

# **LOS RAYOS CÓSMICOS Y COMO EL SOL LOS AFECTA**

**SEBASTIÁN DUQUE MURCIA**

**COLEGIO PANAMERICANO**

**SENIOR PROJECT**

**PROFESORA GLORIA GOMEZ**

**MAYO 29, 2024**

## **Tabla de Contenidos**

Introducción.....	3
Capítulo 1: Descripción del Proyecto.....	4
Capítulo 2: Objetivos.....	5
Capítulo 3: Marco Contextual.....	6
Capítulo 4: Marco Legal.....	8
Capítulo 5: Marco Teórico.....	18
Capítulo 6: Marco Conceptual.....	52
Capítulo 7: Resultados.....	60
Capítulo 8: Conclusiones.....	66
Lista de Referencias.....	70
Lista de Figuras.....	79

## **Introducción**

El Senior Project es un proyecto de investigación desarrollado en el grado 12° del Colegio Panamericano con el objetivo de evaluar las enseñanzas y habilidades del estudiante en cuanto a las consultas, redacción, y formación de ideas. Además, es un proyecto que se desarrolla con el objetivo de ayudar a los estudiantes a evaluar su elección de carrera al indagar en una investigación relevante, experimentando actividades de nivel casi universitario para definir si es lo que el estudiante realmente desea hacer.

El proyecto consiste en elegir una pregunta específica sobre el tema elegido por el estudiante, con el fin de darle respuesta mediante una investigación y práctica. El proyecto consiste de un planteamiento del tema y los objetivos que se cumplirán con la elaboración del trabajo. A esto lo sigue un marco contextual donde se incluye la información de la empresa donde se harán las prácticas, un marco legal donde se listan las leyes y jurisdicciones que sean relevantes a la carrera o al tema, y un marco teórico donde se desarrolla un documento al estilo de un informe sobre todos los aspectos del tema, incluyendo información que puede responder la pregunta y que será comparada con la información obtenida en las prácticas. Esta parte concluye con un marco conceptual que sirve como glosario de términos relacionados al tema con definiciones de enciclopedia. Finalmente, el trabajo es cerrado con los resultados y conclusiones derivadas de la práctica. A finales del proyecto se hacen nueve días de trabajo de la carrera con el objetivo de dar respuesta a la pregunta de investigación y de proveer al estudiante con una experiencia real en el contexto laboral de la carrera.

A continuación está el proyecto desarrollado desde el mes de octubre de 2023 hasta mayo de 2024, enfocado alrededor del campo de la astrofísica y centrado en el tema de los rayos cósmicos, con el fin de responder como el sol afecta a los rayos que se dirigen a la tierra.

## **Capítulo 1: Descripción del Proyecto**

Los astrónomos siempre están en busca de respuestas a los incontables fenómenos que ocurren en el universo, donde cada explicación es una pieza que nos permite comprender el cosmos de manera fundamental. La radiación de partículas, conocida como los rayos cósmicos, es uno de estos fenómenos observados frecuentemente, el cual puede revelar información sobre eventos más allá de la Vía Láctea. Sin embargo, el primer paso para entenderlos es la observación y estudio de sus características. Consecuentemente, se requiere una investigación mediante información experimental y observación para analizar cómo son afectados dichos rayos en su camino a nuestro planeta.

La pregunta de investigación central al desarrollo del proyecto es: ¿Cómo afecta el Sol a las propiedades del flujo de rayos cósmicos que nos llega a la tierra constantemente?

## **Capítulo 2: Objetivos**

### **Objetivo General:**

Determinar qué efectos tiene el sol sobre las propiedades que posee el flujo de rayos cósmicos que llegan a la tierra.

### **Objetivos Específicos:**

- Definir concepto de radiación cósmica y que la compone
- Investigar métodos de observación para detectar los rayos cósmicos que llegan a la tierra
- Identificar energía y dirección de los rayos cósmicos
- Analizar cómo interactúan los rayos cósmicos con los campos magnéticos y atmósferas de los cuerpos celestes
- Examinar los efectos que tienen los rayos cósmicos que impactan a la tierra y qué los causa
- Conocer los procesos matemáticos, experimentales, observacionales y computacionales involucrados en el estudio de rayos cósmicos

### **Objetivos Personales:**

- Conocer el ambiente del estudio de la astrofísica
- Aprender a interpretar datos experimentales en física
- Manejar procesos computacionales y experimentales
- Determinar las habilidades y competencias actuales sobre la física y cómo mejorarlas

### Capítulo 3: Marco Contextual

- **Razón Social:** Universidad Industrial de Santander
- **Ubicación:** Carrera 27, Calle 9, Ciudad Universitaria
- **Sector Económico:** Está en el terciario, específicamente en el de la educación
- **Misión:** “La Universidad Industrial de Santander es una institución pública que forma ciudadanos como profesionales integrales, éticos, con sentido político e innovadores; apropiada, utiliza, crea, transfiere y divulga el conocimiento por medio de la investigación, la innovación científica, tecnológica y social, la creación artística y la promoción de la cultura; construye procesos colaborativos y de confianza social para la anticipación de oportunidades, el reconocimiento de retos y la construcción de soluciones a necesidades propias y del entorno. Este obrar institucional, dinamizado con redes diversas y abiertas de conocimiento y aprendizaje, busca el fortalecimiento de una sociedad democrática, participativa, deliberativa y pluralista, con justicia y equidad social, comprometida con la preservación del medio ambiente y el buen vivir.”
- **Visión:** “Para el año 2030 la Universidad Industrial de Santander será reconocida en el entorno nacional e internacional como una comunidad intelectual, ética y diversa, que educa para interpretar los desafíos del mundo, que es abierta a nuevas formas de pensamiento y que gestiona el conocimiento para el avance y la transformación de la sociedad y la cultura hacia el mejoramiento de la calidad de vida. La UIS, a fin de fortalecer la naturaleza pública que le es propia, habrá actuado de manera significativa y acorde con los derechos humanos para la conservación de la biodiversidad, el desarrollo sostenible, la convivencia pacífica, la cohesión social y la democracia.”
- **Cobertura:** Departamental

- **Constitución:** Organización o institución pública y como organización compleja
- **Usuarios:** Estudiantes de pregrado y posgrado, personal de la administración y servicios, profesores, Másters, becarios. También se incluyen alumnos externos y otras visitas a la institución. Todos aquellos que hagan uso de los servicios mencionados en el siguiente punto.
- **Servicios:** Cursos de pregrado y posgrado, asesoría y consultoría profesional, tecnológicos, de docentes asistenciales, culturales, artísticos y deportivos, y de comunicación e información.
- **Historia:** Comenzó sus labores de educación oficialmente el 1 de marzo de 1948. La universidad empezó con solamente carreras de ingeniería, como Ingeniería Mecánica, Eléctrica, y Química. Las décadas de 1950 y 1960 ven la creación de más ingenierías y programas de ciencias de la salud. Hoy en día tiene más de 40 programas de pregrado y más de 22,000 estudiantes activos.

## **Capítulo 4: Marco Legal**

La investigación de este proyecto parte del campo de la Astrofísica, enfocándose en el fenómeno de la radiación cósmica, con el propósito de comprender la manera en la cual el Sol afecta las propiedades de estos rayos en su camino hacia el planeta tierra.

A pesar de ser una carrera bastante alejada del campo jurídico, existen leyes y decretos que regulan la actividad científica en general, dentro de la cual se encuentra el campo astrofísico y el ejercicio de la investigación. Las siguientes normas giran en torno a tanto la regulación como fomentación de la investigación, así como dictan características y disposiciones de las entidades que gobiernan el campo de la ciencia en Colombia.

### **Constitución Política de La República de Colombia 1991**

Esta Carta Magna tiene la posición jerárquica más alta y se considera la norma sobre cualquier otra; establece a La República de Colombia como un Estado social de derecho, pone como prioridad la dignidad y los derechos fundamentales de la persona, los cuales deben ser protegidos bajo ley en cualquier momento. La Constitución otorga gran importancia a la expresión libre de personalidad, respeto a la diversidad cultural, y a la democracia. Es gracias a esta que se lleva a cabo un proceso considerable de descentralización. Esta hace énfasis en la efectividad de dichos derechos y libertades.

La relevancia de la constitución frente a la astrofísica, específicamente al tema de radiación cósmica, se encuentra en el Artículo 75, el cual establece que “El espectro electromagnético es un bien público inenajenable e imprescriptible sujeto a la gestión y control del Estado... [el cual] intervendrá por mandato de la ley para evitar las prácticas monopolísticas en el uso del espectro electromagnético.” Es sumamente importante que se tenga supervisión de



las pruebas o investigaciones hechas con este tipo de radiación cósmica, la cual entra en este espectro con la finalidad de prevenir prácticas indebidas con este tipo de energía, las cuales tendrían niveles de peligrosidad elevados por su alta energía.

**Ley 44 de 1993, Por La Cual Se Modifica Y Adiciona La Ley 23 De 1982 Y Se Modifica La Ley 29 De 1944.**

Esta ley es una actualización de leyes anteriores sobre los derechos de autores, estableciendo que la protección del Derecho de Autor se extenderá 80 años después de la muerte del autor si es persona natural, y 50 años después de ser publicado si es una persona jurídica quien lo posee. Se procede a listar qué elementos o formas de la información pueden ser protegidas por el Derecho de Autor, y posteriormente presenta el objetivo de dicha protección, principalmente el ser reconocido como titular de dicha propiedad, así como asegurar la misma condición de tener estos derechos.

La importancia radica en la parte de la investigación científica relacionada a la publicación y propiedad de textos científicos. El Artículo 3 dicta que “Se podrán inscribir en el Registro Nacional del Derecho de Autor: a. Las obras literarias, científicas y artísticas.” Al estar incluida la obra científica, aquellos pertenecientes al campo de la astrofísica o la ciencia en general reciben beneficios y protección de esta ley, donde pueden registrar sus hallazgos de manera segura y recibir crédito u oportunidades a partir de la publicación de dichas obras. Dado a esta ley, los científicos cuentan con una medida de seguridad y propiedad contra posibles delitos por robo de información.

**Ley 1286 De 2009, Por La Cual Se Modifica La Ley 29 de 1990, Se Transforma A Colciencias En Departamento Administrativo, Se Fortalece El Sistema Nacional De Ciencia, Tecnología E Innovación En Colombia Y Se Dictan Otras Disposiciones**

Esta ley declara múltiples disposiciones del estado en respecto a la investigación científica y desarrollo tecnológico. El estado está encargado de desarrollar y aumentar tanto el interés como las oportunidades en respecto a la ciencia y tecnología. Afirma que se fortalecerá la cultura científica y del conocimiento mediante planes nacionales y la transformación del establecido Instituto Francisco José de Caldas (que en ese entonces era público) en lo que se conoció como Colciencias y más adelante como el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (MCTI). Se determinan los sistemas financieros por medio de los cuales se podrán asignar recursos para la comunidad científica.

En el Artículo 6 se plantean los objetivos de Colciencias que ahora lleva a cabo el MCTI, como “articular y enriquecer la investigación, el desarrollo científico, tecnológico y la innovación con el sector privado, en especial el sector productivo,” “Promover el desarrollo y la vinculación de la ciencia con sus componentes básicos y aplicados al desarrollo tecnológico innovador, asociados a la actualización y mejoramiento de la calidad de la educación formal y no formal” y “definir y alinear los procesos para el establecimiento de prioridades, asignación, articulación y optimización de recursos de toda clase para la ciencia, la tecnología, la innovación y el resultado de estos, como son el emprendimiento y la competitividad.” El conjunto de estas propuestas resulta en apoyo y fomentación de la innovación tecnológica y científica en el mundo laboral como en el mundo de la educación, añadiéndole a esto una mayor cantidad de recursos y apoyos hacia la práctica científica, así cumpliendo con su objetivo de promover esta cultura en toda la nación.

## **Ley 2162 de 2021, Por Medio De La Cual Se Crea el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación y se Dictan Otras Disposiciones**

Cuenta con un objetivo principal explícito de crear el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación. Es de importancia recalcar que esta fusiona al Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (Colciencias) con el nuevo Ministerio. La ley plantea sus objetivos principales, tal como impulsar el desarrollo científico e innovador de acuerdo a planes de desarrollo. Además de los principales, hay objetivos específicos, como el de fomentar una cultura de divulgación científica y el compartir de conocimiento. El segundo capítulo se dedica a la estructura y jerarquía de este ministerio.

El impacto en el campo científico, y por ende el astrofísico, se encuentra en los objetivos planteados. El Artículo 6 de esta ley establece los objetivos específicos, entre ellos “Impulsar la participación de la comunidad científica en la política nacional de ciencia, tecnología, innovación y competitividad, para generar mecanismos que eleven el nivel de la investigación científica y social,” el cual logra dar más oportunidades a la comunidad y fomentar la actividad de investigación. Esto permite que quienes desarrollen proyectos de investigación tengan una mayor presencia y por ende un rol activo dentro de la sociedad, brindándoles oportunidades por su trabajo experimental e investigativo.

## **Decreto 393 de 1991, Por El Cual Se Dictan Normas Sobre Asociación Para Actividades Científicas Y Tecnológicas, Proyectos De Investigación Y Creación De Tecnologías**

Este decreto establece los tipos o modalidades de asociación que se pueden establecer entre usuarios o entidades, que pueden ser sociedades, corporaciones, fundaciones o simplemente un acuerdo entre particulares por medio de un convenio especial de cooperación. Además de

esto, también se listan los propósitos que puede tener dicha asociación, entre ellos el de llevar a cabo la investigación científica, la capacitación de recursos humanos para el avance científico y tecnológico, y la organización de eventos o cursos de ciencia y tecnología, El decreto define las reglas de un convenio especial de cooperación, en particular que se regirán por el Derecho Privado. Adicionalmente, se listan las cláusulas que debe contener para ser válido.

La importancia de este decreto viene de su relación directa con las asociaciones creadas por el fin de investigación científica, las cuales son muy comunes en el campo astrofísico, creadas con el interés de unir los recursos y habilidad de dos o más individuos por el fin de un proyecto. Este decreto define en el Artículo 2 que uno de los propósitos de asociarse es “Adelantar proyectos de investigación científica.” Además, es de importancia tener en cuenta lo dicho por el Artículo 7, “Estos convenios se regirán por las normas del Derecho Privado.” Esto incluye al convenio que será hecho en una parte posterior del proyecto, el cual responderá a los intereses privados de los particulares involucrados.

### **Decreto 591 de 1991, Por El Cual Se Regulan Las Modalidades Específicas De Contratos De Fomento De Actividades Científicas y Tecnológicas**

De manera similar al anterior, este decreto se enfoca en las características de los contratos o asociaciones que se forman para la actividad científica. En particular, este regula las cuatro modalidades de acuerdos de financiamiento entre contratista y contratante. Además, declara la disponibilidad y habilidad de formar dichos contratos entre tanto personas particulares como entre entidades públicas y privadas, y se hace mención de la transferencia tecnológica y el hecho de que también estará cubierta por esta y otras leyes que rigen los contratos con fin científico.

El Artículo 8 del decreto establece los tipos de reembolsos que paga el contratista para compensar los recursos prestados para la financiación y disposición de recursos en contratos de

proyectos científicos: El reembolso obligatorio, donde simplemente se paga lo acordado; el condicional, donde el pago depende de los resultados de la actividad y puede ser eximido de pago si es un proyecto exitoso; el parcial, donde se puede determinar cuáles recursos son reembolsables y cuáles no. Los artículos 9 y 17 anuncian que “La Nación y sus entidades descentralizadas podrán celebrar con personas públicas o privadas contratos de administración de proyectos” y que “la Nación y sus entidades descentralizadas podrán celebrar con los particulares y con otras entidades públicas de cualquier orden convenios especiales de cooperación” respectivamente. Los tres artículos mencionados constituyen la oportunidad para proyectos e investigaciones científicas al fomentarse con medidas claras de regulación económica y la manera en la cual un contratista puede manejar los reembolsos y beneficiarse del contrato.

### **Decreto 1806 de 1930, Por el cual se reorganiza el Observatorio Astronómico Nacional**

Este reorganiza y otorga administración del Observatorio Astronómico Nacional de Colombia a la Facultad de Matemáticas e Ingeniería, hoy en día de la Universidad Nacional de Colombia. Esto significa que el desarrollo posterior del observatorio estaría en manos de la UNAL y su visión educativa. Dentro de este decreto se le asigna tanto a la Facultad como entidades de la nación la responsabilidad de asegurarse que el complejo esté funcionando. El Consejo Directivo de la Facultad tiene el derecho de abrir clases prácticas de Astronomía dentro de este espacio, así como clases de Geodesia (geometría de la tierra) y la Geografía.

Es de importancia no solo para estudiantes de física o astrofísica en la UNAL, sino también para cualquiera que esté llevando a cabo un proyecto de investigación relacionado al tema y haga una asociación con la Facultad para hacer uso de los servicios del lugar. De acuerdo al Artículo 6 de este decreto, “Por el Ministerio de Obras Públicas se dispondrá lo conveniente para reparar y poner en buenas condiciones de servicio el local del Observatorio.” El Ministerio

de Obras Públicas hoy en día fue reestructurado como el Ministerio de Transporte, donde recaerá dicha responsabilidad de mantener el edificio en buen estado.

### **Resolución 0167 de 2019, Por La Cual Se Adoptan Los Lineamientos Para Una Política De Ciencia Abierta En Colombia**

Esta resolución es breve en su contenido “directo”, que simplemente establece que se adoptarán lineamientos para la Política de Ciencia Abierta, organizándose por parte de la entidad Colciencias (en ese momento) y siendo modificados por esta misma. Anexos al artículo de la resolución se define el concepto de la ciencia abierta: “Ciencia abierta es la práctica que permite el acceso y la participación de distintos actores en los procesos de generación y uso del conocimiento científico mediante las Tecnologías de Información y Comunicación.”

Posteriormente, se identifican los elementos necesarios para la ciencia abierta, como lo son los mecanismos de financiación, la accesibilidad a la información y el conocimiento, y la infraestructura necesaria para la actividad científica. Se definen tres lineamientos claros: Regular las reglas de propiedad intelectual con la ciencia abierta en mente, promover interacción entre las entidades grandes del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación para fortalecer las capacidades en la ciencia del país mediante tanto grupos como individuos, y la exploración de mecanismos de financiación.

Esta resolución es responsable por la implementación de los lineamientos necesarios para la ciencia abierta. Este último concepto es crucial no sólo para las personas involucradas en el ámbito de la investigación y experimentación, sino también para la nación como tal, promoviendo una cultura en la cual el conocimiento es sinónimo de progreso. Es semejante a otras leyes al ser de gran importancia para la elaboración de proyectos individuales o colectivos científicos, particularmente en su oferta de opciones de apoyo económico: “financiación

compartida entre distintos ministerios y Colciencias, la gestión de recursos de regalías de CTeI [Ciencia, Tecnología e Innovación], la utilización de mecanismos de cofinanciación público-privadas, donaciones, entre otros.” Las personas que deseen elaborar investigaciones en conjunto con benefactores de entidades científicas podrán gozar de dichos recursos para adelantar su trabajo.

**Acuerdo 9 de 2006, Por El Cual, Se Adoptan Definiciones, Criterios y Procedimientos Para La Calificación De Los Proyectos Como De Carácter Científico, Tecnológico o De Innovación, Para Los Efectos Previstos En El Artículo 158-1 Del Estatuto Tributario**

Este acuerdo cumple dos funciones principales. La primera es la definición y establecimiento de los conceptos de un proyecto científico, tecnológico o innovador, así como la provisión de pautas generales para dichos proyectos que busquen calificación por parte de las entidades de ciencia y tecnología. La segunda función, por otro lado, fija las reglas que deben seguir estos proyectos en cuanto a los beneficios financieros que pueden recibir y al seguimiento que se le hace al desarrollo y presentación de los proyectos.

Las regulaciones que implementa este acuerdo son de gran importancia para el emprendimiento de proyectos de carácter científico. En particular, el esquema estructural que presenta el acuerdo provee una base sobre la cual desarrollar el trabajo de manera que cumpla los requisitos de evaluación por parte del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Esta estructura comparte algunas características con la estructura usada en este proyecto, siendo principalmente la presencia de un marco teórico, objetivos, resultados, metodologías, etc. Además, cuenta con aspectos sociales que se deben tener en cuenta no solo para la aprobación del proyecto sino también para el fomento de la actividad científica, como lo son la pertinencia a la problemática

nacional, las características innovadoras, y el fortalecimiento de la investigación y experimentación.

### **Acuerdo 043 de 2011, Por El Cual Se Adopta El Estatuto De Investigación De La Universidad Industrial De Santander**

Este acuerdo es local y específico a la UIS, instituyendo el Sistema Investigativo de la Universidad de Santander (SI-UIS), que tiene como objetivo la promoción y regulación de la actividad investigativa que se haga en la universidad. Bajo este sistema existen los centros de investigación, los cuales se enfocan en una actividad en un área particular de investigación interdisciplinaria. Estos centros están conformados por varios grupos de investigación, que son un grupo de estudiantes, liderados por uno o más profesores, enfocados en un tema común con objetivos específicos a corto y largo plazo. Estos grupos y centros operan bajo ciertas condiciones de seguimiento de la investigación que tienen que presentar y son sujetos a las políticas académicas y de investigación impuestas por consejos y comités superiores.

Al ser la UIS el lugar donde se desarrollarán las prácticas laborales para un proyecto de carácter investigativo, no es de importancia directa hacia el trabajo sino hacia el Grupo Halley, que será el grupo de investigación con el que se desarrollará la actividad. El grupo está dirigido por el profesor Luis Núñez, quien es el asesor designado para la pasantía que se hará en el campus, y él está a cargo de “Organizar las diferentes actividades del grupo mediante el aprovechamiento eficiente del talento humano y la infraestructura disponible” y “coordinar y apoyar la participación de su grupo en convocatorias internas y externas así como en iniciativas afines a los objetivos del mismo.” Esta autoridad que se le otorga al docente es lo que permite que decida el propósito del grupo y adecúe el espacio y recursos para actividades particulares (como lo son las prácticas).



## **Acuerdo 046 de 2020, Por El Cual Se Aprueba La Política de Investigación De La Universidad Industrial De Santander**

Este complementa el acuerdo anterior al establecer reglas exactas para el proceso de investigación en sí, cosa que es llevada a cabo por los grupos mencionados. El anexo al acuerdo contiene las principales características de la política, como la transparencia, la rigurosidad científica y la correspondencia o relevancia en la sociedad. Esto va de acuerdo al plan y misión de la universidad, que declara que “apropia, utiliza, crea, transfiere y divulga el conocimiento por medio de la investigación [y] la innovación científica.”

Este artículo da garantías importantes para cualquiera que participe en actividades de investigación en la UIS, como la “integración adecuada de la infraestructura investigativa de la institución para que apoye a todos los actores involucrados” y la “Formación, consolidación e intercambio de investigadores para desarrollar procesos de investigación científica de alto impacto.” Esto permite a los estudiantes y docentes indagar en temas e investigaciones de interés sabiendo que contarán con apoyo de la institución, sea financiero, infraestructural, o de otros tipos.

## **Capítulo 5: Marco Teórico**

Este proyecto de investigación opera dentro del campo de la astrofísica, la cual es una rama importante de la física, siendo la que se encarga del estudio y comprensión de procesos, comportamientos y el origen de objetos y fenómenos espaciales. Entre estos se encuentran planetas, estrellas, satélites y otros cuerpos especiales. Junto a ellos existe una variedad de temas como la radiación, la fusión y fisión, la gravedad, y otras interacciones o comportamientos notables.

El tema central de esta investigación es el de la radiación cósmica. Este capítulo presenta información acerca de este tema como los tipos de radiación, los métodos de observación, sus características, y sus interacciones. Esta información se recopila para darle respuesta a la pregunta: ¿Cómo afecta el Sol a las propiedades del flujo de rayos cósmicos que nos llega a la tierra constantemente?

### **Historia de la Física**

Los primeros indicios de la física surgen en civilizaciones como Mesopotamia o Egipto, las cuales usaban las estrellas para contar el tiempo y las temporadas. Entre los siglos V a.C. y II, surgieron en la antigua grecia múltiples matemáticos y físicos que establecieron las bases del conocimiento científico, como Leucipo, Demócrito, Euclides, y Ptolomeo, dando origen a la geometría y teorías como la del átomo y la del heliocentrismo. Entre los siglos XV y XVII, se desafió esta última por los descubrimientos de Nicolás Copérnico, Johannes Kepler y Galileo Galilei. Estos tres científicos desarrollaron ideas como el sol como centro del sistema, las órbitas de los planetas, y los telescopios para observación astronómica, ideas las cuales son la base de el modelo actual del sistema solar (“Historia de la Física...”, 2022).

En los siglos XVII y XVIII, Isaac Newton revolucionó el campo con la ley de gravitación, las leyes de movimiento y fuerza, y el cálculo, estableciendo bases fundamentales para la física moderna. Entre los siglos XVIII y XIX, científicos como Dalton, Maxwell, Marie Curie, y otros brindaron descubrimientos clave como el átomo, la radiación, el electromagnetismo, y la conservación de energía. En el siglo XX, la física experimentó su época dorada con la creación de dos modelos fundamentales: la relatividad general de Einstein, que transformó la comprensión de tiempo y espacio, y la mecánica cuántica de Max Planck, que explica fenómenos a escalas atómicas y subatómicas (Sanchez, s.f). Además, se lograron avances en teorías como el big bang, los núcleos atómicos y tecnologías láser. Hoy, la física está en una fase experimental con herramientas como el gran colisionador de hadrones y el observatorio LIGO para descubrir nuevas partículas y fenómenos gravitacionales. El modelo estándar, creado en los años 70 y continuamente actualizado, condensa los principios fundamentales de la cuántica. La comunidad busca resolver más misterios para mejorar y actualizar el conocimiento en física. (“Historia de la Física...”, 2022).

### ***Especialidades de la Física***

- **Mecánica:** Es el estudio del movimiento de un cuerpo y las fuerzas que lo afectan. Se aplica en ingenierías y el desarrollo de máquinas. “Se trata probablemente de una de las ramas de la física que más se suelen identificar como tal” (Castillero, 2018, párr. 6).
- **Termodinámica:** Es el estudio del calor, temperatura, energía térmica y el trabajo. Es aplicado en ingenierías para sistemas como motores y coincide con la química.
- **Óptica:** Es el estudio de la luz, sus propiedades, y su energía. También analiza su percepción desde diferentes puntos de vista o focos. Las aplicaciones de esta especialidad son las tecnologías como espejos, telescopios y láseres.

- **Acústica:** Es el estudio del sonido y más específicamente la vibración, sus propiedades como onda, sus efectos, su percepción desde diferentes puntos referenciales, y el impacto en objetos o personas. Es aplicado en el campo de la medicina en herramientas como los ultrasonidos y los estetoscopios, y también para formar mapas de la topografía marina mediante sondas
- **Electromagnetismo:** Es el estudio de las interacciones eléctricas y magnéticas, la relación entre las dos, los campos electromagnéticos, y los efectos de ambas en objetos y personas. Se aplica en una variedad de máquinas y herramientas que hagan uso de la electricidad como fuente de energía .
- **Fluidos:** Es el estudio de la materia fluida, específicamente su mecánica. Un fluido se refiere al estado líquido o gaseoso, y a cualquier sustancia sin forma determinada. Se aplica en maquinaria que haga uso de fluidos, especialmente líquidos, tal como los sistemas hidráulicos .
- **Biofísica:** Es el estudio vinculado con la biología, ya que busca explicar y analizar los sistemas biológicos de los seres vivos mediante la física, estudiando la mecánica de estos. Se aplica principalmente en la medicina, ya que es esta rama la que brinda una comprensión completa del funcionamiento interno de un ser vivo .
- **Nuclear:** Es el estudio de los núcleos atómicos, las propiedades de los protones y neutrones, y tanto la fusión (unión) y fisión (desunión) nuclear. Las aplicaciones de esta son variadas, ya que puede relacionarse con la idea de energía nuclear, una alternativa renovable para generar energía. Es también el foco del estudio de estrellas, ya que la fusión y fisión son los procesos característicos de estas .

- **Mecánica Cuántica:** Es la rama de física moderna de mayor interés, siendo el estudio físico de sistemas a escala atómica y subatómica. La cuántica funciona de manera muy distinta a la mecánica clásica, y busca explicar la física al nivel más fundamental posible, siendo este la descripción del movimiento y comportamiento de las partículas más pequeñas. Su aplicación está dividida en el campo de la computación, el cual hace uso de conceptos cuánticos, y el experimental que busca desarrollar esta temprana teoría.(Castillero, 2018).

### **Astrofísica**

La astrofísica es una rama de la física que, como fue mencionado, , estudia el comportamiento de los cuerpos celestes en el espacio y lo que sucede entre ellos. Más ampliamente, es un estudio que busca la comprensión del universo. Esta rama se enfoca en planetas, estrellas, y otros tipos de materia fuera del planeta tierra. Frecuentemente coincide con la cosmología, el estudio del origen y naturaleza del universo como tal.

### ***Historia de la Astrofísica***

La astrofísica es la unión entre física y astronomía, es decir, entre la observación de los astros en el espacio exterior y la matemática que describe el comportamiento de la naturaleza. La astronomía viene existiendo desde los tiempos de la antigua Grecia, donde se observaba el cielo nocturno con el fin de comprender que era y dónde estaba en relación a nosotros. En ese momento, no había un estudio establecido donde , así que la creencia aceptada en ese entonces era la teoría del geocentrismo, en la cual la tierra era el centro del universo (Solano, 2023).

Como fue mencionado en la historia de la física, es tras los avances de Copérnico, Kepler y Galilei que se establece el modelo heliocentrista del sol como el centro orbitado por otros planetas. Este hecho, junto al desarrollo de la mecánica de Newton, logra desarrollar la

astrofísica. Ya en los siglos XIX y XX, se hicieron múltiples avances que facilitaron el estudio, como la comprensión de los procesos nucleares estelares, los rayos x y gamma, y las ondas.

### ***Características***

La astrofísica es característica por su naturaleza observacional. La mayoría de los descubrimientos clave en este campo se han hecho a partir de observar el espacio y tomar nota de los fenómenos que se vean. Los métodos de observación son variados, ya que pueden ser simplemente telescopios o máquinas que miden otros factores como temperatura o distancia. Existen telescopios que en vez de capturar imágenes, reciben ondas electromagnéticas tal como las ondas radio, lo cual revela ciertas características del emisor de la radiación.

Este campo se enfoca principalmente en los cuerpos celestes como estrellas, planetas, satélites, asteroides, y también en las estructuras mayores compuestas por estos: sistemas estelares, galaxias, y hasta cúmulos de galaxias. Además, se estudia el material básico del espacio, el cual da forma a estructuras como nebulosas o las mismas estrellas (Solano, 2023). A la fecha, se han enviado unas 21 sondas espaciales, las cuales toman fotografías, capturan radiación o luz, y nos transmiten información de vuelta a la tierra sobre los astros por los que pasan (Bertran, s.f).

### ***En Colombia***

La astrofísica, y en general la física, tomaron tiempo en llegar a Colombia, dado a que sus avances reales surgieron en Europa. Antes de la llegada de Colón, los únicos rastros que existían son los calendarios de los Muisca. Desde 1492 hasta finales del siglo XVIII, no existía realmente ningún interés científico en la época colonial, ya que los avances de ese periodo, es decir, la teoría del heliocentrismo de Copérnico, iban directamente en contra de las creencias impuestas por una corona española altamente religiosa (Castillo, 1984).

No fue sino hasta finales del siglo XVIII que llegó José Celestino Mutis, con la misión de catalogar la fauna y flora del país, quién tuvo la iniciativa de construir un observatorio modelado en los que había en la Europa de la época. En 1805, apuntó a Francisco José de Caldas para estar a cargo del observatorio. Este último era también botánico y hacía trabajos cartográficos. Este es la fuente de las primeras observaciones astronómicas y meteorológicas del país, y es el primero moderno construido en las Américas (Cosoy, 2016).

A mediados del siglo XIX, Jose María González Benito se convierte en el director del observatorio, y es considerado por algunos como el primer astrónomo moderno de la nación. Entre su trabajo destacan observaciones sobre cometas. Este espacio ha sobrevivido múltiples conflictos internos, como el bipartidismo y el Bogotazo. Hoy en día hace parte de la Universidad Nacional de Colombia (Cosoy, 2016).

### **Rayos Cósmicos**

Los rayos cósmicos son partículas subatómicas que viajan por el espacio con alta velocidad y energía, impactando a la tierra miles de veces cada segundo (“¿Qué Son Los Rayos...”, s.f).

#### ***En qué Consisten***

Estas partículas subatómicas son compuestas principalmente por “(89%) protons – nuclei of hydrogen, the lightest and most common element in the universe – but they also include nuclei of helium (10%) and heavier nuclei (1%), all the way up to uranium.” [89% en protones; el núcleo del hidrógeno, el elemento más ligero y común en el universo; también incluyen núcleos de helio en un 10% y núcleos más masivos en un 1%, hasta llegar al uranio] (European Organization for Nuclear Research, s.f, párr. 2). Las partículas viajan a una velocidad cercana a

la de la luz, un poco debajo de los 299,792,458 metros por segundo. Estos rayos causan “lluvias” de partículas y de radiación que llega a la superficie de la tierra.

### ***Descubrimiento***

El descubrimiento de los rayos cósmicos comienza en 1912, cuando el científico Victor Hess voló en globo aerostático hasta llegar a alturas superiores a los 5000 metros. “registraba a través de electros copios un aumento significativo de cargas libres en la atmósfera; las moléculas de aire perdían electrones haciéndose conductores de electricidad.” Esto sugería que había un nivel inusualmente alto de ionización, es decir, un evento que convirtiera los átomos de la atmósfera en iones con cargas diferentes (positivas en este caso). “Estas mediciones demostraron la existencia de lo que Hess llamó “radiación penetrante proveniente del espacio”, pero no aportaron claves definitivas sobre su naturaleza” (“Historia de la Investigación...”, s.f, párr. 2).

El físico Robert Milikan los bautizó como rayos cósmicos, “porque sospechaba que se trataba de rayos gamma, la radiación electromagnética más penetrante conocida en esa época. Pero fue creciendo la evidencia de que los rayos cósmicos eran, en realidad, en su mayoría partículas energéticas con masa.” (“Historia de la Investigación...”; s.f, párr. 3). Los siguientes avances respecto a los rayos cósmicos consistieron en identificar los tipos de partículas creadas por las previamente mencionadas “lluvias”. Una serie de descubrimientos de comenzó cuando Carl Anderson descubrió el positrón en 1932, “una partícula exactamente igual al electrón pero con carga opuesta, positiva.” y “Seth Neddermayer y Carl Anderson descubrieron la partícula subatómica llamada muón en los rayos cósmicos” (“Historia de la Investigación...”, s.f, párr. 4). Esta última se profundizará más adelante en este marco.

Durante el resto del siglo XX, se usaron observatorios para detectar los impactos de estas partículas. “El primer rayo cósmico con energía alrededor de  $10^{20}$  eV (electronvoltio; una unidad



de energía) fue detectado por John Linsley en el arreglo de superficie del Instituto Tecnológico de Massachusetts ubicado en Volcano Ranch (Nuevo México, EEUU), en febrero de 1962” (“Historia de la Investigación...”, s.f, párr. 7). Solamente fue superada por la famosa partícula “Oh-My-God”, descubierta por el grupo de investigación “Fly’s Eye (Ojo de Mosca) en los Estados Unidos [quien] observó un evento de rayo cósmico con una energía de  $3 \times 10^{20}$  eV” (“Historia de la Investigación...”, s.f, párr. 9). Por referencia, es mayor a la cantidad de energía que tiene un ladrillo que se deja caer al piso desde la altura de la cintura (Hunt, 2023).

### ***Tipos por Orden de Jerarquía***

Los rayos cósmicos se dividen en primarios y secundarios por su orden de sucesión, es decir, primero suceden los rayos primarios, y acto seguido suceden los rayos secundarios.

**Rayos Primarios.** El Dr. Upakul Mahanta (s.f) de la Universidad de Bhadattev, India, afirma que “Primary Cosmic Rays are stable charged particles that have been accelerated to enormous energies by astrophysical sources somewhere in our universe. They must be stable, in order to survive the long trips through interstellar space.” [Los rayos cósmicos primarios son partículas cargadas y estables que han sido aceleradas a energías enormes por fuentes astrofísicas en algún lugar del universo] (p.1-2). Como se había mencionado, la gran mayoría de partículas son protones individuales, seguidas de una porción de núcleos de helio con dos protones y dos neutrones. El resto son núcleos compuestos de átomos más pesados, que tienen más partículas y finalmente unos pocos electrones. Por ejemplo, un núcleo de oxígeno, por ejemplo, está compuesto por ocho neutrones y ocho protones.

**Rayos Secundarios.** Una partícula que compone a un rayo primario pasa a ser uno secundario cuando este llega a la atmósfera terrestre. Mahanta (s.f) los describe:

When primary cosmic rays enter the Earth's atmosphere they collide with atoms and molecules, mainly oxygen and nitrogen. This shatters the nuclei of the gases into smaller pieces, the process is called spallation and thereby produces a cascade of lighter particles which travel down through the earth's atmosphere towards the earth's surface. [Cuando los rayos cósmicos primarios entran a la atmósfera de la tierra, chocan con átomos y moléculas, principalmente el oxígeno y el nitrógeno. Esto descompone los núcleos de los gases en piezas más pequeñas; este proceso es denominado espalación y por ende produce una cascada de partículas más ligeras que viajan hacia abajo a través de la atmósfera de la tierra hacia la superficie de la tierra]. (p.2)

A continuación se explican los tipos de partículas que se encuentran en un rayo cósmico secundario.

**Nucleones.** Un nucleón es definido como “toda aquella partícula constituyente del núcleo atómico: neutrones y protones.” (“Nucleón”, s.f, párr. 1). Como fue establecido por el Dr. Mahanta, los núcleos son descompuestos en sus partes más pequeñas. Un caso de esto viene siendo un núcleo que puede convertirse en los protones y neutrones que lo componen o puede convertirse en núcleos más pequeños. Por ejemplo, si un núcleo de oxígeno (8 neutrones y 8 protones) perdiera seis protones y seis neutrones, se convertiría en una partícula alfa, de dos protones y neutrones, mientras que el resto viajan de manera individual.

**Mesones.** Son un tipo de partícula diferente a la materia usual de protones y neutrones. Estos últimos dos están compuestos por 3 quarks, una de las partículas fundamentales de la física. Los mesones, por otro lado, “son partículas compuestas de un número par de quarks y antiquarks” (“Mesón”, s.f, párr. 2). El antiquark se relaciona al concepto de la antimateria, que es

idéntica a la materia pero con algunas características diferentes, como una carga opuesta. El concepto completo de la antimateria no es de alta relevancia para esta investigación, así que no se profundizará. En los rayos cósmicos secundarios, se puede formar el pión, que es “el primer mesón verdadero en ser descubierto” (“Mesón”, s.f, párr. 3) y el Kaón, siendo estos los tipos de mesones más comunes.

**Leptones.** Son otro tipo de partícula, esta vez siendo una fundamental. No están “hechos” de nada. Estos “forman parte de una familia de partículas elementales conocida como la familia de los fermiones, al igual que los quarks” y “no experimenta interacción fuerte” (“Leptón”, s.f, párr. 1). En esta categoría se encuentra el electrón, un producto común de las lluvias de partículas causadas por los rayos cósmicos. Otras partículas que se pueden observar de esta categoría en lluvias cósmicas son el positrón, muón, y los neutrinos. El positrón es la antimateria equivalente al electrón, es decir, uno con carga positiva. El muón es otra partícula, que “Posee carga eléctrica negativa, como el electrón, aunque su masa es 200 veces mayor, y su vida es algo más larga que otras partículas inestables ( $2.2\mu\text{s}$ )” Este último número corresponde a unas dos millonésimas de segundo (“Muón”, s.f, párr. 1).. Finalmente, los neutrinos están presentes en los rayos secundarios, siendo estas partículas de carga neutra y un valor de masa “muy pequeño habiéndose obtenido tan sólo cotas superiores con valores aproximadamente 200.000 veces más pequeños que la masa del electrón. Además, su interacción con las demás partículas es mínima por lo que pasan a través de la materia ordinaria sin apenas perturbarla” (“Neutrino”, s.f, párr. 1).

**Fotones.** Frecuentemente llamado la partícula de luz, es una partícula fundamental que no hace parte de la materia, sino que es “responsable... del fenómeno electromagnético. Es la partícula portadora de todas las formas de radiación electromagnética, incluyendo a los rayos gamma, los rayos X, la luz ultravioleta, la luz visible, la luz infrarroja, las microondas, y las

ondas de radio” (“Fotón”, s.f, párr. 1). Para entender a un nivel superficial la formación de fotones (y por extensión electrones y positrones) en rayos secundarios, es necesario hacer referencia a la famosa ecuación de Albert Einstein,  $E = mc^2$ . A grandes rasgos, esta ecuación establece que la masa (m) y la energía (E) de una partícula tienen una relación matemática mediada por una constante de la velocidad de la luz al cuadrado, ( $c^2$ ), y que son realmente dos formas intercambiables. Significa que la masa de un objeto “incluso si no cambia, es equivalente a una enorme cantidad de energía, ya que la constante de proporcionalidad,  $c^2$ , el cuadrado de la velocidad de la luz en el vacío, es un número enorme” (Tomé, 2018, párr. 6). En otras palabras, “la masa en sí misma es una medida de una cantidad equivalente de energía” (Tomé, 2018, párr. 4). Los fotones (energía) se forman al juntarse un electrón y un positrón (masa), debido a un proceso denominado aniquilación. Este se conoce como “encuentro de una partícula material con su respectiva antipartícula lo que produce la aniquilación de ambas para producir o energía” (“Aniquilación partícula-antipartícula”, s.f, párr. 1). Partiendo de la ecuación de Einstein, la masa total del electrón y el positrón se convierte en la cantidad de energía respectiva que tendrán los dos fotones en total, es decir, la masa multiplicada por la velocidad de la luz al cuadrado. Este proceso se puede revertir, donde dos fotones pueden crear un par de electrón-positrón.

### **Interacciones**

Las interacciones de los rayos cósmicos con la materia son una fuente de información muy valiosa para el estudio de estos. Es a través de las interacciones que se observan los comportamientos de los rayos y se detecta su presencia.

#### ***Interacción con el Sol***

La interacción de los rayos cósmicos con el sol, especialmente los galácticos, brinda información relevante sobre la frecuencia, energía y dirección de estos. Además, es una parte

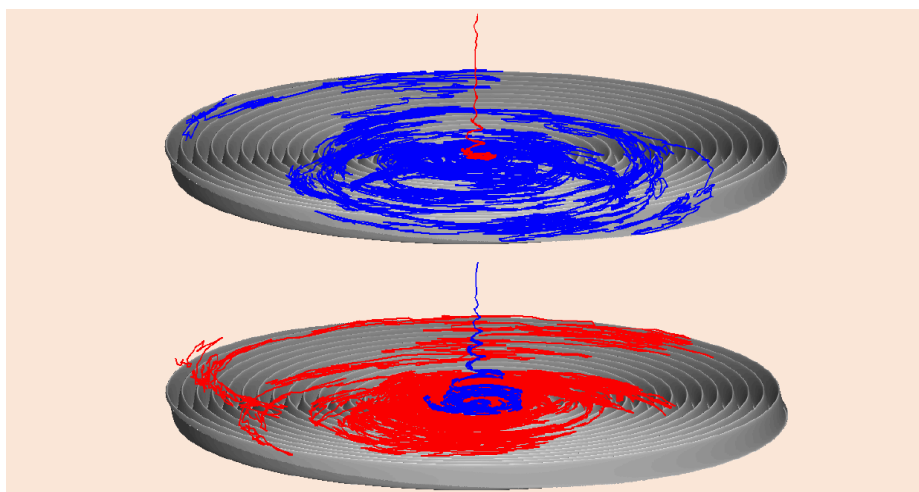
central para responder la cuestión principal de este proyecto, donde se analizan los efectos del sol. Más adelante se hablará sobre la procedencia de los rayos cósmicos, pero esta sección trabaja con los que se hayan formado fuera del sistema solar, y viajan hasta interactuar con este último. Las partículas de los rayos interactúan con el campo magnético del sol, afectando de manera diferente a cada partícula presente en un rayo cósmico.

El campo magnético es “la representación matemática del modo en que las fuerzas magnéticas se distribuyen en el espacio que circunda a una fuente magnética” (Coluccio, párr. 1, 2021). Es una región del espacio que rodea a un objeto que ejerce una fuerza magnética. La dirección de la esta depende del objeto con el que interactúa, ya que si tienen la misma polaridad, hay una fuerza que repele, y si tienen polaridad opuesta, atrae. El magnetismo cuenta con dos polaridades, denotadas como polo norte y sur, o positivo y negativo, respectivamente (Coluccio, 2021).

Como fue establecido, las partículas más comunes en los rayos primarios son los protones, junto a unos pocos electrones. Al tener ambas una carga, interactúan con el campo electromagnético, y por ende son afectadas por el magnetismo solar. La figura 1.1 es una representación de cómo el campo magnético difunde a los electrones y protones. En un campo con polaridad norte o positiva, como el campo superior en la imagen, la atracción sucede con las partículas de carga negativa, es decir, los electrones (azul). En uno de polaridad sur o negativa, la atracción sucede a los protones de carga positiva (rojo). El efecto de difusión surge al haber magnetismo uniforme, donde hay una distribución de fuerzas magnéticas uniformes. De esta manera, las partículas que interactúan con el campo son esparcidas en el espacio cubierto por la fuerza. El impacto de esta difusión se analizará a continuación.

### Figura 1.1

*Ilustración de la difusión de partículas en el campo magnético*



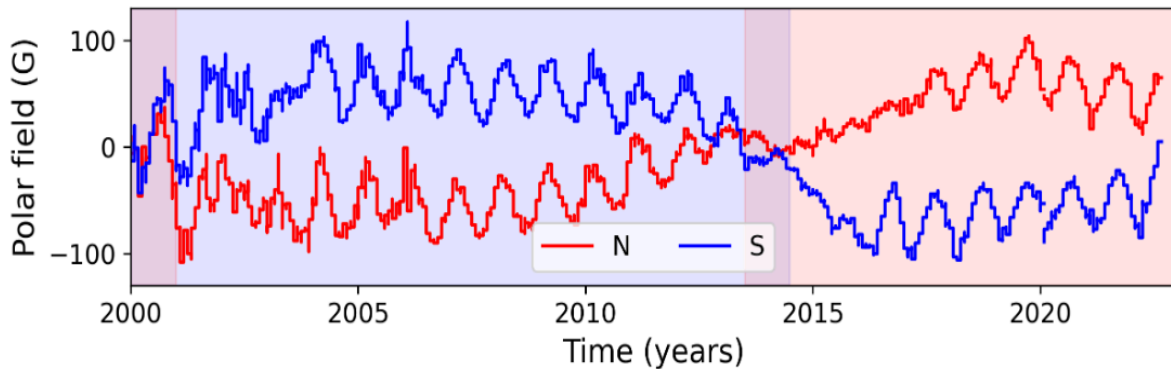
*Nota.* Esta figura ilustra cómo el campo magnético difunde a los electrones (en azul) y a los protones (en rojo). La ilustración superior muestra la difusión cuando el campo es positivo, y la ilustración inferior muestra la difusión cuando el es negativo.

Tomado de *Disentangling the Sun's Impact on Cosmic Rays* por R. Du Toit Strauss y N. Eugene Engelbrecht, 2023, (<https://physics.aps.org/articles/v16/62#c2>). Todos los derechos reservados (2024) por The American Physical Society. Reproducido con permiso de la organización (fin educativo).

Con esto establecido, es importante explicar en qué momentos se presentan los campos magnéticos con carga positiva o con carga negativa. El observatorio solar de Wilcox en California tomó datos experimentales acerca de la polaridad del campo magnético solar. Los resultados se evidencian en la figura 1.2.

### Figura 1.2

*Polaridad de los campos magnéticos solares*



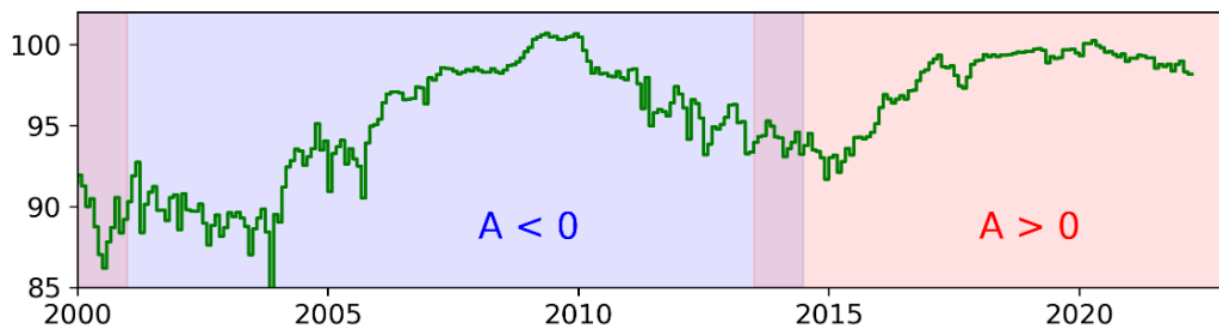
*Nota.* La gráfica muestra la magnitud (medida en Gauss) de los campos magnéticos norte (N) y sur (S) que representan qué polaridad predomina en el campo, comparado con el tiempo (medido en años). Tomado de *Disentangling the Sun's Impact on Cosmic Rays* por R. Du Toit Strauss y N. Eugene Engelbrecht, 2023, (<https://physics.aps.org/articles/v16/62#c2>). Todos los derechos reservados (2024) por The American Physical Society. Reproducido con permiso de la organización (fin educativo).

La gráfica revela que en un ciclo de alrededor de 22 años, la polaridad del campo magnético solar se invierte, pasando de norte a sur. Juntando esto con la información de la figura 1, se puede concluir que la cantidad de protones o electrones que se difunden depende del momento en el que se mide. Durante la década de los 2000 y la primera mitad de los 2010, sucedió una mayor difusión de protones, ya que la polaridad predominante durante ese periodo de tiempo era sur. Desde 2015 hasta después de 2020, son los electrones que han sufrido mayor atracción.

El impacto de este comportamiento cíclico en la abundancia de rayos cósmicos fue registrado por el monitor de neutrones de Hermanus en Sudáfrica, presentado en la figura 1.3.

**Figura 1.3**

*Conteo de rayos cósmicos realizado por el monitor de neutrones de Hermanus*



*Nota.* La gráfica muestra el conteo de rayos cósmicos detectados por el monitor de neutrones de Hermanus a través de las últimas dos décadas. Tomado de *Disentangling the Sun's Impact on Cosmic Rays* por R. Du Toit Strauss y N. Eugene Engelbrecht, 2023, (<https://physics.aps.org/articles/v16/62#c2>). Todos los derechos reservados (2024) por The American Physical Society. Reproducido con permiso de la organización (fin educativo).

Esta gráfica coincide con la figura 1.2 de una manera algo compleja. El campo magnético del sol es negativo principalmente entre 2005 y 2010, y es positivo desde 2015 a 2020. Estos intervalos también se notan en la figura 1.3, y es en estos periodos que se muestra la mayor detección de rayos cósmicos. Por otro lado, existe un periodo en la figura 1.2 un poco antes del 2015 donde el polo del está cerca de cero, es decir, cuando la magnitud del campo magnético norte y sur son equivalentes. Esto se refleja en una reducción del conteo de rayos cósmicos de la figura 1.3, en ese mismo momento.

Se puede concluir que en general, cuando el campo magnético es predominantemente positivo o predominantemente negativo, hay más rayos cósmicos que impactan a la tierra. Sin embargo, cuando ambos polos se igualan en magnitud, se ve una reducción en la cantidad de rayos detectados. El doctor R. Du Toit Strauss (2023), quien también desarrolló las 3 figuras



anteriores, afirma que cuando la polaridad es positiva, “positively charged particles drift toward the Sun... while electrons mainly drift along the heliospheric current sheet” [las partículas positivamente cargadas se desplazan hacia el sol, mientras que los electrones se desplazan principalmente por la corriente heliosférica difusa] (párr. 3,). Esta corriente heliosférica difusa es una estructura que “se origina en el Sol y se extiende hasta los confines de la Heliosfera” (Arrazola, 2022, párr. 1/resumen). Los electrones se mueven a través de esta estructura, esparciéndose hacia el sistema solar y sus planetas, incluyendo la tierra. Como fue establecido los protones y electrones intercambian su comportamiento cuando cambia la polaridad. Cabe añadir que los neutrones reaccionan de manera muy débil al magnetismo, así que esta interacción suele ser inválida.

### ***Interacción con Atmósfera***

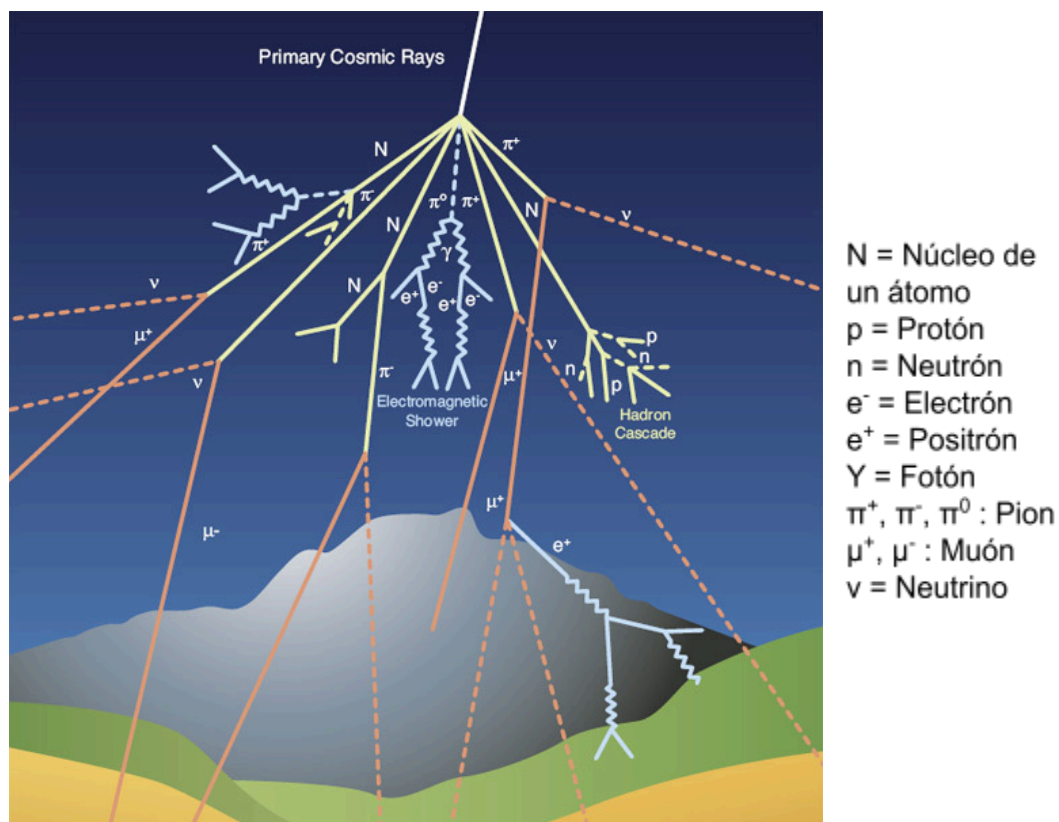
Por definición, los rayos secundarios se forman cuando un rayo primario entra a la atmósfera y experimenta una colisión con los átomos presentes en ella, descomponiéndose así en partículas más pequeñas. Son estas las que se detectan en la superficie, y revelan mucha información acerca de la composición del rayo, así como su energía. A continuación se explicará la interacción mediante una serie de diagramas.

### ***Análisis de Diagrama.***

La figura 1.4 es una imagen comúnmente utilizada para representar la lluvia de partículas causada por un rayo cósmico, al estilo de un diagrama de Feynman. Se desglosará esta parte por parte, para comprender el comportamiento y composición de los rayos cósmicos secundarios.

## **Figura 1.4**

*Interacciones entre partículas en un rayo cósmico secundario*



*Nota.* Este tipo de diagrama describe cómo cambian y se crean partículas nuevas después de que un rayo cósmico golpee la atmósfera. Tomado de *Rayos Cósmicos*, por Pablo García Abia, CERN,

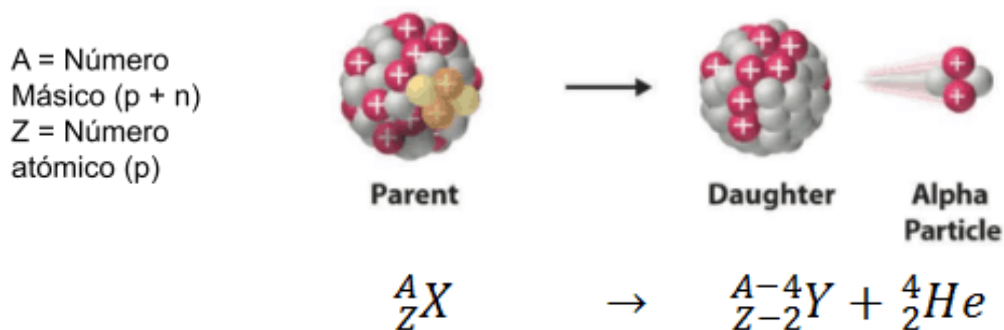
(<https://indico.cern.ch/event/572737/contributions/2612066/attachments/1482662/2299945/PGA-Rayos-cosmicos.pdf>). © 2024 CERN (fin educativo).

Como se ha mencionado, el rayo primario es la partícula original, viajando desde el espacio a la tierra. En la gran mayoría de rayos, esto es un protón o una partícula alfa. En la figura, el rayo primario es la línea blanca en la parte superior de la imagen. Este se divide al hacer impacto con un átomo de la atmósfera, creando múltiples rayos secundarios, que son las líneas de otros colores.

Las líneas amarillas representan a los hadrones, que són una clasificación de “partícula subatómica que experimenta la fuerza nuclear... y están compuestas de: fermiones llamados quarks y antiquarks” (“Hadrón”, s.f, párr. 1). Aquí entran los nucleones y mesones previamente mencionados. La letra N representa a los núcleos de átomos, compuestos de protones y neutrones. Las líneas que corresponden a estos núcleos se dirigen hacia abajo y se abren múltiples, indicando un tipo de descomposición. A la derecha, un núcleo N se descompone en algunos neutrones n y protones p, formando una cascada de hadrones, como lo indica la figura en inglés. Esto se debe a la desintegración alfa (figura 1.5) y la desintegración beta (figura 1.6), las cuales hacen que el núcleo original o padre pierda protones y neutrones.

**Figura 1.5**

*Diagrama de desintegración alfa*



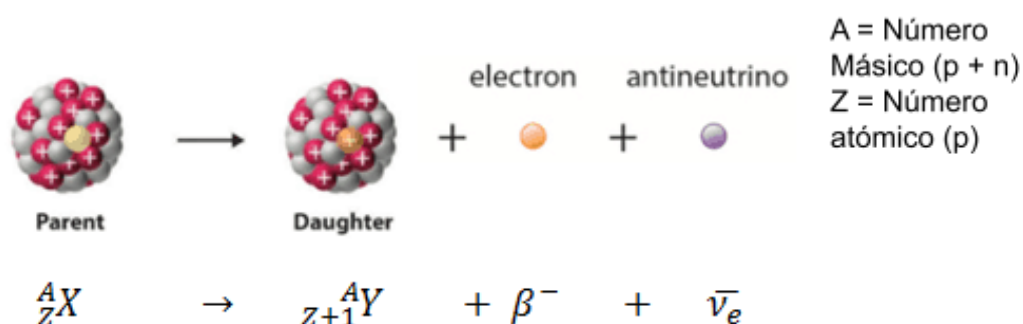
*Nota.* El diagrama representa un núcleo que pierde 2 protones y 2 neutrones, soltando así una partícula alfa. Tomado de *Alpha Decay – Alpha Radioactivity*, Nuclear Power,

(<https://www.nuclear-power.com/nuclear-power/reactor-physics/atomic-nuclear-physics/radioacti>

[ve-decay/alpha-decay-alpha-radioactivity](#)). Todos los derechos reservados 2024 por Nuclear Power. Reproducido con permiso del autor (fin educativo).

**Figura 1.6**

*Diagrama de desintegración beta*



*Nota:* El diagrama representa un núcleo que pierde un electrón (partícula beta) y un antineutrino.

Tomado de *Negative Beta Decay – Electron Decay*, Nuclear Power,

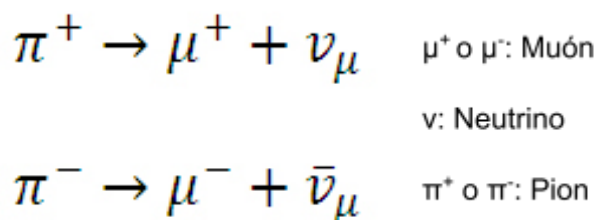
(<https://www.nuclear-power.com/nuclear-power/reactor-physics/atomic-nuclear-physics/radioactive-decay/beta-decay-beta-radioactivity/negative-beta-decay-electron-decay/>). Todos los derechos reservados 2024 por Nuclear Power. Reproducido con permiso del autor (fin educativo).

A la izquierda de la figura 1.4, se observa que otro núcleo N se descompone en un fotón, y dos partículas  $\pi^{-}$  y  $\pi^{+}$ , que son ambos piones, uno con carga positiva y el otro negativa. A la derecha del choque original, también se observa un pion  $\pi^{+}$ . La figura 1.7 muestra el proceso de la desintegración de los dos tipos de piones. Este coincide con la figura 1.4, donde las líneas del

$\pi^+$  se separan en dos: un  $\mu^+$ , el cual representa a un muón, y  $\nu$ , que representa al neutrino correspondiente al muón, estando ambos en líneas naranjas. Para el pion  $\pi^-$ , sucede lo mismo, solo que el muón formado es un  $\mu^-$  esta vez. Comparados a los mesones como el pion, el muón es mucho más estable, y a pesar de que sigue siendo un tiempo de vida casi insignificante, puede llegar a la superficie terrestre, trayendo consigo carga eléctrica, como lo hace un electrón.

### Figura 1.7

*Desintegración de piones cargados en muones y neutrinos*



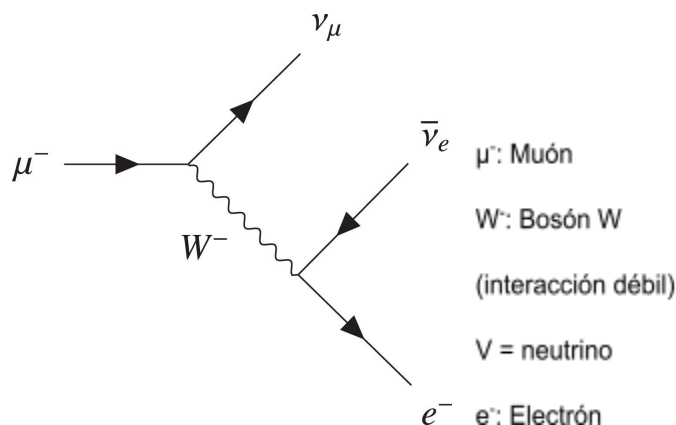
*Nota.* El diagrama representa, al estilo de una reacción, como un pión se desintegra, formando los productos de un muón  $\mu^+$  o  $\mu^-$  y un neutrino  $\nu$ , dependiendo de si el pión es  $\pi^+$  o  $\pi^-$ . Tomado de *Pion Decay – Solution Not*, Tabor Electronics, (<https://www.taborelec.com/Pion-Decay-Solution-Not>) Todos los derechos reservados 2021 por Tabor Electronics Ltd. Reproducido con permiso del autor (fin educativo).

Sin embargo, el muón también puede desintegrarse mediante la interacción débil, intercambiando un bosón  $W^+$ , cosa que sucede con el muón  $\mu^+$  de la derecha y abajo, que se abre en tres nuevas líneas. La figura 1.8 es un ejemplo de esto, donde dos de esas son neutrinos  $\nu$ , representados por las líneas naranjas punteadas de la figura 1.4, y uno es un electrón  $e^-$ . Este es

similar al proceso de la región derecha inferior de la figura 1.4, solo que este sucede con cargas negativas en vez de positivas.

### Figura 1.8

*Desintegración de un muón en dos neutrinos y un electrón*



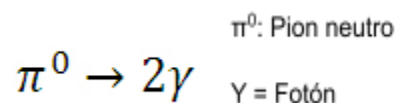
*Nota.* El diagrama de Feynman representa como un muón  $\mu^-$  se desintegra por la interacción débil, creando dos neutrinos  $\nu$  y un electrón  $e^-$ . Tomado de *Experimental searches for muon decays beyond the Standard Model* (p.3) por Francesco Renga, 2019, ScienceDirect, (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405428318300601>).CC BY-NC-ND 4.0

Finalmente, están las líneas azules en el centro de la figura 1.4 y en la derecha inferior. Hay un tercer pion, que es  $\pi^0$ . El proceso de desintegración de este se muestra en la figura 1.9, donde el pion se descompone, formando dos fotones. Como fue mencionado, un par de estos puede revertir el proceso de aniquilación de electrón y positrón (figura 1.10), esta vez formándose a partir de un fotón (figura 1.11). La aniquilación y formación del par electrón-positrón suceden de manera cíclica, siempre y cuando tengan suficiente energía para que el choque suceda. En la figura 1.4, el electrón se denota como  $e^-$ , el positrón como  $e^+$  y el fotón

con una Y acompañado de líneas onduladas. Los fotones generados en la parte izquierda superior del diagrama se crean en la desintegración del núcleo N ya mencionado, que también crea dos piones. Este fotón es el resultado de la desintegración gamma (figura 1.12), donde un núcleo de alta energía libera fotones en una reducción energética y mejora su estabilidad.

### Figura 1.9

*Desintegración de un pion neutro en dos fotones*



*Nota.* El diagrama representa, al estilo de una reacción, como un pión  $\pi^0$  se desintegra en dos fotones idénticos  $\gamma$ . Tomado de *Pion Decay – Solution Not*, Tabor Electronics,

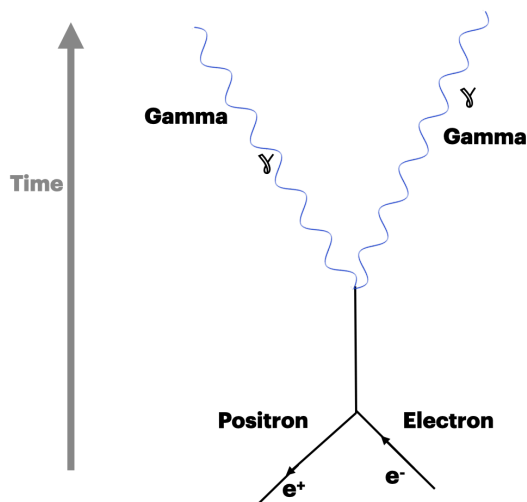
(<https://www.taborelec.com/Pion-Decay-Solution-Not>) Todos los derechos reservados 2021 por

Tabor Electronics Ltd. Reproducido con permiso del autor (fin educativo)

### Figura 1.10

*Diagrama de Feynman de aniquilación de un par electrón-positrón en dos fotones*

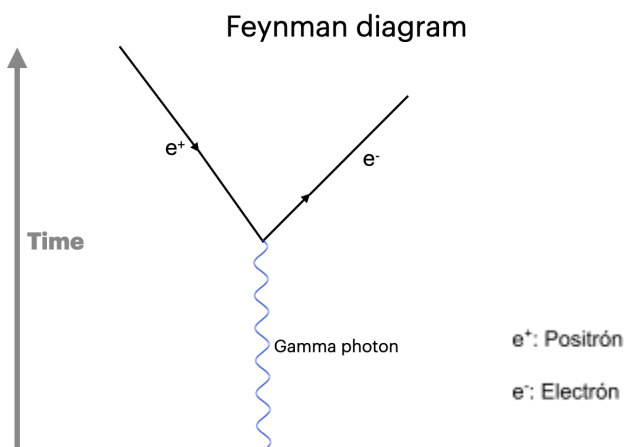
**Feynman diagram  
of annihilation**



*Nota.* Este diagrama representa como un positrón  $e^+$  y un electrón  $e^-$  se chocan, y de ahí surgen dos fotones  $\gamma$ . Tomado de *Pair production and annihilation* por Roger Linsell, 2021, Fizzics Organization, (<https://www.fizzics.org/pair-production-and-annihilation/>). Todos los derechos reservados 2021 por The Fizzics Organization. Reproducido con permiso del autor (fin educativo).

**Figura 1.11**

*Diagrama de Feynman de formación de un par de electrón-positrón a partir de un fotón*

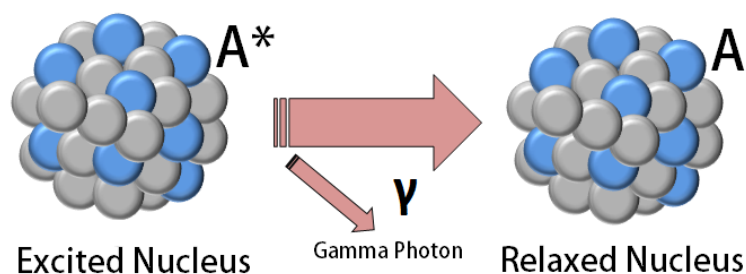




*Nota.* Este diagrama representa como un fotón con energía se convierte en un par de electrón  $e^-$  y positrón  $e^+$ . Tomado de *Pair production and annihilation* por Roger Linsell, 2021, Fizzics Organization, (<https://www.fizzics.org/pair-production-and-annihilation/>). Todos los derechos reservados 2021 por The Fizzics Organization. Reproducido con permiso del autor (fin educativo).

### Figura 1.12

*Diagrama de desintegración gamma*



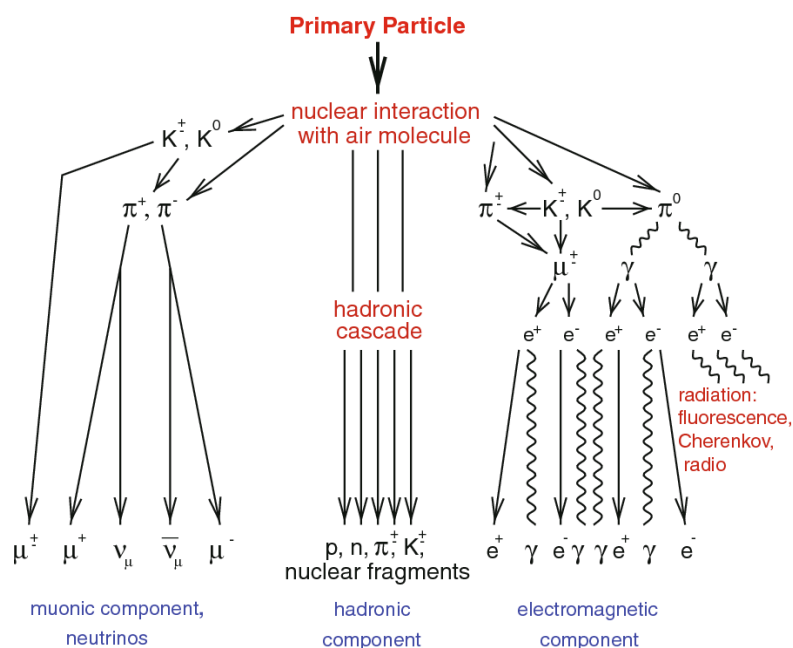
*Nota.* Este diagrama representa a un núcleo  $A^*$  de alta energía que libera un fotón  $\gamma$  y así se estabiliza. Tomado de *Gamma Decay*, Energy Education, ([https://energyeducation.ca/encyclopedia/Gamma\\_decay](https://energyeducation.ca/encyclopedia/Gamma_decay)). CC BY-SA 4.0

Con eso, ya se cubren todos los procesos mostrados en la figura 1.4. Se puede observar que “most of the secondary cosmic rays (such as the pion and kaon) are too short-lived to actually reach the surface of the earth. Thus, their decay products are what will actually be detected when using our particle detector.” [la mayoría de los rayos cósmicos secundarios (tales como el pion y el kaón) son demasiado efímeros para realmente llegar a la superficie terrestre. En consecuencia, sus productos tras la desintegración son lo que realmente serán detectados] (Dittrich, 2020). Se pueden apreciar en la figura 1.13 las 3 categorías de partículas que resultan

de una lluvia. En el ejemplo de la figura 1.4, el componente de muones está compuesto por los tipos  $\mu^+$  y  $\mu^-$ , y sus neutrinos (que son irrelevantes, ya que no interactúan mucho con la materia) (“Neutrino”, s.f). Por otro lado, el componente de hadrones se redujo a simplemente protones y neutrones, tanto individualmente como juntos en un núcleo. Finalmente, el componente electromagnético está compuesto por el previamente mencionado ciclo entre aniquilación y formación de electrones y positrones, junto a los fotones que producen y descomponen. Con esto se puede concluir que las partículas relevantes para la detección de rayos cósmicos son: Protones, neutrones, muones, electrones, positrones y fotones.

**Figura 1.13**

*Diagrama general de partículas en un rayo cósmico secundario*



*Nota.* Este diagrama muestra y clasifica los tipos de partículas que pueden estar presentes en un rayo cósmico secundario. Tomado de *Instruments and Methods for the Radio Detection of High Energy Cosmic Rays* por Frank Schröder, 2012, Semantic Scholar,

(<https://www.semanticscholar.org/paper/Instruments-and-Methods-for-the-Radio-Detection-of-Sc-hr%C3%B6der/f76ef6aefb0f85c3f4341bb30344fe8519c1d6d7>). Tomado con permiso de autor para fin académico.

## **Métodos de Observación**

A continuación se listan los métodos comúnmente utilizados para detectar la presencia de estos rayos. Es importante tener en cuenta que unos son más modernos que otros, pero en general cada tipo de detección tiene su propio contexto apropiado.

### ***Directa***

Este método de detección es generalmente el más común pero a la vez el que menos información genera, ya que “Los rayos cósmicos con menos energía, que son los más abundantes, son usualmente estudiados con pequeños detectores en globos y satélites” (“Midiendo los Rayos Cósmicos”, s.f, párr. 5). La forma tradicional de este método es la que usó Victor Hess cuando descubrió la presencia de los rayos en un globo a gran altura. El instrumento clave aquí es el electroscopio, que es un dispositivo para la detección de cargas eléctricas. El funcionamiento, en corto, consiste en láminas de aluminio sensibles a la electricidad.

Cuando un objeto cargado eléctricamente se acerca a la esfera del electroscopio, la vara se electriza y las láminas de aluminio, si se cargan con el mismo signo, se separan ya que se repelen... Si las láminas de aluminio se juntan, en cambio, quiere decir que el electroscopio y el objeto acercado a la esfera cuentan con signos opuestos. (Perez y Gardey, 2022, párr. 3)

Al detectar la carga eléctrica de la atmósfera a esa altura, se puede detectar la presencia de ionización, donde una parte de la atmósfera tuvo una alteración de carga gracias al rayo cósmico.

Una versión moderna de esta detección es provocar “la interacción de las partículas de los rayos cósmicos con algún material de comportamiento conocido, y luego se estudian los productos resultantes del choque”, usando “dispositivos ...que suelen basarse en el destello que se produce cuando un rayo cósmico atraviesa el material que conforma el núcleo del detector. El estudio del destello permite deducir parámetros como la velocidad, energía y dirección del rayo cósmico” (“Detectores de Rayos Cósmicos”, s.f, párr. 1).

### ***Indirecta***

La detección indirecta de los rayos cósmicos se refiere a la localización de sus subproductos, es decir, las partículas secundarias, en la superficie terrestre, en vez de en la atmósfera.

**Detección de Radiación Electromagnética.** La radiación electromagnética se refiere al campo electromagnético mediado por los fotones liberados en estos rayos cósmicos como producto de la aniquilación positrón electrón. “Hay detectores de radiación Cherenkov (telescopios Cherenkov) que analizan el destello de luz ultravioleta que surge en la desintegración” (“Detectores de Rayos Cósmicos”, s.f, párr. 1). Estos telescopios detectan los fotones previamente mencionados, que al tener alta energía, pertenecen a la radiación ultravioleta, la cual es más energética que la luz visible.

**Detección de Partículas Secundarias.** Como fue mencionado en las interacciones con la atmósfera, los rayos liberan múltiples partículas de materia, como los protones, neutrones y electrones, así como otras menos comunes como los muones y neutrinos.

Existen “aparatos (matrices de detectores de centelleo) [que] captan los electrones o incluso los muones generados en cascada cuando el rayo cósmico incide sobre el aire. Se deduce de este modo, de manera aproximada, la dirección de procedencia del rayo y su energía” (“Detectores de Rayos Cósmicos”, s.f, párr. 1). Las matrices de centelleo están diseñadas para detectar la electricidad generada por leptones que se observaron como parte del rayo secundario.

Otro ejemplo son los detectores HiSPARC de Inglaterra. Estos funcionan a partir de unas placas que titilan luz cuando reciben una dosis elevada de energía. Esta es convertida en una corriente eléctrica que se registra. La esencia del detector está en que para que sea un rayo cósmico, deben haber varias de esas corrientes eléctricas, ya que solo uno tiene suficiente energía para activar ese destello en varias placas a la vez. (“Cosmic Rays”, Institute of Physics, s.f).

Hay observatorios que cuentan con múltiples herramientas para detectar ambas de estas categorías, como el observatorio Pierre Auger.

El Observatorio Pierre Auger presenta un diseño experimental híbrido, ya que combina dos técnicas distintas y complementarias: un sistema de telescopios de fluorescencia, que observan la luz producida por la cascada al atravesar la atmósfera y un arreglo de detectores de superficie que registran la llegada de las partículas secundarias a nivel del suelo. (“¿Qué Son Los Rayos...”, s.f, párr. 10)

Es con esta colección de métodos y detectores que se sabe sobre los rayos cósmicos, y cómo se estudian hoy en día.

### **Causas y Efectos de Rayos Cósmicos**

Definir tanto el origen como el impacto de los rayos cósmicos es de gran importancia para la comprensión de ellos, ya que le brinda a la comunidad científica respuestas acerca de la naturaleza de las partículas y su comportamiento cuando llegan a la tierra.

### ***Origen***

Su origen sigue teniendo múltiples incógnitas, ya que solo se puede identificar la procedencia de unos pocos. “For all but the highest-energy cosmic rays (which remain largely unaffected by the magnetic fields), astronomers cannot simply trace the path of the cosmic rays back to their origin” [Para todos los rayos cósmicos menos los de más alta energía (que son poco afectados por los campos magnéticos), los astrónomos simplemente no pueden trazar el camino del rayo cósmico de vuelta a su origen] (“Cosmic Rays”, Cosmos s.f, párr. 3). Aún así, es difícil detectar hasta los más energéticos, ya que “their rate of detection is so low that there is no discernable stream of particles coming from any one particular direction” [su tasa de detección es tan baja que no hay una corriente de partículas discernible que venga de una dirección en particular] (“Cosmic Rays”, Cosmos s.f, párr. 3).

Sin embargo, se han hecho unas pocas clasificaciones acerca de la procedencia de los rayos cósmicos.

**Rayos Cósmicos Solares.** Se generan en el mismo sol. Son causados por erupciones solares y eyecciones de masa coronal. Estas erupciones son definidas por el Servicio Nacional de Satélites de Estados Unidos (NESDIS) como “erupciones grandes de radiación electromagnética que ocurren cerca de las manchas solares... viajan a la velocidad de la luz y pueden durar de minutos a horas” (“Una guía sobre el...”, s.f, párr. 6). Las eyecciones, por otro lado, son definidas por NESDIS como “grandes nubes de plasma y campo magnético lanzadas al espacio desde el sol. El material expulsado puede viajar a un millón o más de millas por hora” (“Una

guía sobre el...”, s.f, párr. 7). La extremadamente alta energía de estos eventos libera millones de partículas como los protones y neutrones, que viajan a la tierra a velocidades extremas en forma de rayos cósmicos. Estos usualmente tienen energías de entre  $10^7$  eV a  $10^{10}$  eV, y tienen núcleos de los elementos presentes en el sol, como el hidrógeno o el helio. Una característica importante es que reducen la frecuencia de los rayos cósmicos galácticos, ya que las erupciones y eyecciones que los causan también aumentan los vientos solares, que desvían o ralentizan las veloces partículas que provienen de afuera del sistema solar y de la Vía Láctea (“Solar Cosmic Rays”, s.f).

**Galácticos.** Los rayos cósmicos galácticos no tienen aún un origen muy exacto, pero se cree que se forman en supernovas dentro de la Vía Láctea, que son “explosiones estelares que ocurren al final del ciclo de vida de algunas estrellas” (Garay, 2023, párr. 2) La energía de estas es mayor que las solares, oscilando entre  $10^{10}$  eV y  $10^{15}$  eV. “The composition of galactic cosmic rays is... slightly enriched in heavy elements” [La composición de los rayos cósmicos galácticos es levemente enriquecida en elementos más pesados] (“Galactic Cosmic Rays, s.f, párr. 1).

**Anómalos.** Los rayos cósmicos anómalos siguen siendo un tema de investigación, ya que no tienen ningún rastro claro de su procedencia y poca explicación acerca de sus niveles de energía, que oscilan entre los  $10^7$  y  $10^8$  eV (“Anomalous Cosmic Rays”, s.f). Su teoría principal es que son átomos que pierden electrones gracias a la radiación ultravioleta del sol, y son acelerados por los vientos solares hasta adquirir suficiente velocidad para ser un rayo cósmico (“Anomalous Cosmic Rays”, s.f).

**Extragalácticos/Ultra Energéticos.** Estos son los más misteriosos, ya que solo se han detectado una cantidad limitada de ellos. Poseen energías mayores a  $10^{15}$  eV, y el más energético fue la partícula de “Oh-My-God”, con  $3 \times 10^{20}$  eV. No tienen procedencia clara, y las teorías van

desde núcleos galácticos hasta agujeros negros (“Ultra-high Energy Cosmic...”, s.f). Estos tienen implicaciones importantes en modelos teóricos de la física.

Above  $5 \times 10^{19}$  eV, cosmic rays should interact with the radiation of the cosmic microwave background... a process that should reduce the cosmic ray's energy below this threshold. This theoretical upper limit... is called the Greisen-Zatsepin-Kuzmin limit (GZK limit), and the fact that we observe cosmic rays at energies larger than this appears to contradict the predictions of special relativity. [Los rayos cósmicos mayores a  $5 \times 10^{19}$  eV deberían interactuar con la radiación de fondo, proceso el cual debería reducir la energía de un rayo cósmico a un valor menor. Este límite superior teórico se llama el límite de Greisen-Zatsepin-Kuzmin (límite GZK), y el hecho de que observamos rayos cósmicos con energías mayores a este parece contradecir las predicciones de la relatividad especial] (“Ultra-high Energy Cosmic...”, s.f, párr. 4).

Se espera que el desarrollo tecnológico logre responder las preguntas que existen acerca de estos rayos en el futuro.

### ***Efectos***

Los efectos de los rayos cósmicos son una cuestión de relevancia social, ya que sin importar qué interés se tenga en el tema, el impacto generado por este evento debe tenerse en cuenta ya que puede afectar a cualquier persona.

**Tecnológicos.** La tecnología moderna se ve afectada por rayos cósmicos energéticos que interactúan con la materia que le permite funcionar. Un ejemplo de esto es la ionización, que es capaz de “ionizar átomos y desplazarlos dentro de sus estructuras cristalinas” cosa que “acorta el



tiempo de vida de los equipos” (“Impacto: Efectos Tecnológicos...”, 2021, párr. 4). Si la alteración, creación, o aniquilación de electrones sucede cuando llegan a la superficie, es posible que altere el funcionamiento de un circuito eléctrico, afectando así a muchos ordenadores y otros sistemas. Sin embargo, la prevención de estos daños se toma mucho en cuenta, y consiste principalmente en diseños inteligentes, hechos de materiales poco vulnerables a los rayos. Además, es necesario a veces detener el funcionamiento de la tecnología vulnerable por seguridad, como los aviones. En regiones o momentos donde haya una mayor frecuencia de este suceso, “El vuelo de aviones sobre rutas polares también se ve afectado por las partículas energéticas y los secundarios que éstas crean en la atmósfera” (“Impacto: Efectos Tecnológicos...”, 2021, párr. 9).

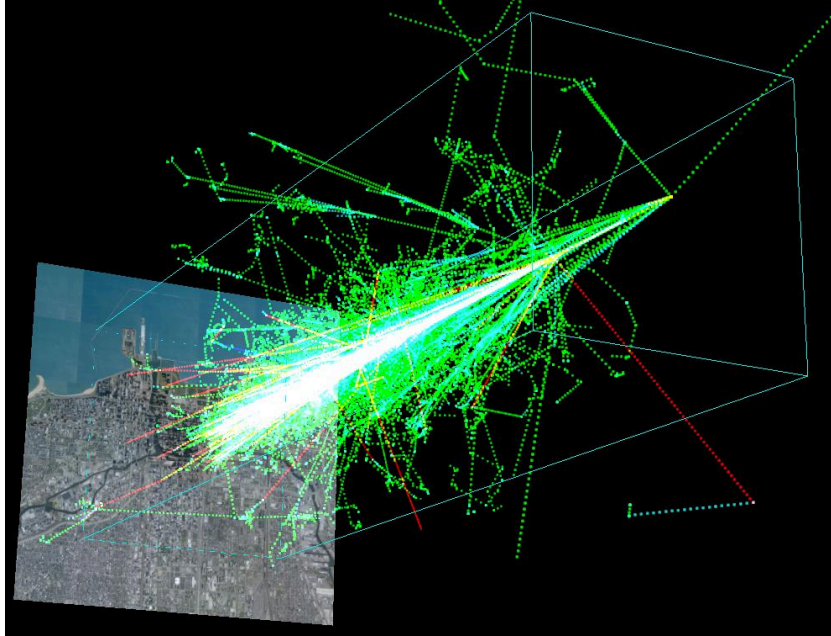
**Biológicos.** El impacto más evidente en la salud se da en el daño celular, ya que las altas energías de estas partículas pueden perjudicar a células, cosa que puede evolucionar hasta dañar tejidos y órganos enteros (“Impacto: Efectos Tecnológicos...”, 2021). No es un efecto instantáneo, sino una acumulación de pequeñas dosis de rayos cósmicos. La estación espacial rusa MIR midió las dosis de radiación y su distribución en el planeta, y encontró que las zonas de mayor afectación son aquellas cercanas a los polos, como Canadá y Australia (“Impacto: Efectos Tecnológicos...”, 2021). Sin embargo, hay un lado positivo, como es afirmado por Michael Hajek, Especialista en Dosimetría Externa del OIEA, quien dice que “Es fascinante ver cómo nuestros conocimientos sobre el daño celular inducido por niveles elevados de radiación cósmica podrían ayudar a perfeccionar la tecnología para el tratamiento del cáncer utilizando aceleradores de partículas de alta energía” (como lo cita Gil, 2021, párr. 10). Existen propuestas de usar rayos “similares a los que se encuentran en el espacio, pueden destruir tumores muy profundos” (Gil, 2021, párr. 10).

## Procesos del Estudio de Rayos Cósmicos

Los procesos necesarios para el estudio de rayos cósmicos giran en torno a dos aspectos: Observación y computación. La primera ya fue cubierta en su respectiva sección. La computación, por otro lado, se refiere a todos los números que son adquiridos, almacenados y procesados, sea por computadores o por ecuaciones matemáticas. La física computacional se dedica precisamente a esto, usando el análisis numérico de una computadora para almacenar información cuantitativa. Además, la tecnología provee programas de alta capacidad para simular en 3D. “For example, computational physicists might use computer simulations to study the behavior of galaxies or to simulate the behavior of particles in a vacuum” [Por ejemplo, los físicos computacionales pueden usar simulaciones de computador para estudiar el comportamiento de galaxias o para simular el comportamiento de partículas en un vacío] (Basharat, 2023). Los modelos desarrollados con esta tecnología son de gran ayuda para organizar información extensa sobre uno o más rayos cósmicos en un solo lugar, como el de la figura 1.14.

### Figura 1.14

*Modelo 3D de una cascada electromagnética producida por un rayo cósmico*



*Nota.* Cada línea verde representa un rayo, o partícula que viaja hacia la tierra. Tomado de *Cosmic Rays Electromagnetic Cascade*, 2016, PhysicsOpenLab, (<https://physicsopenlab.org/2016/04/12/cosmic-rays-cascade/>). CC BY 4.0

## Capítulo 6: Marco Conceptual

- **Aniquilación Partícula-Antipartícula:** Encuentro de una partícula material con su respectiva antipartícula lo que produce la aniquilación de ambas para producir o energía u otras partículas.<sup>1</sup>
- **Antipartícula:** A cada una de las partículas de la naturaleza le corresponde una antipartícula que posee la misma masa, el mismo spin, pero distinta carga eléctrica. Algunas partículas son idénticas a su antipartícula.<sup>2</sup>
- **Bosón W:** Partícula elemental del tipo de los bosones, portadora de la interacción débil, con carga eléctrica positiva, masa muy grande en relación a la de otras partículas elementales y espín 1. Se representa por W o W<sup>+</sup>. Su antipartícula es el antibosón W<sup>-</sup>. Uno de los procesos más importantes en los que intervienen los bosones W es la desintegración beta, en la que un neutrón se convierte en un protón.<sup>3</sup>
- **Campo Magnético:** Representación matemática del modo en que las fuerzas magnéticas se distribuyen en el espacio que circunda a una fuente magnética.<sup>4</sup>
- **Corriente Heliosférica Difusa:** Onda en la heliosfera creada por el campo magnético del Sol. Se extiende a través de la heliosfera, se la considera la mayor estructura en el Sistema Solar. Se dice de ella que es la "falda de la bailarina" aludiendo a su forma de superficie espiral.<sup>5</sup>

---

<sup>1</sup> Anónimo. (s.f). *Aniquilación partícula-antipartícula de* [https://www.quimica.es/enciclopedia/Aniquilaci%C3%B3n\\_part%C3%ADcula-antipart%C3%ADcula](https://www.quimica.es/enciclopedia/Aniquilaci%C3%B3n_part%C3%ADcula-antipart%C3%ADcula)

<sup>2</sup> Anónimo. (s.f). *Antipartícula de* <https://www.quimica.es/enciclopedia/Antipart%C3%ADcula.html>

<sup>3</sup> Anónimo. (s.f). *bosón W de* <https://www.sne.es/diccionario-nuclear/boson-w/2>

<sup>4</sup> Coluccio, E (15 de julio de 2021) *Campo Magnético de* <https://concepto.de/campo-magnetico/>

<sup>5</sup> Anónimo. (s.f). *Heliosfera de* [https://es-academic.com/dic.nsf/eswiki/565858#Corriente\\_heliosf.C3.A9rica\\_difusa](https://es-academic.com/dic.nsf/eswiki/565858#Corriente_heliosf.C3.A9rica_difusa)

- **Desintegración Alfa:** Forma de desintegración radiactiva donde un núcleo atómico emite una partícula alfa y se transforma en un núcleo con 4 unidades menos de número másico y dos unidades menos de número atómico.<sup>6</sup>
- **Desintegración Beta:** Proceso mediante el cual un nucleido inestable emite una partícula beta.<sup>7</sup>
- **Desintegración Gamma:** Desintegración que ocurre cuando un núcleo excitado pasa a un estado con menor energía, lo que resulta en la emisión de fotones.<sup>8</sup>
- **Electrón:** partícula subatómica de tipo fermiónico. En un átomo los electrones rodean el núcleo, compuesto únicamente de protones y neutrones. Los electrones tienen una masa pequeña respecto al protón, y su movimiento genera corriente eléctrica en la mayoría de los metales.<sup>9</sup>
- **Electronvoltio:** Energía cinética que adquiere un electrón al atravesar en el vacío una diferencia de potencial de un voltio. Equivale, aproximadamente, a  $1,602 \times 10^{-19}$  julios.<sup>10</sup>
- **Equivalencia masa-energía ( $E = mc^2$ ):** Expresa el hecho de que la masa y la energía son la misma entidad física y pueden transformarse entre sí. En la ecuación, el aumento de la masa relativista ( $m$ ) de un cuerpo multiplicado por la velocidad de la luz al cuadrado ( $c^2$ ) es igual a la energía cinética ( $E$ ) de ese cuerpo.<sup>11</sup>
- **Erupción Solar:** Variación repentina, rápida e intensa de brillo que se observa en la superficie del Sol debido a una explosión de gases calientes. Libera una gran cantidad de

<sup>6</sup> Anónimo. (s.f). *Desintegración Alfa* de [https://www.quimica.es/enciclopedia/Desintegraci%C3%B3n\\_Alfa.html](https://www.quimica.es/enciclopedia/Desintegraci%C3%B3n_Alfa.html)

<sup>7</sup> Anónimo. (s.f). *Desintegración beta* de [https://www.quimica.es/enciclopedia/Desintegraci%C3%B3n\\_beta.html](https://www.quimica.es/enciclopedia/Desintegraci%C3%B3n_beta.html)

<sup>8</sup> Anónimo. (19 de enero de 2023). *Desintegración radiactiva de elementos* de <https://www.products.pcc.eu/es/academy/desintegracion-radiactiva-de-elementos/>

<sup>9</sup> Anónimo. (s.f). *Electrón* de <https://www.quimica.es/enciclopedia/Electr%C3%B3n.html>

<sup>10</sup> Anónimo. (s.f) *electronvoltio* de <https://www.sne.es/diccionario-nuclear/electronvoltio/>

<sup>11</sup> Perkowitz, S. (s.f).  *$E = mc^2$*  de <https://www.britannica.com/science/E-mc2-equation>

energía en forma de radiación electromagnética, partículas energéticas y movimientos de masa, pero varía en intensidad y frecuencia.<sup>12</sup>

- **Espalación:** Proceso por el que uno varios fragmentos de material son expulsados de un cuerpo debido a un impacto o a su fatiga. En física nuclear, es el proceso por el que un núcleo pesado emite una gran cantidad de nucleones como resultado del choque con un protón de alta energía, reduciendo por tanto su peso atómico en gran medida.<sup>13</sup>
- **Eyección de Masa Coronal:** Perturbación que se produce en la corona solar que involucra erupciones desde la parte más baja de la corona y eyecciones de gran cantidad de materia hacia el viento solar, estas eyecciones tienen intensidades del campo magnético, densidad y velocidad más alta que las típicas del viento solar.<sup>14</sup>
- **Fotón:** Partícula elemental responsable de las manifestaciones cuánticas del fenómeno electromagnético. Es la partícula portadora de todas las formas de radiación electromagnética, incluyendo a los rayos gamma, los rayos X, la luz ultravioleta, la luz visible, la luz infrarroja, las microondas, y las ondas de radio.<sup>15</sup>
- **Fuerza Nuclear (Interacción Nuclear Fuerte):** Esta fuerza es la responsable de mantener unidos a los nucleones (protón y neutrón) que subsisten en el núcleo atómico, venciendo a la repulsión electromagnética entre los protones que poseen carga eléctrica del mismo signo (positiva) y haciendo que los neutrones, que no tienen carga eléctrica, permanezcan unidos entre sí y también a los protones.<sup>16</sup>

<sup>12</sup> Anónimo. (9 de enero de 2023). *Erupción Solar de* <https://www.geoenciclopedia.com/erupcion-solar-34.html>

<sup>13</sup> Anónimo. (s.f). *Espalación de* <https://www.quimica.es/enciclopedia/Espalaci%C3%B3n.html>

<sup>14</sup> Licas, T., Soledad, S. (2005). *Morfología y características físicas de las eyecciones de masa coronal solar de* [https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/monografias/basic/tinoco\\_ls/cap3.pdf](https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/monografias/basic/tinoco_ls/cap3.pdf)

<sup>15</sup> Anónimo. (s.f). *Fotón de* <https://www.quimica.es/enciclopedia/Fot%C3%B3n.html>

<sup>16</sup> Anónimo. (s.f). *Interacción Nuclear Fuerte de* [https://www.quimica.es/enciclopedia/Interacci%C3%B3n\\_nuclear\\_fuerte.html](https://www.quimica.es/enciclopedia/Interacci%C3%B3n_nuclear_fuerte.html)

- **Hadrón:** Partícula subatómica que experimenta la fuerza nuclear (Véase Interacción nuclear fuerte). Estas no son partículas fundamentales, y están compuestas de fermiones llamados quarks y antiquarks.<sup>17</sup>
- **Heliósfera:** Región del espacio que se extiende mucho más allá de la corona solar y es parte integral del sistema solar. Es una burbuja de plasma y partículas cargadas que rodea todo el sistema solar y es creada por la continua emisión del viento solar desde la corona del Sol.<sup>18</sup>
- **Interacción Débil:** Una de las cuatro fuerzas fundamentales de la naturaleza. En el modelo estándar de la física de partículas, ésta se debe al intercambio de los bosones W y Z, que son muy fuertes. El efecto más familiar es el decaimiento beta (de los neutrones en el núcleo atómico) y la radiactividad.<sup>19</sup>
- **Ion:** Especie química, ya sea un átomo o una molécula, cargada eléctricamente. Esto se debe a que ha ganado o perdido electrones de su dotación, originalmente neutra.<sup>20</sup>
- **Ionización:** Proceso químico o físico mediante el cual se producen iones, estos son átomos o moléculas cargadas eléctricamente debido al exceso o falta de electrones respecto a un átomo o molécula neutra.<sup>21</sup>
- **Kaón:** Cualquier partícula del grupo de cuatro mesones que tienen un número cuántico llamado extrañeza.<sup>22</sup>

---

<sup>17</sup> Anónimo. (s.f). *Hadrón de* <https://www.quimica.es/enciclopedia/Hadr%C3%B3n.html>

<sup>18</sup> Bordina, J. (13 de septiembre de 2023). *Capas del sol: nombres, características y función de* <https://www.geoenciclopedia.com/capas-del-sol-nombres-caracteristicas-y-funcion-740.html>

<sup>19</sup> Anónimo. (s.f). *Interacción Débil de* [https://www.quimica.es/enciclopedia/Interacci%C3%B3n\\_d%C3%A9bil.html](https://www.quimica.es/enciclopedia/Interacci%C3%B3n_d%C3%A9bil.html)

<sup>20</sup> Anónimo. (s.f). *Ion de* <https://www.quimica.es/enciclopedia/Ion.html>

<sup>21</sup> Anónimo. (s.f). *Ionización de* <https://www.quimica.es/enciclopedia/Ionizaci%C3%B3n.html>

<sup>22</sup> Anónimo. (s.f). *Kaón de* <https://www.quimica.es/enciclopedia/Ka%C3%B3n.html>

- **Leptón:** Partícula con espín  $-1/2$  (un fermión) que no experimenta interacción fuerte (esto es, la fuerza nuclear fuerte)... Existen seis leptones y sus correspondientes antipartículas: el electrón, el muón, el tau y tres neutrinos asociados a cada uno de ellos.<sup>23</sup>
- **Mesón:** Partículas compuestas de un número par de quarks y antiquarks. Se cree que todos los mesones conocidos consisten en un par quark-antiquark.<sup>24</sup>
- **Muón:** Partícula elemental masiva que pertenece a la segunda generación de leptones. Su spin es  $1/2$ , Posee carga eléctrica negativa, como el electrón, aunque su masa es 200 veces mayor, y su vida es algo más larga que otras partículas inestables ( $2.2\mu s$ ).<sup>25</sup>
- **Neutrino:** Partículas subatómicas de tipo fermiónico, de carga neutra y espín  $1/2$ . Los últimos estudios han confirmado que los neutrinos tienen masa, aunque ésta no se conoce con exactitud. Su valor, en todo caso, sería muy pequeño habiéndose obtenido tan sólo cotas superiores con valores aproximadamente 200.000 veces más pequeños que la masa del electrón. Además, su interacción con las demás partículas es mínima por lo que pasan a través de la materia ordinaria sin apenas perturbarla.<sup>26</sup>
- **Neutrón:** Barión neutro formado por dos quarks down y un quark up. Forma, junto con los protones, los núcleos atómicos. Fuera del núcleo atómico es inestable y tiene una vida media de unos 15 minutos emitiendo un electrón y un antineutrino para convertirse en un protón. Su masa es muy similar a la del protón.<sup>27</sup>

---

<sup>23</sup> Anónimo. (s.f). *Leptón de* <https://www.quimica.es/enciclopedia/Lept%C3%B3n.html>

<sup>24</sup> Anónimo. (s.f). *Mesón (partícula) de* [https://www.quimica.es/enciclopedia/Mes%C3%B3n\\_%28part%C3%ADcula%29.html](https://www.quimica.es/enciclopedia/Mes%C3%B3n_%28part%C3%ADcula%29.html)

<sup>25</sup> Anónimo. (s.f). *Muón de* <https://www.quimica.es/enciclopedia/Mu%C3%B3n.html>

<sup>26</sup> Anónimo. (s.f). *Neutrino de* <https://www.quimica.es/enciclopedia/Neutrino.html>

<sup>27</sup> Anónimo. (s.f). *Neutrino de* <https://www.quimica.es/enciclopedia/Neutr%C3%B3n.html>



- **Nucleón:** Toda aquella partícula constituyente del núcleo atómico: neutrones y protones. La suma de las cantidades de protones y neutrones presentes en el núcleo es la que determina el número másico "A".<sup>28</sup>
- **Partícula Alfa:** Las partículas o rayos alfa ( $\alpha$ ) son núcleos completamente ionizados de Helio-4 ( $4\text{He}$ ). Es decir, sin su envoltura de electrones correspondiente. Estos núcleos están formados por dos protones y dos neutrones.<sup>29</sup>
- **Partícula Beta:** Un electrón que sale despedido de un suceso radiactivo. Por la ley de Fajans, si un átomo emite una partícula beta, su carga eléctrica aumenta en una unidad positiva y el número de masa no varía.<sup>30</sup>
- **Pion:** Nombre común de tres partículas subatómicas descubiertas en 1947:  $\pi^0$ ,  $\pi^+$  y  $\pi^-$ . El pion es el mesón más ligero... Los piones tienen espín cero, y están compuestos por la primera generación de quarks.<sup>31</sup>
- **Polaridad (Polo Magnético):** Los campos magnéticos son dipolares: poseen un polo Norte y un polo Sur, a los que también se les dice polo positivo y polo negativo.<sup>32</sup>
- **Positrón:** Antipartícula correspondiente al electrón, por lo que posee la misma masa y la misma carga eléctrica, aunque obviamente de signo contrario (es positiva). No forma parte de la materia ordinaria, sino de la antimateria, aunque se producen en numerosos procesos radioquímicos como parte de transformaciones nucleares.<sup>33</sup>

---

<sup>28</sup> Anónimo. (s.f). *Nucleón de* <https://www.quimica.es/enciclopedia/Nucle%C3%B3n.html>

<sup>29</sup> Anónimo. (s.f). *Partícula Alfa de* [https://www.quimica.es/enciclopedia/Part%C3%ADcula\\_alfa.html](https://www.quimica.es/enciclopedia/Part%C3%ADcula_alfa.html)

<sup>30</sup> Anónimo. (s.f). *Partícula Beta de* [https://www.quimica.es/enciclopedia/Part%C3%ADcula\\_beta.html](https://www.quimica.es/enciclopedia/Part%C3%ADcula_beta.html)

<sup>31</sup> Anónimo. (s.f). *Pion de* <https://www.quimica.es/enciclopedia/Pi%C3%B3n.html>

<sup>32</sup> Coluccio Op. Cit.

<sup>33</sup> Anónimo. (s.f). *Antielectrón de* <https://www.quimica.es/enciclopedia/Antielectr%C3%B3n.html>

- **Protón:** Partícula subatómica con una carga eléctrica de una unidad fundamental positiva...  
El protón y el neutrón, en conjunto, se conocen como nucleones, ya que conforman el núcleo de los átomos.<sup>34</sup>
- **Quark:** Junto con los leptones, son los constituyentes fundamentales de la materia. Varias especies de quarks se combinan de manera específica para formar partículas tales como protones y neutrones. Los quarks son las únicas partículas fundamentales que interactúan con las cuatro fuerzas fundamentales. Son partículas de espín 1/2, por lo que son fermiones. Forman, junto a los leptones, la materia visible.<sup>35</sup>
- **Radiación Electromagnética:** Propagación de energía en forma de ondas electromagnéticas (Rayos X, Rayos UV, etc...)...si la radiación transporta energía suficiente como para provocar ionización en el medio que atraviesa, se dice que es una radiación ionizante.<sup>36</sup>
- **Rayo cósmico:** Partículas que llegan desde el espacio exterior y bombardean constantemente la Tierra desde todas direcciones. La mayoría de estas partículas son protones (o sea núcleos de átomos de hidrógeno) o núcleos de átomos más pesados (como helio, carbono o hierro). Algunas de ellas son más energéticas que cualquier otra partícula observada en la naturaleza.<sup>37</sup>
- **Rayo Cósmico Primario:** Son protones, núcleos de helio y otros núcleos atómicos más pesados que son acelerados a velocidades cercanas a la velocidad de la luz por eventos violentos en el espacio, como supernovas o agujeros negros.<sup>38</sup>

---

<sup>34</sup> Anónimo. (s.f). *Protón de* <https://www.quimica.es/enciclopedia/Prot%C3%B3n.html>

<sup>35</sup> Anónimo. (s.f). *Quark de* <https://www.quimica.es/enciclopedia/Quark.html>

<sup>36</sup> Anónimo. (s.f). *Radiación de* <https://www.quimica.es/enciclopedia/Radiaci%C3%B3n.html>

<sup>37</sup> Anónimo. (s.f). *¿QUÉ SON LOS RAYOS CÓSMICOS? De* <https://visitantes.auger.org.ar/index.php/que-son-los-rayos-cosmicos/>

<sup>38</sup> Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares. (18 de agosto de 2023). *Radiación Cósmica de Fondo y Radiación Cósmica de* <https://www.gob.mx/inin/articulos/radiacion-cosmica-de-fondo-y-radiacion-cosmica>

- **Rayo Cósmico Primario:** Cuando los rayos cósmicos primarios interactúan con la atmósfera terrestre, producen una cascada de partículas secundarias, como muones, electrones y positrones. Estas partículas secundarias pueden llegar a la superficie de la Tierra y son una parte importante de la radiación cósmica que experimentamos en la superficie.<sup>39</sup>
- **Rayos Gamma:** Un tipo de radiación electromagnética producida generalmente por elementos radioactivos o procesos subatómicos como la aniquilación de un par positrón-electrón. Este tipo de radiación de tal magnitud también es producida en fenómenos astrofísicos de gran violencia. Debido a las altas energías que poseen, los rayos gamma constituyen un tipo de radiación ionizante capaz de penetrar en la materia más profundamente que la radiación alfa o beta. Dada su alta energía pueden causar grave daño al núcleo de las células.<sup>40</sup>
- **Supernova:** Explosiones cósmicas de carácter masivo vinculadas a la instancia evolutiva final de estrellas masivas o a la fusión nuclear de enanas blancas. Se trata de eventos importantes y poderosos marcados por un gran brillo y una impactante luminosidad... La gravedad termina imponiéndose y haciendo derrumbar y explotar a la estrella masiva cuando ésta, tras agotar su combustible, pierde temperatura y ve disminuido el valor de la presión.<sup>41</sup>
- **Viento Solar:** Flujo constante de partículas cargadas que emana el Sol y se extienden por el sistema solar. Compuesto principalmente de electrones y protones, su origen es la corona solar... Es el resultado de la alta temperatura del Sol, especialmente en su atmósfera externa, la corona solar.<sup>42</sup>

---

<sup>39</sup> Ibid.

<sup>40</sup> Anónimo. (s.f). *Rayos Gamma de* [https://www.quimica.es/enciclopedia/Rayos\\_gamma.html](https://www.quimica.es/enciclopedia/Rayos_gamma.html)

<sup>41</sup> Gudiña, V. (15 de diciembre de 2023). *Supernova de* <https://definicion.de/supernova/>

<sup>42</sup> Bordino, J. (2 de Agosto de 2023). *Viento solar: qué es y consecuencias de* <https://www.geoenciclopedia.com/viento-solar-que-es-y-consecuencias-709.html>

## Capítulo 7: Resultados

El desarrollo del marco teórico y el conceptual, acompañados de una breve investigación y preparación para las prácticas dan las bases para evaluar y comparar los resultados. En el primero, se hizo una consulta exhaustiva acerca de la astrofísica, conociendo sus orígenes, evolución y su importancia moderna. Dicho capítulo del proyecto se enfoca en desglosar todo acerca de los rayos cósmicos, explicando qué son, de dónde vienen, cómo interactúan con la tierra y específicamente con el sol, ya que este último tema es relevante al objetivo principal: Determinar qué efectos tiene el sol sobre las propiedades que posee el flujo de rayos cósmicos que llegan a la tierra. Se evidenció que el campo magnético del sol tenía un efecto en los rayos cósmicos que viajan cerca, citando al fragmento de dicho capítulo del proyecto: “las partículas que interactúan con el campo son esparcidas en el espacio cubierto por la fuerza.” Posteriormente, se definen mediante el marco conceptual los múltiples conceptos científicos mencionados en la investigación.

Finalmente, se hace una búsqueda y lectura de un tema e instrumento para el desarrollo de las prácticas: El Observatorio Pierre Auger. El primero es un observatorio en la región desértica de Argentina, con el objetivo de detectar rayos cósmicos mediante múltiples herramientas y tecnologías, siendo los datos de este observatorio los que se usarán en las prácticas. Este cubre un área de  $3000 \text{ km}^2$  con 1660 detectores de rayos cósmicos. Estos detectan los rayos cósmicos con tanques de agua que producen una cantidad mínima de luz cuando los rayos la atraviesan, siendo detectada por fotosensores y una vez sean activados varios a la vez, envía la señal a la central de datos (“Auger Open Data”, s.f). El observatorio ha publicado sets de datos registrados a lo largo de varios años, los cuales muestran la cantidad, dirección, energía,

fecha, y muchas otras características de los rayos así como las características atmosféricas y climatológicas de la región.

El objetivo de las prácticas es usar esta base de datos para verificar el efecto denominado decrecimiento Forbush (DF). Se hizo una breve investigación acerca del tema antes de las prácticas, del cual se establece la definición de este fenómeno: “The sudden decrease of GCRs {Galactic Cosmic Rays} by 3%–20% for periods of minutes to hours, followed by a gradual recovery to the previous intensity” [El decrecimiento repentino de RCG {Rayos Cósmicos Galácticos} de un 3%-20% por periodos de minutos a horas, seguidos de una recuperación gradual a la intensidad previa] (Kilifarska et al. 2020). La importancia de este efecto en el tema central de la investigación se explica por la relación entre los DF y la actividad solar: “The FDs are generally induced by interplanetary coronal mass ejections (ICMEs)” [Los DF son generalmente inducidos por eyecciones de masa coronal interplanetarias (EMCI)] (Ghag et al. 2023). Estas eyecciones de masa coronal ya fueron discutidas en el capítulo 5, donde se estableció que son eyecciones de masa en plasma y de campos magnéticos provenientes del sol.

La metodología para comprobar este efecto consiste en descargar los datos del sitio web del Observatorio Pierre Auger, específicamente los datos del modo ‘scaler’ que solo muestran el conteo de rayos cósmicos detectados. Para la lectura de estos datos, en las semanas previas a las prácticas se hizo un curso introductorio de CodeAcademy del lenguaje de programación Python, en el cual se pueden leer los archivos con esta información, junto con tutoriales que provee el sitio web de Pierre Auger para esto. La información acerca de estos rayos cósmicos está almacenada en archivos tipo csv, que crea tablas de información separadas por comas. Usando Python, se puede leer este tipo de archivo y convertir las divisiones de comas en columnas completas.

Sin embargo, aún es difícil identificar las caídas repentinas que se ven en el decrecimiento Forbush sin ver la tendencia numérica de estos datos según el tiempo. Esto se puede remediar al graficar estos datos, creando un diagrama de cómo fluctúan los conteos de rayos según la fecha. La función clave de Python es la habilidad de elegir el intervalo de la variable independiente, que en este caso es la fecha, como se observa en la figura 2.1. Al poder definir una fecha inicial (`startDate`) y una fecha final (`stopDate`), se puede observar cualquier periodo de tiempo determinado entre 2005 y 2020 (el periodo en el cual se tomaron estos datos).

### Figura 2.1

*Comandos de 'startDate' y 'stopDate' que permiten definir en qué intervalo se desean observar los datos.*

```
startDate = '2015-6-1'  
stopDate = '2015-6-30'
```

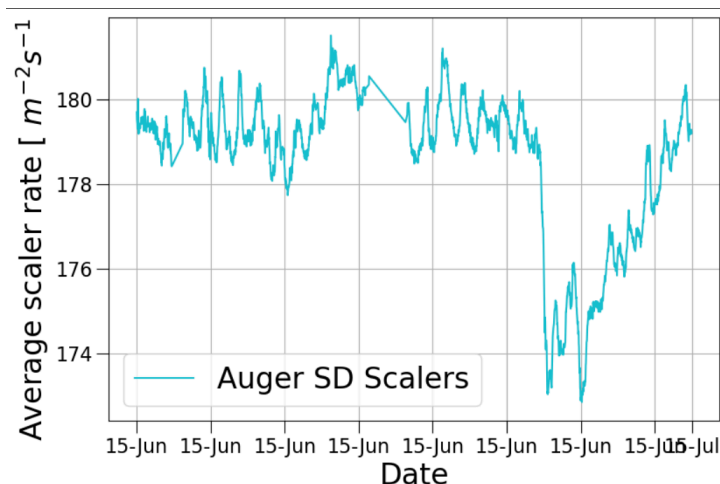
*Nota.* Las fechas introducidas en los primeros dos comandos en formato de año-mes-día pueden generar cualquier intervalo de cualquier tamaño entre 2005 y 2020, sean de un año o de solo un par de días. Programa hecho por cuenta propia en Jupyter Notebook.

El resultado de esto se evidencia en la figura 2.2, la cual muestra cómo fluctúan los conteos de rayos cósmicos. Se puede observar que hay una caída significativa a finales del mes de junio de 2015, seguida de una subida más lenta hacia los valores usuales de antes. Esta sección de la gráfica encaja perfectamente con la descripción de un evento forbush. A pesar de que numéricamente no parece bajar mucho, ya que pasa de unos 179 a unos 173 rayos, la diferencia en realidad es bastante grande ya que esos seis rayos menos solo son por un segundo y por un área de metro cuadrado. Si se midiera en total, es decir, la cantidad de rayos en miles de

metros cuadrados que los detectan, y durante múltiples segundos del evento, se evidenciaría una diferencia mucho mayor del conteo de rayos.

## Figura 2.2

*Conteo de rayos cósmicos por metro cuadrado por segundo con respecto a la fecha*



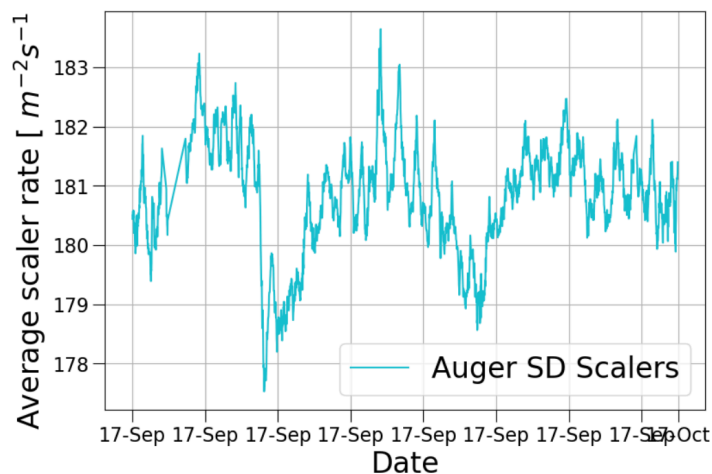
*Nota.* Esta gráfica está definida con Python desde el primero de junio de 2015 hasta el 30 de junio de 2015, mostrando exactamente un mes de información. Gráfica hecha por cuenta propia en Jupyter Notebook.

Como parte de los recursos para la construcción de estos datos, se usó la base de datos del Izmiran Space Weather Prediction Center de Rusia, el cual tiene un recuento extenso de todos los eventos de decrecimiento Forbush a través de los años, con información acerca de su fecha e intensidad. Al dirigirse al año de 2015, se encuentra un evento registrado el 22 de junio de magnitud 9.1. Esta cifra es mucho mayor a la magnitud promedio, que es aproximadamente 1.0. (“Catalogue of the Forbush-effects...”, s.f). Tomando en cuenta el intervalo del mes entero de junio de 2015 presentado en la figura 2.2, se puede concluir que este evento es precisamente la caída que se presenta en la gráfica, confirmando que es un decrecimiento Forbush.

Para verificar la consistencia de este efecto, simplemente se hizo una búsqueda de alguna base de datos que solo registra eventos de eyecciones de masa coronal y las tormentas geomagnéticas que suceden por esto. Estas últimas se definen como “perturbaciones del campo magnético de la Tierra, que duran desde varias horas hasta incluso algunos días...se producen por un aumento brusco de las partículas emitidas en las erupciones solares.” (Para ejemplificar, se eligió el año 2017 y se buscaron sus mayores perturbaciones electromagnéticas. Según SpaceWeatherLive.com, la de mayor intensidad sucedió el 8 de septiembre. En la figura 2.3 se ve graficado el mes de septiembre de 2017, donde se evidencia una caída relevante a principios del mes. Al buscar el año 2005 en la misma página, se encuentra que la mayor perturbación de ese año sucedió el 24 de agosto, la cual también se ve presente a finales del mes en la figura 2.4.

**Figura 2.3**

*Conteo de rayos cósmicos en el mes de septiembre de 2017*

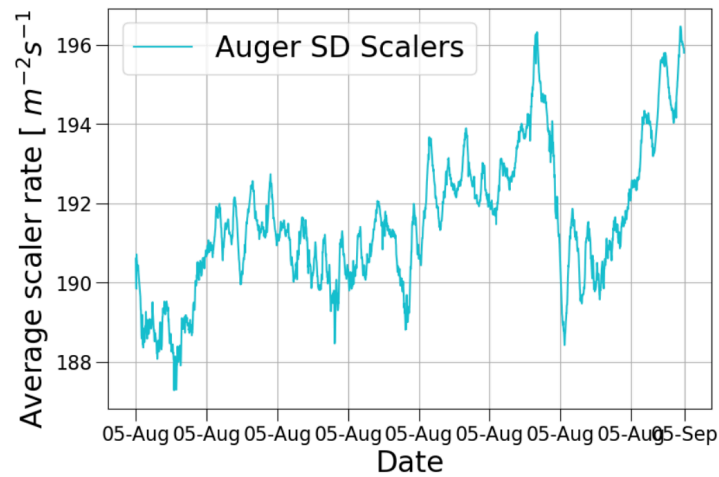


*Nota.* Gráfica hecha por cuenta propia en Jupyter Notebook.

**Figura 2.4**



*Conteo de rayos cósmicos en el mes de agosto de 2005*



*Nota.* Gráfica hecha por cuenta propia en Jupyter Notebook.

Los resultados finales de las prácticas son las gráficas que muestran el conteo de rayos cósmicos en determinados intervalos de tiempo. Estos resultados encajan con los registros históricos de actividad solar y tormentas geomagnéticas, mostrando así los decrecimientos for bush presentes en las gráficas que suceden cuando suceden eyecciones de masa coronal y perturbaciones al campo magnético terrestre.

## Capítulo 8: Conclusiones

### Conclusiones del Proyecto

La información adquirida en las prácticas permite sacar conclusiones acerca del tema general y darle respuesta a la pregunta de investigación. Se pudo graficar los conteos de rayos con un intervalo de tiempo modificable, donde se pueden ver los decrecimientos Forbush como caídas casi verticales en el conteo de rayos seguidos de una recuperación. Comparando las gráficas producidas en Python con una base de datos oficial, se puede concluir que el efecto Forbush sí sucedió en las fechas en las que se observa en la gráfica. Finalmente, usando otra base de datos de tormentas y perturbaciones geomagnéticas, se puede observar que los eventos más fuertes de cada año encajan perfectamente con los decrecimientos Forbush que suceden en las mismas fechas.

Ya habiendo establecido en el capítulo anterior que las perturbaciones geomagnéticas del campo terrestre suceden gracias a la actividad solar, como las eyecciones de masa coronal, se puede comprobar la relación entre el sol y los rayos cósmicos. El sol eyecta masa y con ella partes de su campo magnético, con el que interactúan las partículas con carga de los rayos cósmicos, dándose así una dispersión de estas que las dirige lejos de la Tierra, y por ende reduciendo el conteo de partículas que se observa como un decrecimiento Forbush. Esto responde la pregunta de investigación principal de cómo el sol afecta al flujo de rayos cósmicos que llega a la Tierra: El sol los afecta al eyectar masa que difunden las partículas y reducen los conteos por un periodo de tiempo corto.

Ya con el objetivo principal completado, se puede evaluar si los objetivos específicos fueron igualmente cumplidos. En el marco teórico se definió la radiación cósmica con gran profundidad y se explicó parte por parte, cumpliendo así el primer objetivo específico. Además,

en esta misma consulta se pudo investigar los métodos de observación, las interacciones y el impacto de los rayos cósmicos, respondiendo así al segundo, tercero, y quinto objetivo respectivamente. Durante la práctica y análisis de datos usando Python, se encontró un archivo que no era el del modo scalar, el cual detalla cosas como la dirección y energía del rayo cósmico, pero esta información no fue ni graficada ni es de mayor importancia para el objetivo principal, así que el cuarto objetivo específico solo fue cumplido parcialmente. Finalmente, se conocieron todos los procesos involucrados en el estudio de rayos cósmicos hasta cierto punto, ya que se hicieron computaciones, observaciones matemáticas y comparaciones con información oficial para determinar las propiedades de los rayos cósmicos. No se hizo esto a un nivel de estudio profesional, pero aún se conocieron los procesos de manera introductoria y por ende si cumple con el sexto y último objetivo específico.

Comparando con el marco teórico, la información fue acertada en su mayoría. En este se planteó que “las partículas que interactúan con el campo son esparcidas en el espacio cubierto por la fuerza.” A pesar de en ese momento no conocerse del decrecimiento Forbush, el concepto detrás de él estaba presente en la investigación. Se verificó este efecto en las prácticas mediante las gráficas del conteo de rayos.

El desarrollo del proyecto fue, en su mayoría, como se esperaba. La investigación elaborada en el marco teórico da lugar a las prácticas, donde se compara la teoría con la información experimental o real. Hubo detalles del proyecto que evolucionaron o cambiaron a lo largo de su desarrollo, como lo fue el aprendizaje breve de Python. Las prácticas en sí se dieron de manera casi completamente normal y se tuvo un espacio adecuado de trabajo. Hubo una sorpresa cuando se atendió a una reunión del grupo Halley, pero esto fue de gran valor ya que permitió tener una perspectiva hacia cómo funcionan los grupos de investigación de un tema

como la física. El asesor fue atento y de buena ayuda, estando presente cuando era necesario y dando las pautas para elaborar las prácticas de manera satisfactoria. Se siguieron todas las fechas de entrega, plantillas y consejos de elaboración de la docente coordinadora del proyecto.

### **Conclusiones Personales**

El Senior Project ha sido un proceso largo y continuo donde he podido mejorar mis habilidades de investigación, aprender múltiples conceptos nuevos de la física y tener una experiencia real de la investigación, procesamiento e interpretación de datos que se lleva a cabo en el campo. He aprendido a buscar información de manera más eficiente, especialmente cuando se encuentra en revistas y textos científicos. Mi redacción y organización de ideas ha mejorado mucho, ya que siento que la información que escribo es relativamente fácil de entender a pesar de su complejidad, y las secuencias de ideas fluyen de manera natural. Los marcos que he desarrollado en este proyecto son los primeros de muchos que haré en la universidad y vida profesional, así que sé que este proceso de aprendizaje es de gran valor para mi futuro.

Las prácticas me dieron la oportunidad de pertenecer a un espacio de investigación real, donde hay múltiples personas trabajando en cosas similares pero a un nivel muy superior. El ambiente me pareció placentero y pude observar cómo estas personas pasan su día. Adicionalmente, también tuve la oportunidad de estar presente en una reunión del grupo Halley, cosa que me permitió hacerme una idea de cómo se maneja un grupo de investigación relativamente grande y de cómo operan en la UIS.

Todo el trabajo escrito del proyecto se realizó de manera oportuna y no me encontré en carreras contra el tiempo para entregar algo antes de alguna fecha. A pesar de lo extensas que eran algunas partes, el tiempo para hacerlas era suficiente y esto me enseñó a ser proactivo y a

ser más constante con la manera en la que trabajo. Las pautas establecidas para cada parte estaban bien definidas y solo tuve que aclarar dudas un par de veces.

Este proyecto confirmó algo que sabía desde ya hace un tiempo: Física es lo único que me veo haciendo. Los temas del espacio y el universo me han inspirado desde edades tempranas, y el estudio más preciso para entender el funcionamiento básico de todo me causa interés más que cualquier otro tema. Yo elegí mi tema para este proyecto con mucha tranquilidad y sabía que el desarrollo no iba a tener algún impacto en mi decisión de carrera, sino que me ofrecería mi primera experiencia concreta con la investigación del tema. Ha sido una introducción a toda la investigación, observación y análisis que voy a hacer estudiando física, y en general me llevo una valiosa experiencia y lección para el futuro.

### Lista de Referencias

*Alpha Decay - Alpha Radioactivity*. (s.f). Nuclear Power. Recuperado de:

<https://www.nuclear-power.com/nuclear-power/reactor-physics/atomic-nuclear-physics/radioactive-decay/alpha-decay-alpha-radioactivity/>

*Aniquilación partícula-antipartícula*. (s.f) Química.es Recuperado de:

[https://www.quimica.es/enciclopedia/Aniquilaci%C3%B3n\\_part%C3%ADcula-antipart%C3%ADcula.html](https://www.quimica.es/enciclopedia/Aniquilaci%C3%B3n_part%C3%ADcula-antipart%C3%ADcula.html)

*Anomalous Cosmic Rays*. (s.f). COSMOS - The SAO Encyclopedia of Astronomy. Recuperado

de: <https://astronomy.swin.edu.au/cosmos/A/Anomalous+Cosmic+Rays>

Arrazola, D. (2022). *Estudio de la topología de la lámina de corriente heliosférica (HCS)*.

Biblioteca Digital Universidad de Alcalá. Recuperado de:

<https://ebuah.uah.es/dspace/handle/10017/55433?locale-attribute=es>

*Auger Open Data*. (s.f). Observatorio Pierre Auger. Recuperado de

<https://opendata.auger.org/outreach.php?lan=es>

Bertran, P. (s.f). *Las 21 sondas que hemos enviado al espacio*. Médicoplus. Recuperado de:

<https://medicoplus.com/ciencia/sondas-enviado-espacio>

Castillero, O. (28 de agosto de 2019). *Las 10 ramas de la Física y sus ámbitos de conocimiento*.

Psicología y Mente. Recuperado de:

<https://psicologiyamente.com/cultura/ramas-de-fisica>

Castillo, G. (Diciembre de 1984). *Breve Historia de la Física en Colombia*. Recuperado de:

[https://www.accefyn.com/revista/Volumen\\_16/60/79-84.pdf](https://www.accefyn.com/revista/Volumen_16/60/79-84.pdf)

*Catalogue of the Forbush-effects and interplanetary disturbances*. (s.f). Izmiran Space Weather

Prediction Center. Recuperado de: <http://spaceweather.izmiran.ru/eng/fds2015.html>

Coluccio, E. (15 de julio de 2021). *Campo Magnético*. Concepto. Recuperado de:

<https://concepto.de/campo-magnetico/>

Congreso de Colombia. 4 julio. Constitución Política 1 de 1991 Asamblea Nacional

Constituyente. Función Pública. Recuperado de

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=4125>

Congreso de Colombia. 5 febrero. Ley 44 de 1993, *Por la cual se modifica y adiciona la Ley 23*

*de 1982 y se modifica la Ley 29 de 1944*. Función Pública. Recuperado de

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=3429>

Congreso de Colombia. 6 diciembre. Ley 2162 de 2021, *Por medio de la cual se crea el*

*Ministerio de Ciencia, Tecnología, E Innovación y se dictan otras disposiciones*. Función

Pública. Recuperado de

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=174026>

Congreso de Colombia. 8 febrero. Decreto 393 de 1991, *Por el cual se dictan normas sobre*

*asociación para actividades científicas y tecnológicas, proyectos de investigación y*

*creación de tecnologías*. Función Pública. Recuperado de

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=67131>

Congreso de Colombia. 23 enero. Ley 1286 de 2009, *Por la cual se modifica la Ley 29 de 1990,*

*se transforma a Colciencias en Departamento Administrativo, se fortalece el Sistema*

*Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación en Colombia y se dictan otras*

*disposiciones*. Función Pública. Recuperado de

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=34850>

Congreso de Colombia. 25 octubre. Decreto 1806 de 1930, *Por el cual se reorganiza el*

*Observatorio Astronómico Nacional*. Sistema Único de Información Normativa.

Recuperado de

<https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Decretos/1353948>

Congreso de Colombia. 26 febrero. Decreto 591 de 1991, *Por el cual se regulan las modalidades específicas de contratos de fomento de actividades científicas y tecnológicas*. Función Pública. Recuperado de

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=1360>

*Cosmic Rays*. (s.f). COSMOS - The SAO Encyclopedia of Astronomy. Recuperado de:

<https://astronomy.swin.edu.au/cosmos/c/cosmic+rays>

*Cosmic Rays*. (s.f). Institute of Physics. Recuperado de:

<https://www.iop.org/explore-physics/physics-around-you/understanding-surroundings/cosmic-rays#gref>

*Cosmic Rays Electromagnetic Cascade*. (12 de abril de 2016). PhysicsOpenLab. Recuperado de:

<https://physicsopenlab.org/2016/04/12/cosmic-rays-cascade/>

*Cosmic rays: particles from outer space*. (s.f). CERN. Recuperado de:

<https://home.cern/science/physics/cosmic-rays-particles-outer-space>

Cosoy, N. (16 de junio de 2016). *"¡Uy, esta vaina quedó mal orientada!": la extraordinaria historia del observatorio en Bogotá, el más antiguo de América*. BBC Mundo.

Recuperado de: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-america-latina-40296057>

*Detectores de Rayos Cósmicos*. (s.f). SEA. Recuperado de:

<https://www.sea-astronomia.es/glosario/detectores-de-rayos-cosmicos>

Dittrich, M. (1 de octubre de 2020). *Catching Cosmic Rays*. Recuperado de:

[https://reu.physics.ucsb.edu/sites/default/files/sitefiles/REUPapersTalks/Catching\\_Cosmic\\_Rays.pdf](https://reu.physics.ucsb.edu/sites/default/files/sitefiles/REUPapersTalks/Catching_Cosmic_Rays.pdf)



*Fotón*. (s.f). Quimica.es. Recuperado de:

<https://www.quimica.es/enciclopedia/Fot%C3%B3n.html>

*Galactic Cosmic Rays*. (s.f). COSMOS - The SAO Encyclopedia of Astronomy. Recuperado de:

<https://astronomy.swin.edu.au/cosmos/G/Galactic+Cosmic+Rays>

*Gamma Decay*. (s.f). Energy Education. Recuperado de:

[https://energyeducation.ca/encyclopedia/Gamma\\_decay](https://energyeducation.ca/encyclopedia/Gamma_decay)

Garay, J. (4 de julio de 2023). *¿Qué son las Supernovas?: Los rastros estelares a lo largo del tiempo*. WIRED. Recuperado de:

<https://es.wired.com/articulos/que-son-las-supernovas-los-rastros-estelares-a-lo-largo-del-tiempo>

García, P. (s.f). *Rayos Cósmicos*. CERN. Recuperado de:

<https://indico.cern.ch/event/572737/contributions/2612066/attachments/1482662/229994/5/PGA-Rayos-cosmicos.pdf>

Ghag, K., Tari, P., Raghav, A., Shaikh, Z., Dhamane, O., Panchal, U., ... Kumbhar, K.

(Noviembre de 2023). *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*.

ScienceDirect. Recuperado de:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S136468262300144X>

Gil, L. (7 de julio de 2021). *La radiación cósmica: Por qué no debería ser motivo de preocupación*. Organismo Internacional de Energía Atómica. Recuperado de:

<https://www.iaea.org/es/newscenter/news/radiacion-cosmica-por-que-no-deberia-ser-motivo-de-preocupacion-en-ingles>

*Hadrón*. (s.f). Quimica.es. Recuperado de:

<https://www.quimica.es/enciclopedia/Hadr%C3%B3n.html>

*Historia de la física.* (s.f). TodaMateria. Recuperado de:

<https://www.todamateria.com/historia-de-la-fisica/>

*Historia de la Investigación de los Rayos Cósmicos.* (s.f). Observatorio Pierre Auger.

Recuperado de:

<https://visitantes.auger.org.ar/index.php/historia-de-la-investigacion-de-los-rayos-cosmicos/>

Hunt, K. (23 de noviembre de 2023). *Mysterious cosmic ray observed in Utah came from beyond our galaxy, scientists say.* CNN World. Recuperado de:

<https://edition.cnn.com/2023/11/23/americas/powerful-cosmic-ray-amaterasu-particle-detected-scn/>

*Impacto: Efectos tecnológicos y biológicos de los rayos cósmicos.* (s.f) Neutron Monitor

Database. Recuperado de: [https://www.nmdb.eu/public\\_outreach/es/05/](https://www.nmdb.eu/public_outreach/es/05/)

Kilifarska, A., Bakhmutov, V., Melnyk, G. (2020). *The Hidden Link between Earth's Magnetic Field and Climate.* ScienceDirect. Recuperado de:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B978012819346400005X>

*Leptón.* (s.f). Quimica.es. Recuperado de:

<https://www.quimica.es/enciclopedia/Lept%C3%B3n.html>

Linsell, R. (2021). *Pair Production and Annihilation, Notes and Video Tutorial.* Fizzics.org.

Recuperado de: <https://www.fizzics.org/pair-production-and-annihilation/>

Mahanta, U. (s.f). *Cosmic Rays.* Recuperado de:

[https://bhattadevuniversity.ac.in/docs/studyMaterial/Dr%20UpakulMahanta\\_Physics\\_UG6th%20Sem\\_major\\_Cosmic%20Rays.pdf](https://bhattadevuniversity.ac.in/docs/studyMaterial/Dr%20UpakulMahanta_Physics_UG6th%20Sem_major_Cosmic%20Rays.pdf)

Matzka, J., Stolle, C., Yamazaki, Y., Bronkalla, O., Morschhauser, A. (s.f). *Top 50 geomagnetic storms of 2005*. SpaceWeatherLive.com. Recuperado de:

<https://www.spaceweatherlive.com/en/auroral-activity/top-50-geomagnetic-storms/year/2005.html>

Matzka, J., Stolle, C., Yamazaki, Y., Bronkalla, O., Morschhauser, A. (s.f). *Top 50 geomagnetic storms of 2017*. SpaceWeatherLive.com. Recuperado de:

<https://www.spaceweatherlive.com/en/auroral-activity/top-50-geomagnetic-storms/year/2017.html>

*Mesón (Partícula)*. (s.f). Quimica.es. Recuperado de:

[https://www.quimica.es/enciclopedia/Mes%C3%B3n\\_%28part%C3%ADcula%29.html](https://www.quimica.es/enciclopedia/Mes%C3%B3n_%28part%C3%ADcula%29.html)

*Midiendo los Rayos Cósmicos*. (s.f) IceCube MasterClass. Recuperado de:

[https://masterclass.icecube.wisc.edu/es/icetop/midiendo\\_rayos\\_cosmicos](https://masterclass.icecube.wisc.edu/es/icetop/midiendo_rayos_cosmicos)

Minciencias/Colciencias. 20 febrero. Resolución 0167 de 2019, *Por la cual se adoptan los lineamientos para una Política de Ciencia Abierta en Colombia*. Minciencias.

Recuperado de <https://minciencias.gov.co/normatividad/resolucion-0167-2019>

Minciencias/Colciencias. 30 noviembre. Acuerdo 9 de 2006, *Por el cual, se adoptan definiciones, criterios y procedimientos para la calificación de los proyectos como de carácter científico, tecnológico o de innovación, para los efectos previstos en el artículo 158-1 del estatuto tributario*. Minciencias. Recuperado de

<https://minciencias.gov.co/node/344>

*Muón*. (s.f). Quimica.es. Recuperado de:

<https://www.quimica.es/enciclopedia/Mu%C3%B3n.html>

*Negative Beta Decay – Electron Decay*. (s.f) Nuclear Power. Recuperado de:

<https://www.nuclear-power.com/nuclear-power/reactor-physics/atomic-nuclear-physics/radioactive-decay/beta-decay-beta-radioactivity/negative-beta-decay-electron-decay/>

*Neutrino*. (s.f). Quimica.es. Recuperado de: <https://www.quimica.es/enciclopedia/Neutrino.html>

*Nucleón*. (s.f). Quimica.es. Recuperado de:

<https://www.quimica.es/enciclopedia/Nucle%C3%B3n.html>

Pérez, J., Gardey, A. (15 de agosto de 2022). *Electroscopio*. Definición.de. Recuperado de:

<https://definicion.de/electroscopio/>

*Pion Decay - Solution Not*. (s.f). Tabor Electronics. Recuperado de:

<https://www.taborelec.com/Pion-Decay-Solution-Not>

*Qué son las tormentas geomagnéticas*. (s.f). Instituto Geográfico Nacional. Recuperado de:

<https://www.ign.es/web/gmt-que-son-tormentas-geomagneticas>

*¿Qué Son los Rayos Cósmicos?* (s.f). Observatorio Pierre Auger. Recuperado de:

<https://visitantes.auger.org.ar/index.php/que-son-los-rayos-cosmicos/>

Renga, F. (Noviembre de 2019). *Experimental searches for muon decays beyond the Standard Model*. ScienceDirect. Recuperado de:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405428318300601>

Sanchez, M. (s.f). *Breve historia de la Física*. Universidad de Sevilla. Recuperado de:

[https://fisica.us.es/la\\_facultad/breve\\_historia\\_de\\_la\\_fisica](https://fisica.us.es/la_facultad/breve_historia_de_la_fisica)

Schröder, F. (2012). *Instruments and Methods for the Radio Detection of High Energy Cosmic Rays*. Semantic Scholar. Recuperado de:

<https://www.semanticscholar.org/paper/Instruments-and-Methods-for-the-Radio-Detection-of-Schr%C3%B6der/f76ef6aefb0f85c3f4341bb30344fe8519c1d6d7>

Solano, F. (23 de febrero de 2023). *¿Qué es la Astrofísica? historia y campo de estudio*.

Encuentra Tu Tarea. Recuperado de:

<https://encuentratutarea.com/que-es-la-astrofisica-historia-y-campo-de-estudio/>

*Solar Cosmic Rays*. (s.f). COSMOS - The SAO Encyclopedia of Astronomy. Recuperado de:

<https://astronomy.swin.edu.au/cosmos/S/Solar+Cosmic+Rays>

Strauss, R., Engelbrecht, N. (17 de abril de 2023). *Disentangling the Sun's Impact on Cosmic*

*Rays*. Physics APS. Recuperado de: <https://physics.aps.org/articles/v16/62>

Tomé, C. (6 de febrero de 2018). *Equivalencia entre masa y energía*. Cuaderno de Cultura

Científica. Recuperado de:

<https://culturacientifica.com/2018/02/06/equivalencia-masa-energia/>

*Ultra-high Energy Cosmic Rays*. (s.f). COSMOS - The SAO Encyclopedia of Astronomy.

Recuperado de:

<https://astronomy.swin.edu.au/cosmos/U/Ultra-high+Energy+Cosmic+Rays>

*Una Guía sobre el Ciclo Solar y El Clima Espacial*. (s.f). National Environmental Satellite, Data, and Information Service. Recuperado de:

<https://www.nesdis.noaa.gov/una-guia-sobre-el-ciclo-solar-y-el-clima-espacial>

Universidad Industrial de Santander. 20 mayo. Acuerdo 043 de 2011, *Por el cual se adopta el*

*Estatuto de Investigación de la Universidad Industrial de Santander*. Universidad

Industrial de Santander. Recuperado de

<https://uis.edu.co/wp-content/uploads/2022/07/Estatuto-de-Investigacion.pdf>

Universidad Industrial de Santander. 23 noviembre. Acuerdo 046 de 2020, *Por el cual se*

*aprueba la Política de Investigación de la Universidad Industrial de Santander*.

Universidad Industrial de Santander. Recuperado de

<https://uis.edu.co/wp-content/uploads/2022/06/politicasInvestigacion.pdf>

## Lista de Figuras

Figura 1.1: Ilustración de la difusión de partículas en el campo magnético.....	30
Figura 1.2: Polaridad de los campos magnéticos solares.....	31
Figura 1.3: Conteo de rayos cósmicos realizado por el monitor de neutrones de Hermanus.....	32
Figura 1.4: Interacciones entre partículas en un rayo cósmico secundario.....	34
Figura 1.5: Diagrama de desintegración alfa.....	35
Figura 1.6: Diagrama de desintegración beta.....	36
Figura 1.7: Desintegración de piones cargados en muones y neutrinos.....	37
Figura 1.8: Desintegración de un muón en dos neutrinos y un electrón.....	38
Figura 1.9: Desintegración de un pion neutro en dos fotones.....	39
Figura 1.10: Diagrama de Feynman de aniquilación de un par electrón-positrón en dos fotones.....	40
Figura 1.11: Diagrama de Feynman de formación de un par de electrón-positrón a partir de un fotón.....	40
Figura 1.12: Diagrama de desintegración gamma.....	41
Figura 1.13: Diagrama general de partículas en un rayo cósmico secundario.....	42
Figura 1.14: Modelo 3D de una cascada electromagnética producida por un rayo cósmico.....	51
Figura 2.1: Comandos de 'startDate' y 'stopDate' que permiten definir en qué intervalo se desean observar los datos.....	62
Figura 2.2: Conteo de rayos cósmicos por metro cuadrado por segundo con respecto a la fecha.....	63
Figura 2.3: Conteo de rayos cósmicos en el mes de septiembre de 2017.....	64
Figura 2.4: Conteo de rayos cósmicos en el mes de agosto de 2005.....	65