrito en Nearpod](#)
- Sesión 6: No hay evidencias enviadas por los estudiantes porque la socialización fue en vivo

8.2 Anexo 2: Prueba diagnóstica



Nombre completo			
Institución			
Profesor Acompañante			
Edad	Grado	Fecha	

Instrumento Diagnóstico

Estimado estudiante, responda las siguientes preguntas de acuerdo con lo que sabe. Recuerde que esta es una prueba diagnóstica y no influirá en ningún aspecto su participación en el evento de "Hackatón de Exoplanetas". Siéntase libre de responder a conciencia.

1. ¿Qué son los exoplanetas?

2. ¿Cómo se descubren los exoplanetas?

3. ¿Qué es la zona habitable de una estrella?

4. ¿Por qué es importante estudiar los exoplanetas?

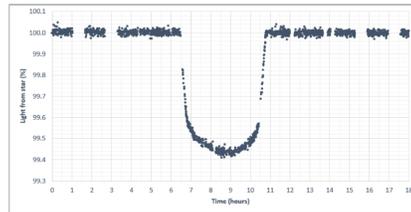
(a)



5. Mencione alguna misión, instrumento o telescopio en la Tierra o en el espacio que estudie o descubra exoplanetas y escriba lo que sabe al respecto.

6. ¿Cuáles son las características que se buscan en un exoplaneta habitable?

Interprete el siguiente gráfico



(b)

Figura 14: Prueba diagnóstica

8.3 Anexo 3: Cuestionario sesión 1

Preguntas del cuestionario

1. ¿Cuál es un problema a la hora de buscar planetas alrededor de otras estrellas?
 - Su brillo es muy débil
 - Están muy lejos
 - Los oculta el brillo de su estrella
 - **Todas las anteriores**
2. ¿cómo se pueden descubrir planetas fuera del sistema solar?
 - Directamente
 - **Indirectamente**
3. ¿Cuál es el nombre del primer planeta descubierto fuera del sistema solar? ¿Cuándo fue su descubrimiento?
 - Kelt-3 b (1996)
 - **51 Peg b (1995)**
 - TOI-560 c (1995)
 - WASP-93 b (1996)
4. ¿Cómo se llama cuando un exoplaneta pasa frente a su estrella?
 - Una curva de luz
 - Un eclipse
 - Una línea directa
 - **Un tránsito**
5. ¿Cuál es el nombre de la misión cuyos datos trabajaremos en la hackatón?
 - Kepler
 - Hubble
 - **Cheops**
 - James Webb
6. ¿Cuál de las siguientes NO es una propiedad que se puede obtener de un exoplaneta a través del método de tránsito?
 - **Su masa**
 - Su tamaño
 - Su periodo orbital

- La distancia a su estrella

7. Describa el método de tránsito para descubrir exoplanetas

8. ¿Cuál es el radio de WASP-2 b?

8.4 Anexo 4: Cuestionario sesión 2

1. ¿Qué significa CHEOPS?
 - Characterize Exoplanets Mission
 - Counting Exoplanet Survey
 - **Characterising Exoplanets Satellite**
 - Studying Exoplanets Telescope
2. ¿Cuándo fue lanzado CHEOPS?
 - 2017
 - 2018
 - **2019**
 - 2020
3. ¿Cuál es la distancia entre CHEOS y la Tierra?
 - 500 km
 - **700 km**
 - 900 km
 - 1.500.000 km
4. ¿Cómo se determina el tamaño de un exoplaneta con el método de tránsito?
 - **Midiendo la profundidad del tránsito y conociendo el radio de la estrella, se calcula el radio del exoplaneta**
 - Midiendo el tiempo de tránsito y con la masa de la estrella, se calcula el tamaño del exoplaneta
 - Conociendo la distancia de la tierra a la estrella y la cantidad de brillo que se mide, se calcula el radio del exoplaneta.
 - Conociendo la velocidad del exoplaneta alrededor de la estrella, se calcula el tamaño del exoplaneta
5. ¿Cuáles datos se necesitan conocer para calcular la distancia entre un exoplaneta y su estrella además de π y G?
 - Nivel de brillo y radio planetario
 - Masa planetaria y Masa estelar
 - Tamaño estelar y Periodo orbital
 - **Masa estelar y Periodo orbital**
6. Escriba la distancia que calculó para el exoplaneta A y/o B

8.5 Anexo 5: Guía para la construcción de un modelo de exoplanetas en tránsito

Se usó la guía propuesta por la Agencia Espacial Europea



Figura 15: Guía para fabricar un modelo de exoplanetas. Hacer clic para ir al recurso

8.6 Anexo 6: Cuestionario sesión 5

Para responder cada una de las preguntas, se dio a los estudiantes el conjunto de resultados obtenidos a lo largo de las sesiones anteriores como características planetario de un exoplaneta inventado (EXO-3 b). Todas las preguntas fueron abiertas.

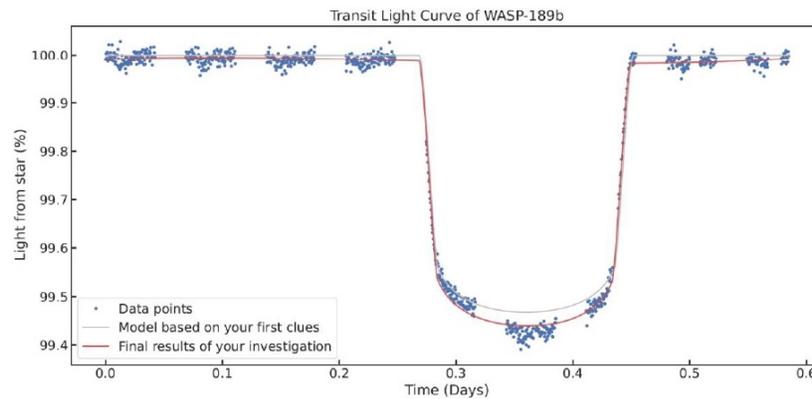
1. Escriba sus resultados y análisis sobre EXO-3 b
2. Escriba su conclusión: ¿Cuáles características tiene EXO-3 b que son similares a los planetas del Sistema Solar?
3. Escriba sus títulos para la investigación sobre EXO-3 b

8.7 Anexo 7: Reto de simulacro



SIMULACRO DE RETOS

Reto: Determinar la similitud de WASP-189 b con la Tierra, a partir de su curva de luz generada con los datos tomados por la misión CHEOPS teniendo en cuenta que se calcula un periodo orbital de $T = 2.724$ días, una masa de $M_p = 632 M_{Tierra}$, el radio de la estrella huésped se calcula en: $R_* = 2.3417 R_{\odot}$ y su masa en $M_* = 2.030 M_{\odot}$.



Para calcular el radio de un exoplaneta: $R_p = (\sqrt{\Delta F})(R_*)$

Para calcular la distancia entre un Planeta y su Estrella: $d = \sqrt[3]{\frac{GM_*}{4\pi} T^2}$

Para calcular la densidad de un exoplaneta: $\rho = \frac{M_p}{V}$

Figura 16: Simulacro del reto

8.8 Anexo 8: Plantilla de reporte de resultados



JOURNAL TEMPLATE

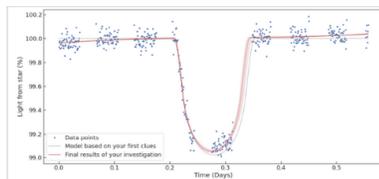
Completa tu artículo de investigación de TOI-560c

Resumen Escribe una pequeña descripción de tu proyecto (Máx. 250 palabras)

Resultados y análisis

Presenta tus análisis e interpretaciones de los datos de TOI-560c

Puedes presentar gráficos y otro material de apoyo para validar tus análisis.



Conclusiones Describe tus conclusiones finales sobre TOI-560c

Figura 17: Plantilla para reportar los resultados

8.9 Anexo 9: Resultados de los estudiantes

El producto de cada grupo de trabajo fue un artículo científico con sus resultados, análisis, conclusiones de investigación.

Productos disponibles haciendo [clic aquí](#).