

ACTIVIDAD SOLAR Y SU RELACIÓN CON EL CAMBIO DE
TEMPERATURA EN LA TIERRA



UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA
NACIONAL
Educadora de educadores

SANDRA PATRICIA MOLINA GARCÍA

2008246028

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

DEPARTAMENTO DE FÍSICA

BOGOTÁ D.C.

2013

ACTIVIDAD SOLAR Y SU RELACIÓN CON EL CAMBIO DE
TEMPERATURA EN LA TIERRA

Trabajo de grado para optar por el título de:
Licenciado en Física

Director:

MSc. Giovanni Cardona

MSc. Ignacio Alberto Monroy Cañon

Ph.D. Santiago Vargas Domínguez

Sandra Patricia Molina García

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
BOGOTÁ D.C.

2013


NOTA DE ACEPTACIÓN

ASESOR

JURADO 1


JURADO 2

BOGOTÁ 2013

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>República de Colombia</small>	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 02-08-2013	Página 1 de 3	

1. Información General	
Tipo de documento	Trabajo de Grado
Acceso al documento	Universidad Pedagógica Nacional. Biblioteca Central
Título del documento	Actividad Solar Y Su Relación Con El Cambio De Temperatura En La Tierra.
Autor(es)	MOLINA GARCÍA, Sandra Patricia
Director	Ignacio Alberto Monroy Cañón
Publicación	Bogotá D.C, Universidad Pedagógica Nacional, 2013
Unidad Patrocinante	Universidad Pedagógica Nacional – Bogotá
Palabras Claves	Actividad solar, coeficiente de correlación, manchas solares, radiación, Sol, Tierra.

2. Descripción
<p>La actividad solar genera variaciones en la radiación solar por lo cual es un factor que interviene y permite estudiar los posibles cambios de temperatura de la Tierra. Las variaciones en la actividad solar pasan por un estado mínimo y un estado máximo; estos estados vienen determinados por el número de manchas solares presentes en la fotosfera solar, siendo el número de manchas solares un indicador de la actividad solar.</p> <p>Partiendo del fenómeno conocido como la pequeña edad de hielo que se originó por un periodo de 70 años, donde el número de manchas solares presentes en la fotosfera solar fue muy bajo siendo tan sólo de un 2% el número de días en el cual se observaron y registraron manchas solares sobre la superficie solar. Este fenómeno afectó y disminuyó la temperatura de la Tierra, ya que la radiación que el Sol emitía al espacio fue menor. Al calcular el coeficiente de correlación y determinación entre la radiación solar y la temperatura de la Tierra para la época que va de 1880 a 2012, se obtiene que el 26% de los cambios en la temperatura son debidos a las variaciones en la radiación emitida por el Sol; estos datos son tomados del satélite SORCE y la agencia federal NOAA.</p> <p>El presente trabajo de grado es realizado en dos partes: La primera es un análisis estadístico con los datos actuales hasta el 2012 de los datos experimentales de radiación solar y la temperatura de la Tierra obtenidos de estas agencias mencionadas. Se obtuvo una correlación baja de 0,51, cuyo resultado es algo mayor al último publicado en el 2002.</p> <p>La segunda parte consiste en el diseño e implementación de una práctica de aula en torno a la actividad solar y la relación con la temperatura en la Tierra. Esta es llevada con los estudiantes del proyecto PRAE del Colegio Escuela Nacional De Comercio, con el objetivo de identificar y caracterizar la relación entre la actividad solar y los cambios de temperatura de la Tierra. El resultado de esta implementación fue un afianzamiento en el conocimiento propio de los estudiantes en esta temática, culminado todo este proceso en el diseño de una representación artística que permitía identificar las características entre la actividad solar y los cambios de temperatura.</p> <p>Al analizar las representaciones artísticas que realizan los estudiantes del proyecto PRAE, se obtiene que tres grupos de estudiantes tratan de representar lo que comprendieron identificando algunas características que genera la relación entre la actividad solar y los cambios de la temperatura en la Tierra, entre ellas encontramos las auroras boreales, los bucles coronales, la evolución de las líneas de campo</p>

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>Experiencia en Pedagogía</small>	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 02-08-2013	Página 2 de 3	

magnético, la emisión de la radiación al espacio, las manchas solares sobre la fotosfera solar y las capas del Sol, evidenciándose dificultades en los conceptos presentados, mientras que los otros dos grupos de estudiantes solo memoriza algunas de las temáticas presentadas en las sesiones de implementación.

3. Fuentes

Mendoza B. (2009). Las tormentosas relaciones entre el Sol y la Tierra. Instituto de Geofísica de la UNAM. México.

Eddy John A. (1976). The Maunder Minimum. Science, volume 192. Internet; <http://www.sciencemag.org/content/192/4245/1189.short>

Aubert Julien, Aurnou, J. (2008). The magnetic structure of convection-driven numerical dynamos. Geophys. Universidad de Concepción, Concepción, Chile, internet; http://www.mttmllr.com/GEO/MAG/geomag_07x2.pdf

Demetrescu Crisan, Dobrica Venera. (2008). Signature of Hale and Gleissberg solar cycles in the geomagnetic activity. Journal of Geophysical Research, Florida, Estados Unidos, internet; <http://ruby.fgcu.edu/courses/twimberley/envirophilol/signature.pdf>

Hathaway David H. (2010). The Solar Cycle. NASA Marshall Space Flight Center. Living Reviews, in solar physics. Huntsville, Estado Unidos. Internet; <http://solarphysics.livingreviews.org/Articles/lrsp-2010-1/fulltext.html>


Helden Van Albert, Isabel Burr. (1995). The Galileo Project. Institute for history and foundations of science. University of Utrecht. Utrecht, Holanda, internet; <http://galileo.rice.edu/sci/observations/sunspots.html>

4. Contenidos

El documento está conformado por cinco capítulos en los cuales se evidencia cada uno de los aspectos que permiten el desarrollo del trabajo, estos aspectos hacen referencia al marco teórico, el cual permite tener una base teórica para la recolección de la información y el posterior análisis de resultados.

El marco teórico trata los temas sobre las características de las manchas solares, la actividad solar, la constante solar, las teorías explicativas del origen de las manchas solares, el ciclo solar y el mínimo de Maunder. Además de esto se presenta el cálculo de los coeficientes de correlación y determinación, las graficas obtenidas de los datos de radiación solar, manchas solares y temperatura de la Tierra, y las representaciones realizadas por los estudiantes del proyecto PRAE (Proyecto Ambiental Escolar), sobre los temas presentados en las sesiones de implementación.

Este documento está compuesto por un primer capítulo donde se presenta la introducción, el planteamiento del problema y los objetivos. El segundo capítulo hace referencia a todo el marco teórico. Un tercer capítulo donde se describe la metodología de investigación y la descripción de la población con la cual se desarrollo el trabajo de grado. El cuarto capítulo permite evidenciar el desarrollo del trabajo en torno al análisis de datos, mostrando los cálculos del coeficiente de correlación y determinación, las graficas y la descripción de cada una de las sesiones de implementación de la propuesta de aula. El quinto capítulo da cuenta de los resultados obtenidos en la implementación. El sexto y último capítulo presenta el análisis de resultados obtenidos del cálculo del coeficiente de correlación y determinación, graficas, e implementación en el aula. Finalmente se presentan las conclusiones y la bibliografía.

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>República de Colombia</small>	FORMATO		
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE		
Código: FOR020GIB		Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 02-08-2013		Página 3 de 3	

5. Metodología

La metodología de investigación es de tipo descriptivo-correlacional. La investigación descriptiva se emplea para el análisis de los datos obtenidos en la implementación de la propuesta de aula, y la investigación descriptiva y correlacional para el análisis de los datos de radiación solar, manchas solares y temperatura de la Tierra. Además de esto se definen unas etapas que permiten el desarrollo del trabajo de grado las cuales son: diseño de la propuesta de aula, elaboración de gráficas y cálculo del coeficiente de correlación de Pearson, análisis fenomenológico, implementación y análisis poblacional.

La implementación se desarrollo con estudiantes del colegio Distrital Escuela Nacional De Comercio, con el grupo del proyecto PRAE (Proyecto Ambiental Escolar), los cuales pertenecen a los grados sexto, séptimo, octavo, noveno y decimo, en un periodo de tiempo que va del 17 de Septiembre de 2012 al 24 de Octubre de 2012 .

6. Conclusiones

- La presencia en la fotosfera solar de manchas solares genera variaciones en la constante solar, que es la energía emitida por el Sol. Estas variaciones en la constante solar debidas al número de manchas solares presentes en el Sol solo afecta la temperatura de la Tierra en un 1,15 %, lo cual evidencia que hay otros factores que afectan de manera más directa la temperatura de la superficie de la Tierra.
- Los fenómenos que se presentan en el Sol debido a las manchas solares generan épocas de máxima y mínima actividad solar, estas épocas se caracterizan por el aumento y disminución de la radiación emitida por el Sol, siendo mayor la radiación solar cuando hay mayor número de manchas solares y menor en ausencia de estas. Estas variaciones de la radiación solar son determinadas en un 72,92 % por el número de manchas solares presentes en el Sol.
- De acuerdo con las graficas y los coeficientes de correlación y determinación se establece que la relación entre la radiación solar y la temperatura de la superficie de la Tierra es moderada, ya que el coeficiente de correlación es de $r_{xy}=0,51$, lo cual significa que el 26,33 % de las variaciones en la temperatura son debidas a las variaciones en la radiación solar.
- Los estudiantes del colegio Escuela Nacional De Comercio que participaron en el proyecto PRAE caracterizan por medio de una representación artística la relación entre la actividad solar y los cambios de temperatura de la Tierra, donde identifican las manchas solares, los bucles coronales, las auroras boreales y los cambios en la rotación del Sol, los cuales son fenómenos característicos de la actividad solar y de los fenómenos presentes en la Tierra.

Elaborado por:	MOLINA GARCÍA, Sandra Patricia
Revisado por:	Ignacio Alberto Monroy Cañón

Fecha de elaboración del Resumen:	30	Julio	2013
--	----	-------	------

Índice general

Lista de figuras	VII
Lista de tablas	IX
1. ASPECTOS PRELIMINARES	1
1.1. Introducción	1
1.2. Planteamiento Del Problema	3
1.3. Objetivos	4
1.3.1. Objetivo General	4
1.3.2. Objetivos Específicos	4
2. MARCO TEÓRICO	6
2.1. Actividad Solar	7
2.2. Ciclo Solar	9
2.3. Mínimo De Maunder	12
2.4. Manchas Solares	13
2.4.1. La oscuridad de las manchas solares	16
2.5. Evolución Del Campo Magnético Solar Y Formación De Manchas Solares	16
2.6. Teorías Explicativas De Las Mancha Solares	25
2.6.1. Equilibrio de las manchas solares	25
2.6.2. Teoría torsional de las manchas solares	26

2.6.3.	Teoría de las manchas solares de Alfvén	27
2.7.	Constante Solar	27
2.7.1.	Calculó de la constante solar	28
3.	METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	30
3.1.	Metodología De Investigación Parte Disciplinar	30
3.2.	Metodología De Investigación Implementación En El Aula	31
3.2.1.	Descripción de la población	32
3.3.	Etapas para el desarrollo del trabajo	33
4.	DESARROLLO DEL PROYECTO	35
4.1.	Elaboración de gráficas	35
4.1.1.	Gráfica Radiación solar versus temperatura de la Tierra	36
4.1.2.	Gráfica radiación solar versus manchas solares	37
4.1.3.	Gráfica temperatura de la Tierra versus manchas solares	37
4.2.	Cálculo del coeficiente de correlación de Pearson	38
4.2.1.	Coeficiente de correlación entre radiación solar y temperatura	39
4.2.2.	Coeficiente de correlación entre radiación solar y número de manchas solares	39
4.2.3.	Coeficiente de correlación entre temperatura y número de man- chas solares	40
4.3.	Cálculo del coeficiente de determinación	40
4.3.1.	Coeficiente de determinación entre radiación solar y tempera- tura de la Tierra	41
4.3.2.	Coeficiente de determinación entre radiación solar y manchas solares	41
4.3.3.	Coeficiente de determinación entre temperatura de la Tierra y manchas solares	42
4.4.	Diseño de la propuesta de aula	42
4.4.1.	Sesión 1.	43

4.4.2. Sesión 2.	43
4.4.3. Sesión 3.	43
4.4.4. Sesión 4.	43
4.4.5. Sesión 5.	44
4.4.6. Sesión 6.	44
4.4.7. Sesión 7.	44
5. RESULTADOS IMPLEMENTACIÓN	46
6. ANÁLISIS DE RESULTADOS	52
6.1. Análisis de Gráficas, Coeficiente de Correlación y Determinación . . .	52
6.1.1. Radiación solar versus temperatura de la Tierra	52
6.1.2. Radiación solar versus manchas solares	53
6.1.3. Temperatura de la Tierra versus manchas solares	55
6.2. Análisis De Resultados Implementación	55
CONCLUSIONES	59
BIBLIOGRAFÍA	59
ANEXOS	62
Anexo 1.	63
Anexo 2.	65
Anexo 3.	67

Índice de figuras

2.1. Gráfica de actividad solar para la época de 800 a 1950 (Tomado de NASA).	12
2.2. Manchas solares observadas y dibujadas por el astrofísico Hevelius para la época de 1644 (Tomado de The Galileo Project).	14
2.3. Diagrama de mariposa. Polaridad magnética del grupo de manchas según los puntos cardinales (Tomado de NASA).	15
2.4. Diagrama de mariposa para los diferentes ciclos solares. Los máximos pocos presentan una mayor cantidad de manchas por área (Tomado de NASA).	15
2.5. Flotación magnética de un tubo de flujo (Tomado de Choudhuri, 2007).	18
2.6. Las diferentes etapas del proceso de Dinamo (Tomado de Choudhuri, 2007).	20
2.7. Coordenadas cartesianas locales en un punto en el hemisferio norte para un cuerpo esférico (Tomado de Choudhuri, 2007).	21
2.8. Representación esquemática de la idea de Parker de la dínamo turbulenta (Tomado de Choudhuri, 2007).	21
4.1. Gráfica de temperatura de la Tierra para la época de 1880 a 2012.	36
4.2. Gráfica radiación solar para la época de 1880 a 2012.	36
4.3. Gráfica radiación solar (curva roja) y gráfica de número de manchas solares (curva azul) para la época de 1880 a 2012.	37
4.4. Gráfica de temperatura terrestre (curva roja) contra manchas solares (curva azul).	38

6.1. Comparación entre los máximos picos de radiación solar (gráfica roja) y manchas solares (gráfica azul).	53
---	----

Índice de cuadros

3.1. Tabla descriptiva de los estudiantes del proyecto PRAE 2012 del Colegio Distrital Escuela Nacional De Comercio.	32
3.2. Tabla del calendario para el desarrollo de la implementación.	34
4.1. Tabla de datos para calcular el coeficiente de correlación.	39
4.2. Tabla de datos para calcular el coeficiente de correlación.	39
4.3. Tabla de datos para calcular el coeficiente de correlación.	40
6.1. Datos promedio para los ciclos solares 14, 16, 18, 19,21, 22, 23, 24 de TSI y SSN.	54
6.2. Registro de los ciclos solares que se presentaron a partir de los datos recolectados del isótopo ^{14}C en las cubiertas de hielo.(Usoskin, 2008).	64

Capítulo 1

ASPECTOS PRELIMINARES

1.1. Introducción

El Sol sostiene todos los procesos biodinámicos de la Tierra y determina las condiciones fisicoquímicas de los planetas vecinos (Mendoza, 2006), por lo cual es de suma importancia para la humanidad estudiar los efectos que tiene este astro en la Tierra, con el propósito de prevenir y actuar frente a este tipo de fenómenos que se presentan en el Sol; uno de estos efectos es el producido sobre el cambio de temperatura del planeta. El efecto que se produce en la temperatura terrestre se ha estudiado por diferentes científicos a nivel mundial junto con los ciclos solares, debido a que estos ciclos generan variaciones en la energía emitida por el Sol. La actividad solar está directamente relacionada con el fenómeno de las manchas solares; zonas de menor temperatura sobre la superficie solar que producen explosiones que expulsan grandes cantidades de materia en estado de plasma.

La energía que se emite en las zonas activas del Sol, genera fenómenos sobre la Tierra como las auroras boreales y australes, las tormentas geomagnéticas y los cambios de temperatura. El fenómeno relacionado con los cambios de temperatura ha tenido un amplio campo de estudio. Epocas históricas conocidas como el Mínimo Wolf, el Mínimo de Maunder y el Mínimo de Dalton , se caracterizan por una baja o total ausencia de manchas solares y además por una disminución en la temperatura de la Tierra.

Partiendo de los estudios realizados por diferentes científicos para encontrar el grado de relación entre las variables radiación solar y temperatura de la Tierra, se ha

encontrado que para las épocas anteriores a 1970 los efectos del Sol sobre los cambios de temperatura de la Tierra habían sido grandes pues al calcular el coeficiente de correlación para esta época se obtuvo un valor de $r=0,97$, pero más adelante al calcular el coeficiente de correlación entre la radiación solar y la temperatura de la Tierra por el científico Sami K. Solanki en el 2003 para los años de 1856 a 1999 se encontró que esta había disminuido siendo el valor de este coeficiente $r=0,83$.

Además de estas investigaciones donde se evidencia que los fenómenos solares afectan la temperatura de la Tierra, en el año 2002 es calculado el coeficiente de correlación entre la radiación solar y la temperatura de la Tierra por el científico Foukal para la época que va de 1915 a 1999, el valor encontrado para este periodo fué de $r=0,46$, lo que llevo a concluir que la interacción entre la radiación UV y el clima puede ser indirecta (Mendoza, 2005).

Este trabajo se desarrolla en dos partes. La primera parte hace referencia al análisis estadístico de los datos experimentales radiación solar, manchas solares y temperatura de la Tierra desde 1880 a 2012, donde se busca ver la variación que tuvo el coeficiente de correlación con respecto a los publicados anteriormente. La segunda parte de la investigación se desarrolla apartir de un trabajo de aula con una población de estudiantes de educación media, con la intención de divulgar esta tematica. Esto se realizo con un conjunto de actividades que se plantean en un módulo didáctico, una vez se obtienen los resultados de las actividades, son analizados a partir de una metodología descriptiva cualitativa.

El contenido de este documento esta conformado por un primer capítulo donde se presenta la introducción, el planteamiento del problema y los objetivos. El segundo capítulo hace referencia a todo el marco teórico. Un tercer capítulo donde se describe la metodología de investigación y la descripción de la población con la cual se desarrollo el trabajo de grado. El cuarto capítulo permite evidenciar el desarrollo del trabajo en torno al análisis de datos, mostrando los cálculos del coeficiente de correlación y determinación, las gráficas y la descripción de cada una de las sesiones de implementación de la propuesta de aula. El quinto capítulo presenta los resultados de la implementación de la propuesta de aula. El capítulo seis presenta el análisis de los resultados que se obtuvieron del cálculo de los coeficientes de correlación y determinación, las gráficas de manchas solares, radiación solar y temperatura de la Tierra y por último el análisis de los resultados de la implementación. Finalmente este trabajo culmina con las conclusiones y la bibliografía.

1.2. Planteamiento Del Problema

La enseñanza y estudio de la física debe aportar para el desarrollo de nuevas teorías que den explicación a los diferentes fenómenos naturales, para avances tecnológicos y en la escuela para el desarrollo de habilidades de pensamiento. La enseñanza de temáticas sobre física que estudian los factores que afectan al medio ambiente son de suma importancia, debido a que este tipo de temáticas buscan contribuir a la preservación de un medio ambiente sano y a la prevención de situaciones que afecten a los seres vivos. El Ministerio de Educación consideró necesaria la implementación en los colegios distritales de un proyecto dirigido al medio ambiente; este proyecto se conoce como PRAE (Proyecto Ambiental Escolar), y es un proyecto transversal que permite a la escuela generar actividades orientadas a temas ambientales donde se integran los diversos saberes para desarrollar competencias que permitan un mejor desempeño en las actividades de la vida diaria. Esto implica la construcción de conocimientos que apunten a la transformación de los contextos locales, regionales y nacionales (Ministerio de Educación, 2005); además de esto desarrolla propuestas alternativas que sean coherentes con la realidad cotidiana y la prospectiva de desarrollo de cada institución.

Para el desarrollo de esta propuesta de trabajo son importantes las características que tienen estos proyectos ya que permiten mostrar y manejar diferentes herramientas y métodos para lograr el objetivo de investigación. Esto da paso a crear un puente entre teoría y práctica por medio de la operacionalización a través de los planes de estudio y de convivencia, que se desarrollan en el aula, en espacios institucionales y en el entorno, con la perspectiva del desarrollo humano; además de esto son espacios generadores de procesos de investigación y de capacitación en equipo. Estos espacios dan a conocer herramientas metodológicas en el campo de la transversalidad académica y de convivencia, con el objeto de consolidar propuestas pedagógicas alternativas a las exigidas en la educación de la sociedad del conocimiento (Mutis L, 2009).

El proyecto PRAE permite estudiar los problemas ambientales y cambios en el clima que son causados por múltiples factores dentro de los cuales se encuentra el generado por la actividad solar. A raíz de la importancia que tiene para la humanidad un medio ambiente sano y una temperatura adecuada es que se han generado este tipo de proyectos que buscan generar una conciencia hacia el cuidado y la prevención de

situaciones que afecten a los seres vivos.

El cambio climático que se ha producido es debido principalmente a los gases de efecto invernadero que son originados por la actividad humana (Greenfacts, 2007), aunque este no es el único factor que estaría afectando el cambio de temperatura de la Tierra (Mendoza, 2009), ya que como se vió en la conocida como “Pequeña Edad de Hielo” durante las épocas de 1645 a 1715 las temperaturas descendieron con ciertas anomalías, llegando a ocasionar el congelamiento de gran parte de los países europeos. Estos cambios de temperatura registrados se relacionarían con la actividad solar, otra de las causas de este cambio climático, como lo considero el estudio realizado por Maunder (González, 2000), por lo que es esta variable la que se analiza y estudia en este trabajo, conduciendo a plantear la siguiente pregunta problema:

¿Qué características e influencia tiene la actividad solar en los cambios de temperatura de la Tierra?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Identificar y caracterizar la relación que tiene el cambio de temperatura de la Tierra y la presencia en el Sol de las manchas solares con el grupo de estudiantes del proyecto PRAE del colegio Escuela Nacional De Comercio.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Determinar el número de manchas solares y que consecuencias tienen en el cambio de temperatura de la Tierra.
- Caracterizar cuales son las épocas en las que el Sol se encuentra en su máximo o mínimo de manchas solares.
- Analizar las gráficas, el coeficiente de correlación y el coeficiente de determinación entre radiación solar, temperatura de la Tierra y manchas solares, y determinar cuál es el grado de relación entre estas variables.

- Identificar por medio de una representación artística si los estudiantes del proyecto PRAE relacionan la actividad solar y el cambio de temperatura de la Tierra.

Capítulo 2

MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se describe cada uno de los conceptos que se mencionan y desarrollan en este trabajo y los cuales permiten hacer el análisis de los resultados.

El Sol es la estrella más cercana a la Tierra y, presenta una serie de fenómenos que afectan a todos los cuerpos que se encuentran a su alrededor (o se encuentran dentro de la atmósfera solar). El hecho de que el Sol, que en la cosmología aristotélica era considerado una esfera perfecta e inmutable, no lo fuera, causó algunos impactos en la forma como se concebía este astro, y generó un mayor interés por estudiar detenidamente los fenómenos que se producían en esta estrella. La idea aristotélica sobre el Sol hizo pensar a los intelectuales de épocas anteriores al siglo XVII, que las zonas oscuras que se observaban sobre el disco solar, y que hoy conocemos como manchas solares, se debían al paso de algún planeta, como por ejemplo Mercurio por delante del Sol, como lo describió en uno de sus escritos Johannes Kepler. Estas ideas aristotélicas solo se tomaron en Europa, mientras que en China los registros sobre las manchas solares se remontan a los años 28 antes de Cristo. Las observaciones que permitieron obtener registros en estas civilizaciones se realizaron a simple vista (Helden, Burr, 1995).

El estudio científico de las manchas solares en occidente, dió inicio después de la llegada del telescopio a la astronomía, en el año de 1609. Los primeros en observar las manchas solares desde esta época fueron Galileo Galilei y Harriot Thomas a finales de 1610, mientras que otros científicos como Johannes Fabricius y Scheiner Christoph las observaron en 1611. La primera publicación que se realiza sobre estas observaciones fué hecha por Johannes Fabricius en 1611.

Galileo realizó algunas publicaciones sobre sus observaciones en 1623 y por esta misma época el matemático Scheiner escribió y publicó un tomo sobre los resultados de

sus observaciones que se denominó *Rosa Ursina*. Estas observaciones que se registraron por científicos de varios países europeos permitieron tener una base de datos para analizar lo que estaba pasando en el Sol en épocas que van desde 1610 a 1645. Después de 1645 se presentó un comportamiento diferente en la superficie solar, las manchas solares desde ese momento hasta 1710, mostraron una disminución a tal punto que en algunas temporadas desaparecieron por completo. Esta época que actualmente se conoce como el Mínimo de Maunder, presentó algunos efectos en la Tierra como la disminución de la temperatura que produjo el congelamiento de algunas zonas de Europa.

2.1. Actividad Solar

La actividad solar se mide teniendo en cuenta algunos factores importantes entre los cuales encontramos las erupciones, las variaciones en el campo magnético y la radiación que se emite hacia el medio interplanetario, así como los cambios en la cantidad de manchas solares. Las manchas solares que se presentan en la fotosfera solar determinan el grado de actividad solar en el cual se encuentra el Sol. Las manchas solares que desde épocas antiguas se han observado y las cuales tienen registros en diferentes lugares del mundo, son las causantes de diversas hipótesis sobre efectos que se evidencian en la Tierra.

Para la medida del grado de actividad solar se tienen en cuenta algunos índices de actividad solar, entre ellos encontramos los índices físicos y los índices sistemáticos, los cuales dependen de cómo se obtuvieron o calcularon. El índice físico permite cuantificar los valores que fueron medidos directamente de un observable físico real, este índice permite cuantificar las características físicas de los diferentes aspectos de la actividad solar y sus efectos. Por otro lado está el índice sintético que se calcula por medio de un algoritmo especial, llamado la serie Wolf de número de manchas solares (WSN por sus siglas en inglés), que toma los datos observados del fenómeno, en este caso será el número de manchas solares, y está definido por la ecuación (2.1).

$$R_Z = k(10G + N), \quad (2.1)$$

donde G es el número de grupos de manchas solares, N el número de manchas solares individuales en todos los grupos visibles en el disco solar, y k denota el factor de

corrección individual, que compensa las diferencias en las técnicas de observación y los instrumentos utilizados por diferentes observadores.

El índice más usado para medir el grado de actividad solar se basa en el número de manchas solares. Las manchas solares son zonas oscuras en el disco solar (de tamaño hasta decenas de miles de kilómetros), que se caracteriza por un fuerte campo magnético, lo que lleva a una temperatura más baja en la fotosfera (alrededor de $3726.85\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $5526.85\text{ }^{\circ}\text{C}$) y un oscurecimiento que se puede observar desde la Tierra (Usoskin, 2008).

El número de manchas es un índice sintético, en lugar de un índice físico, este parámetro es muy útil en la cuantificación del nivel de actividad solar. Este índice representa el número ponderado de manchas solares individuales y / o grupos de manchas, calculado en forma prescrita desde simples observaciones solares. Es común para cuantificar la actividad magnética solar hacerlo a través del número de manchas solares; es importante mencionar que esta medida se hace de manera directa (Usoskin, 2008).

Otro de los índices que se refieren a la actividad solar es el índice de flama, que representa la actividad de erupciones solares. También encontramos el radio flujo que se refiere a la radiación emitida en longitudes de onda iguales a 10,7 cm y se denomina F10,7. A menudo, se considera el área de manchas solares como un índice físico que representa la actividad solar. Este índice indica el área total de manchas visibles en el disco solar en unidades de millonésimas de hemisferio, corregidos por la distorsión aparente debido a la curvatura de la superficie solar (Tapping, 1994).

Una cantidad importante es la radiación solar total y espectral. Variaciones de radiación están físicamente relacionadas con los cambios que se presentan en el campo magnético solar (Solanki, 2000), y a menudo se consideran como manifestaciones de la actividad solar, lo cual es de gran importancia para las relaciones Sol-Tierra.

Por otro lado encontramos los índices indirectos de actividad solar que se caracterizan por los efectos que producen en su entorno, entre los cuales encontramos los terrestres/ geomagnéticos y los heliosféricos/ interplanetarios.

Los índices geomagnéticos son los que cuantifican la actividad geomagnética, que es causada por la variabilidad solar, como es el caso de la energía del viento solar y el campo magnético interplanetario. También se considera un índice geomagnético, la presencia de auroras en latitudes bajas; este índice está relacionado con la actividad

coronal, y no directamente con las manchas solares, por lo que solo funciona como un índice aproximado de la actividad solar.

El índice heliosférico está relacionado con las características del viento solar o el campo magnético interplanetario. Estos son medidos en el espacio interplanetario, un ejemplo de estas estimaciones son el tiempo de evolución del flujo magnético solar, el cual es un tema que está en discusión por algunos científicos (Usoskin, 2008).

Un caso especial en el índice heliosférico está relacionado con los rayos cósmicos galácticos, de los cuales se tienen registros terrestres, que permiten reconstruir la actividad solar a escalas de largo tiempo. También se encuentran reconstrucciones realizadas con información tomada del isótopo radiactivo ^{14}C ¹ que presenta variaciones en los anillos de árboles, y que se dio a conocer por el científico Schover, quien dijo que estas variaciones del isótopo ^{14}C en los árboles no se debía a cambios climáticos, sino a la actividad solar. Sin embargo este método no tuvo éxito, pues no permite la representación del Mínimo de Maunder, y tampoco el ciclo solar de once años, que Schover había construido hasta el año 2005.

Los estudios que buscan analizar las variaciones que se presentaron en el pasado en los ciclos solares, se han realizado con base en las moléculas cosmogénicas que se encontraron en Greenland y Antártica en las cubiertas de hielo. Estos registros se dieron a conocer en el año 2000, y permiten analizar los ciclos solares que se produjeron en el pasado, por medio del isótopo ^{10}Be que se encuentra en el hielo. También se realizan estudios similares con el isótopo ^{14}C en las series de Solanki (Ver Anexo 1. Isótopo Radiactivo ^{14}C)(Usoskin, 2008).

2.2. Ciclo Solar

El ciclo solar se caracteriza principalmente por la variación en el número de manchas que se presenta en la superficie solar. El primer astrónomo que identificó estas variaciones fué el danés Christian Horrebow en la década de 1770, y se basó en sus propias observaciones, realizadas para la época de 1761 a 1769. Aunque los estudios de Horrebow fueron olvidados, más adelante el astrónomo Schwabe anunció en 1844 que la actividad en las manchas solares variaba con una periodicidad de aproxima-

¹El isótopo ^{14}C tiene un periodo de semidesintegración de 5730 años, lo cual permite un estudio a largo plazo de la actividad solar.

damente once años. Este ciclo solar es el más destacado en la variación del número de manchas solares, y se conoce como ciclo de once años o Schwabe (Eddy, 1976).

El ciclo solar de once años se caracteriza por las variaciones que se presentan en el Sol, el clima espacial, el campo magnético terrestre, el clima de la Tierra, entre otros. Este ciclo solar de once años tiene su origen en el ciclo solar de Hale, el cual tiene un periodo de veintidós años, presentando un cambio de polaridad en el campo magnético del Sol. El físico solar George Ellery Hale, fué el primero que relacionó las variaciones del campo magnético solar con el número de manchas solares. Se considera que el ciclo de once años de Schwabe, es el inicio del cambio de polaridad magnética del ciclo de Hale (Eddy, 1976).

Por otro lado se conoce un ciclo solar que es mucho más largo que el de Schwabe de once años, este ciclo solar se llama ciclo de Gleissberg, y se cree que es una modulación de envoltura de los ciclos de once años. El ciclo de Gleissberg tiene un periodo que varía entre sesenta y ciento veinte años, se considera un ciclo secular. Los registros para dar cuenta de esta variación se lograron mediante los análisis espectrales de datos de radiocarbonos. Sin embargo hay que tener en cuenta que este ciclo aun está en estudio (Hathaway, 2010).

Los ciclos asociados a este periodo denominado ciclo de Gleissberg, son el Mínimo de Maunder, abarcando una época de setenta años, el Mínimo de Spörer que abarcó un periodo de cien años, desde 1450 a 1550. Además de los anteriores ciclos encontramos el ciclo de Wolf que se dio en el siglo XIV, y el Mínimo de Dalton para la época de 1790 a 1820.

La aparición de manchas solares se ha registrado mediante datos que muestran series de regularidad y aleatoriedad, pero que aún no establecen una relación clara sobre estos comportamientos, por lo que es un tema de discusión en la actualidad que debe permitir aclarar si estos procesos son caóticos y estocásticos².

La teoría que da una posible explicación a la actividad solar, es la teoría dinamo que se ha propuesto por físicos como Charbonneau y Dikpati quienes estudiaron las fluctuaciones estocásticas en el modelo dinamo de Babcock-Leighton, este estudio tuvo éxito en la reproducción cualitativa de la anti-correlación entre la amplitud y

²Proceso estocástico: el comportamiento es no determinista, en la medida que el subsiguiente estado del sistema está determinado tanto por las acciones predecibles del proceso como por elementos aleatorios.

la duración del ciclo.

En general los métodos que se utilizan para predecir la actividad solar, no permiten obtener resultados completos y exactos de lo que puede suceder a largo plazo, sino que estos métodos solo logran hablar de un ciclo, ya que la actividad solar se considera un fenómeno de naturaleza estocástica y caótica. En consecuencia, estos intentos pueden ser considerados como especulativos, a menos que sean verificados por el comportamiento real de la actividad solar. Es importante tener en cuenta que incluso una predicción exacta de la amplitud de un ciclo solar puede ser sólo una coincidencia al azar y no puede servir como una prueba de veracidad del método. Sólo una secuencia de predicciones acertadas puede formar una base para la confianza, que requiere varias décadas. Algunos de los ciclos que se mencionan anteriormente son representados en la Figura 2.1.

Esta gráfica se obtuvo por medio de datos tomados a partir del isótopo ^{14}C , y representa los ciclos que se denominan Gran Mínimo y los de máxima actividad solar. Entre los que se observan en la gráfica encontramos el Mínimo de Oort que se dió en la época que va de 1010 a 1050, en donde la actividad solar descende, pero vuelve a aumentar desde 1050 a 1080. También se representa el Máximo Medieval que va de 1100 a 1250, seguido por el Mínimo de Wolf ocurrido en los años que van de 1280 a 1350. El Mínimo de Spörer, es seguido por el Mínimo de Maunder y el Máximo Moderno que alcanzó el pico más alto en 1950 y en 1990 (Eddy, 1983).

Se puede ver que desde que finalizó el Máximo Medieval en 1080 pasaron 870 años para que iniciara el Máximo Moderno que dió inicio en 1950. Esta larga época se vió afectada por tres mínimos solares, los cuales tuvieron periodos que abarcaron desde 30 años como el Mínimo de Dalton, a un periodo de 90 años como el Mínimo de Spörer (la duración del ciclo es tomado desde el año en que inicia la aparición de las manchas solares hasta el año en que desaparecen por completo). Sin embargo no se puede afirmar que el periodo que va del Máximo Medieval al Máximo Moderno, sea cíclico, ya que no se tiene información sobre cuando se pudo haber dado el máximo solar anterior al medieval, pero que posiblemente sea un gran ciclo de modulación de los ciclos de Gleissberg, así como se considera por algunos astrofísicos que los ciclos de Hale y Schwabe son modulados por el ciclo de Gleissberg (Yousef, 2000).

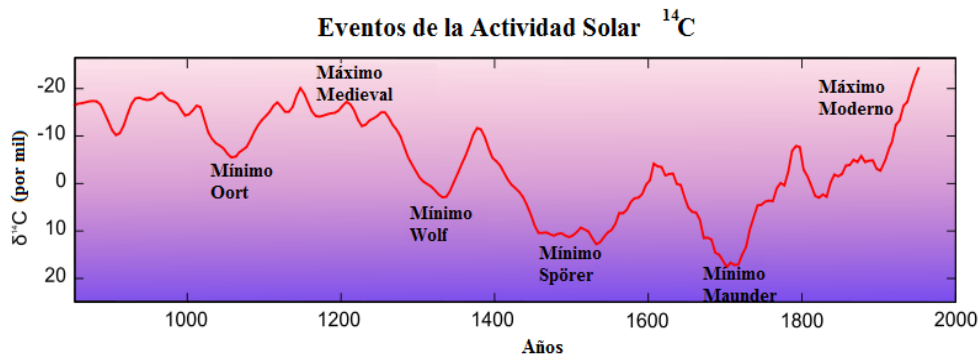


Figura 2.1: Gráfica de actividad solar para la época de 800 a 1950 (Tomado de NASA).

2.3. Mínimo De Maunder

El Mínimo de Maunder, también conocido como la pequeña edad de hielo, se presentó en la época de 1645 a 1715 aproximadamente, fué un periodo donde los países europeos y el norte de América se vieron afectados por las bajas temperaturas que congelaron varios ríos y ciudades. Además de esto se presentaron hambrunas y miles de muertes debido a la escases de alimentos. En esta época los ciclos de once años no se indicaron, la cantidad de manchas solares que se observaron fueron de cincuenta durante un periodo de 30 años, y un 2% de días solo presentó manchas solares durante todo el periodo (Usoskin, 2003).

El comportamiento de las manchas solares en esta época fué dominada por el ciclo de 22 años, pues según registros observacionales las manchas que se presentaron en este ciclo tuvieron una regularidad de acuerdo a este periodo, pero aun así eran muy pocas las manchas que se observaban sobre la superficie solar. Esta periodicidad del ciclo de 22 años se vio dominada desde 1645 a 1700. El ciclo de Schwabe de 11 años comenzó a prevalecer en la actividad solar después de 1700. La recuperación de la actividad de las manchas solares desde la profundidad mínima a la actividad normal fué gradual, pasando por una etapa de amplificación casi lineal del ciclo de 11 años (Usoskin, 2000).

Aunque el Mínimo de Maunder es el único que tiene observaciones directas de manchas solares, su predecesor, el Mínimo Spörer está cubierto por precisas mediciones semestrales de ^{14}C . El análisis de estos datos muestra un patrón similar con el dominante ciclo de 22 años, suprimiendo el ciclo de 11 años, lo que apoya la idea de que el escenario general anterior puede ser típico para un mínimo de cola.

Un punto importante que se observó en este ciclo fué el cambio de polaridad que se presentaba en las manchas solares, por ejemplo al final del ciclo del Mínimo de Maunder las manchas solares de polaridad negativa presentaron en el siguiente ciclo una polaridad positiva; esto se demostró y comprobó al mirar el inicio del Mínimo de Dalton (Usoskin, Mursula, 2009).

2.4. Manchas Solares

Las manchas solares son zonas oscuras que se presentan en la fotosfera solar. Este oscurecimiento se debe a que en estas zonas el campo magnético es 2500 veces más fuerte que el de la Tierra (teniendo en cuenta que el valor del campo magnético terrestre es de 0.307 Gauss en la zona del Ecuador), y mucho más fuerte que el de cualquier otra zona del Sol. Debido al fuerte campo magnético, la presión magnética aumenta mientras que la presión atmosférica circundante disminuye. Esto a su vez disminuye la temperatura con relación a su entorno porque el campo magnético concentrado inhibe el flujo de gas caliente nuevo desde el interior del Sol a la superficie. Las manchas solares se observan oscuras ya que la temperatura de la superficie circundante del Sol (la fotosfera) es de unos $5537.78\text{ }^{\circ}\text{C}$, mientras que el cono de sombra es de unos $3482.2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Las manchas solares son bastante grandes, teniendo un tamaño en promedio de aproximadamente el tamaño de la Tierra. Las manchas solares presentan dos partes, una es la umbra que es la zona más oscura, y la otra es la parte que rodea la umbra llamada penumbra que presenta un oscurecimiento más ligero (NOAA, 2013).

Las manchas solares fueron observadas por varios científicos, entre ellos Galileo Galilei, Harriot, Scheiner, Gassendi, entre otros. Una de las evidencias que se tienen se muestran en los diferentes diagramas que cada uno de los autores realizó mientras hacía sus observaciones. En el siguiente gráfico se muestra una de las representaciones que permiten analizar el comportamiento de las manchas solares.

Este diagrama fué realizado por Helvelius basado en sus propias observaciones, y se ve claramente la simetría que hay entre las manchas solares que se encuentran en el hemisferio norte y las que se presentan en el hemisferio sur (Figura 2.2).

La evolución que tienen las manchas en la fotosfera solar es representada por el diagrama de mariposa. El comportamiento que representa este diagrama fué estudiado

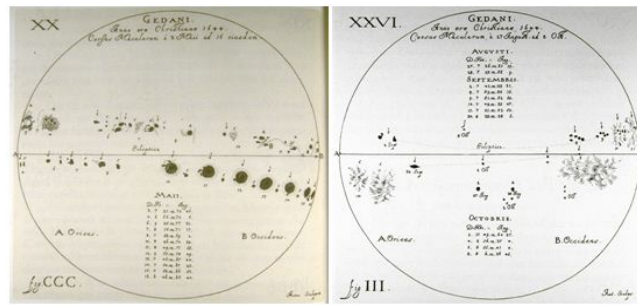


Figura 2.2: Manchas solares observadas y dibujadas por el astrofísico Hevelius para la época de 1644 (Tomado de The Galileo Project).

por Spörer. Este diagrama muestra que las manchas solares se presentan al inicio del ciclo a latitudes aproximadas de $30^\circ - 40^\circ$, luego al alcanzar un máximo solar, se observan en las zonas cercanas al ecuador entre 5° y 10° de latitud, esto se cumple para el hemisferio norte y sur; además de esto mientras que las manchas se presentan en el ecuador, en las latitudes más altas se empiezan a formar nuevas manchas solares que darán inicio al nuevo ciclo. Este comportamiento en las manchas solares se conoce como la ley de Spörer.

El diagrama de mariposa también nos muestra la polaridad de las manchas en el hemisferio norte y sur, además permite dar cuenta de la ubicación entre los grupos de manchas solares de acuerdo a la polaridad que cada mancha tiene, puesto que las manchas solares aparecen en parejas. Lo anterior se presenta en la Figura 2.3.

En este “diagrama magnético de mariposa”, (Figura 2.3) las regiones amarillas son ocupadas por campos magnéticos con polaridad positiva y las regiones azules con polaridad negativa. En las latitudes medias, el diagrama está dominado por intensos campos magnéticos sobre las manchas solares.

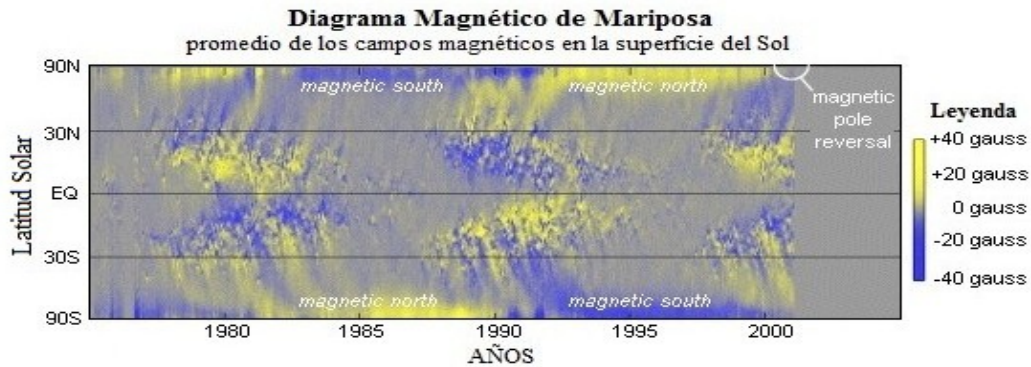


Figura 2.3: Diagrama de mariposa. Polaridad magnética del grupo de manchas según los puntos cardinales (Tomado de NASA).

La gráfica (Figura 2.4) muestra la evolución que tienen las manchas solares, si se dibuja la latitud en la que se encuentra la mancha solar en función del tiempo, al transcurso de varios ciclos solares; estas variaciones se logran ver mediante los magnetogramas.” *Un magnetograma es un mapa donde se evidencia como varia la intensidad, la polaridad y la ubicación de los campos magnéticos en toda la superficie del Sol*” (Guarín, Segura, 2010). En esta gráfica se evidencia una mayor cantidad de manchas en las zonas con latitudes menores a 30 grados, cuando se alcanzan los máximos de actividad solar.

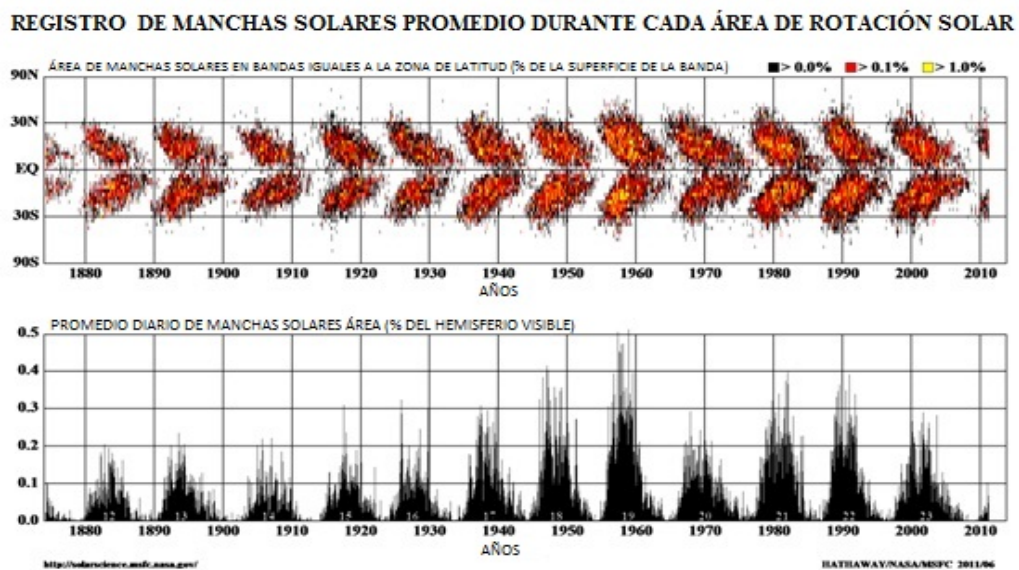


Figura 2.4: Diagrama de mariposa para los diferentes ciclos solares. Los máximos pocos presentan una mayor cantidad de manchas por área (Tomado de NASA).

Las manchas solares aparecen cuando profundas cuerdas de flujo toroidal, suben a través de la envoltura convectiva y emergen en la fotosfera. El diagrama de mariposa puede interpretarse como un mapa espacio - temporal del componente de campo magnético toroidal interno, a gran escala en el Sol.

2.4.1. La oscuridad de las manchas solares

El color oscuro de las manchas solares es debido a una disminución en la temperatura de estas zonas donde se presentan campos magnéticos muy grandes. Pero este oscurecimiento es debido a que el campo magnético se opone al establecimiento de la convección. Este proceso convectivo es el que se encarga del transporte de la radiación la cual genere un gradiente de temperatura sobre adiabático. Entonces si las fuerzas magnéticas que presentan las manchas, detienen o reducen considerablemente los movimientos de convección, la energía térmica disminuirá y se observara una mancha oscura, que presentara una temperatura menor que la que posee la superficie circundante de la fotosfera.

2.5. Evolución Del Campo Magnético Solar Y Formación De Manchas Solares

El campo magnético solar presenta un comportamiento diferencial en su rotación, esto quiere decir que en los polos la velocidad de rotación es menor que en la zona del ecuador. Entonces de acuerdo a esto se plantearon varias teorías que buscaban dar una explicación a este movimiento en el Sol y a la generación de las manchas solares sobre la fotosfera solar.

Para este trabajo se analizará el comportamiento del campo magnético de acuerdo a la teoría planteada por Parker, conocida como dinamo de onda de Parker, la cual permite entender cómo es que se generan diferentes movimientos que afectan el campo magnético y los procesos de transporte de energía en la zona convectiva.

Dando una descripción de la forma en que el Sol genera la energía que emite al exterior, se da inicio a explicar de qué se trata la teoría dinamo de onda de Parker la cual permite tener una idea sobre que genera las manchas solares y la variación en el campo magnético.

La energía que se genera en el núcleo del Sol por reacciones nucleares es transportada al exterior de dos formas, la primera es por radiación (en la capa radiactiva). Esta capa es la primera zona por donde se inicia el transporte de la energía solar.

La segunda zona donde llega la energía del núcleo solar es la capa convectiva, donde el transporte de energía se realiza gracias a la convección. El transporte de energía por convección consiste en que el plasma que se encuentra en el fondo de la capa convectiva asciende a las zonas más altas de esta capa. Este plasma con temperaturas muy elevadas vuelve a descender a las zonas más bajas de la capa convectiva con una disminución en su temperatura. Pero este proceso no termina al descender el plasma, pues este al llegar de nuevo a la zona próxima de la zona radiactiva vuelve a aumentar su temperatura y de nuevo se repite el ciclo.

Ahora para entender por qué el campo magnético se concentra en estructuras como las manchas solares en lugar de extenderse de manera más uniforme, es necesario estudiar la interacción del campo magnético con la convección en el plasma. Este tema se conoce como magneto-convección.

El comportamiento del campo magnético y la zona convectiva fué estudiado por Weiss (1981), teniendo en cuenta que el espacio se divide en dos tipos de regiones. En algunas regiones, el campo magnético se excluye y tiene lugar una vigorosa convección. En otras regiones, el campo magnético se concentra, y la tensión de las líneas de campo magnético suprime la convección (Choudhuri, 2007).

Aunque no se tiene información directa del comportamiento del campo magnético en el interior del Sol, se espera que el proceso convectivo en interacción con el campo magnético genere haces de líneas de campo a través de toda la zona convectiva. Estos haces de campo se llaman tubos de flujo. En las zonas donde la rotación diferencial es fuerte, el campo magnético (tubos de flujo) se alinea en dirección toroidal.

Si una parte de dicho tubo de flujo se levanta y perfora la superficie, se espera tener dos manchas solares con polaridades opuestas en la misma latitud (Figura 2.5).

Este comportamiento que se plantea en la Figura 2.5 se logro explicar por Parker (1955), a través de su idea de flotabilidad magnética. Si miramos la ecuación (2.2) (la cual permite describir la interacción del campo de velocidades v y el campo

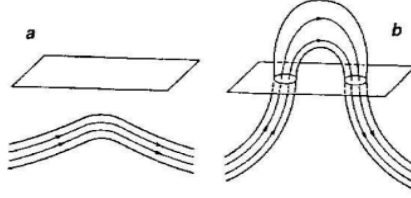


Figura 2.5: Flotación magnética de un tubo de flujo (Tomado de Choudhuri, 2007).

magnético B), se tiene que la presión p está asociada a un campo magnético $B^2/2\mu$.

$$\frac{\partial v}{\partial t} + (v \cdot \nabla)v = -\frac{1}{\rho}\nabla \left(p + \frac{B^2}{2\mu} \right) + \frac{(B \cdot \nabla)B}{\mu\rho} + g, \quad (2.2)$$

donde ρ es la densidad, g es la fuerza de gravedad y μ es la permeabilidad en el vacío.

Ahora si p_i y p_e son las presiones de gas dentro y fuera de un tubo de flujo, entonces se tiene que

$$p_e = p_i + \frac{B^2}{2\mu}, \quad (2.3)$$

para mantener el equilibrio de presión a través de la superficie de un tubo de flujo. Por lo tanto

$$p_i \leq p_e, \quad (2.4)$$

que a menudo, aunque no siempre, implica que la densidad en el interior del tubo de flujo es menor que la densidad circundante. Si esto sucede en una parte del tubo de flujo, entonces esa parte se convierte en flotante y se eleva contra el campo gravitacional para producir la configuración de la Figura 2.5.

Combinando las ideas de congelación de flujo, magneto - convección y flotabilidad magnética, se da una explicación a los aspectos de la formación de los pares de manchas solares bipolares. El flujo de congelamiento dice que el campo magnético en el interior del Sol se debe estirar en la dirección toroidal por la rotación diferencial. La magneto-convección sugiere que el campo magnético debe existir en la forma de tubos de flujo dentro de la zona de convección. Por último, utilizando la idea de flotabilidad magnética que explica cómo se forman las manchas solares bipolares.

La formación de manchas solares bipolares que se produce por el estiramiento del campo magnético poloidal debido a la rotación diferencial (gradiente de velocidad angular), y que da lugar a un campo toroidal, se presenta según la heliosismología en una zona conocida como “*tachocline*”. En esta capa delgada, que se encuentra en

la parte inferior de la zona de convección solar, es donde se concentra la rotación diferencial fuerte. Dentro de la “*tachocline*” se espera que el campo toroidal fuerte sea generado.

Al interactuar los tubos de flujo magnético con el proceso convectivo, se presenta que el campo toroidal generado en la “*tachocline*” puede estar en forma de anillos de flujo que giran alrededor del eje de rotación del Sol. Entonces debido a esto la flotabilidad magnética y el proceso convectivo son desestabilizados en el interior de la zona de convección. Por otro lado, si una región es estable frente al proceso de convección, entonces la flotabilidad magnética puede ser parcialmente suprimida allí.

Puesto que el tubo de flujo toroidal se produce en la parte inferior de la zona de convección, se espera que algunas partes floten, mientras que otras partes pueden permanecer por debajo de la parte inferior de la zona de convección, permaneciendo ancladas allí debido a la supresión de la flotabilidad magnética. Una parte del tubo de flujo que viene dentro de la zona de convección se espera que aumente y, finalmente alcanzase la superficie solar donde se forma la mancha solar.

Para que los tubos de flujo alcancen la superficie es necesario un campo magnético muy fuerte del orden de $10^5 G$, donde la flotabilidad magnética es suficientemente fuerte para vencer la fuerza de coriolis³. Estos tubos de flujo son los bucles que se forman en las manchas solares, los cuales salen de una mancha con polaridad positiva y entran a una mancha con polaridad negativa.

Debido a la rotación del Sol y a la fuerza de coriolis, los bucles de plasma caliente giran a medida que suben, estos movimientos helicoidales⁴ en los bucles tuercen el campo toroidal, para producir bucles magnéticos en el plano poloidal, como se muestra en la Figura 2.6.

Como consecuencia del movimiento que se presenta en las manchas solares y los bucles, se inicia el proceso para que el campo toroidal que está presente colisione y se genere el campo poloidal. De esta manera se presenta el ciclo por el cual varía el comportamiento del campo magnético solar.

³Es una fuerza ficticia, causada por la rotación de un cuerpo, (en este caso la rotación del Sol), la cual es responsable de la desviación en la trayectoria de un objeto que se encuentra dentro de este cuerpo, y que es observado por un sujeto que es externo a este movimiento.

⁴Es un movimiento que se produce por traslación y rotación en un cuerpo.

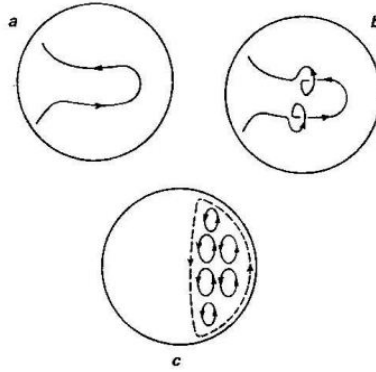


Figura 2.6: Las diferentes etapas del proceso de Dinamo (Tomado de Choudhuri, 2007).

La idea básica de la dinamo turbulenta de Parker se presenta en la Figura 2.8. Los componentes poloidal y toroidal del campo magnético se alimentan entre sí a través de un bucle cerrado. El componente poloidal se estira por la rotación diferencial para producir el componente toroidal. Por otro lado, la turbulencia helicoidal que actúa sobre el componente toroidal devuelve el componente poloidal.

Pero esta teoría solo se cumple si la tensión magnética del campo toroidal no es demasiado fuerte (admitiendo máximo $10^4 G$), ya que de lo contrario resistiría cualquier torsión. Por este motivo la dinamo que planteo Parker no es la adecuada para dar una explicación correcta al comportamiento del campo magnético solar. Sin embargo, esta solución ha sido históricamente muy influyente y todavía da una visión profunda sobre el comportamiento de la dinamo.

Por medio de la ecuación (2.5) conocida como la ecuación dinamo se da una explicación a la generación del campo magnético por el proceso de dinamo.

$$\frac{\partial B}{\partial t} = \nabla \times (v \times B) + \nabla \times (\alpha B) + \lambda_T \nabla^2 B, \quad (2.5)$$

donde λ_T denota el coeficiente de difusión con el subíndice T para recordar que es la difusión turbulenta.

La Figura 2.7 muestra un sistema local Cartesiano en un punto en el hemisferio norte de un cuerpo esférico como el Sol. El eje x corresponde a la dirección radial hacia fuera, el eje y a la dirección toroidal y el eje z en la dirección de incremento de la latitud. Debido a que las manchas solares se producen en la zona próxima al ecuador lo que se busca es encontrar una solución a la ecuación (2.5) donde la onda tenga una dirección en el eje z negativo.

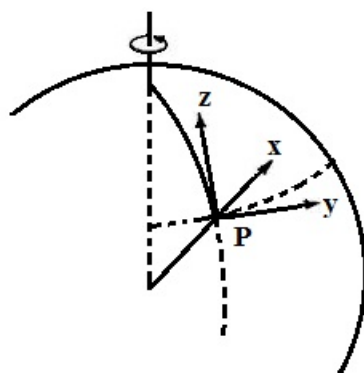


Figura 2.7: Coordenadas cartesianas locales en un punto en el hemisferio norte para un cuerpo esférico (Tomado de Choudhuri, 2007).

La solución a la ecuación (2.5) debe permitir describir un comportamiento simétrico en la zona de rotación solar. En otras palabras se buscan soluciones donde $\frac{\partial}{\partial y} = 0$.

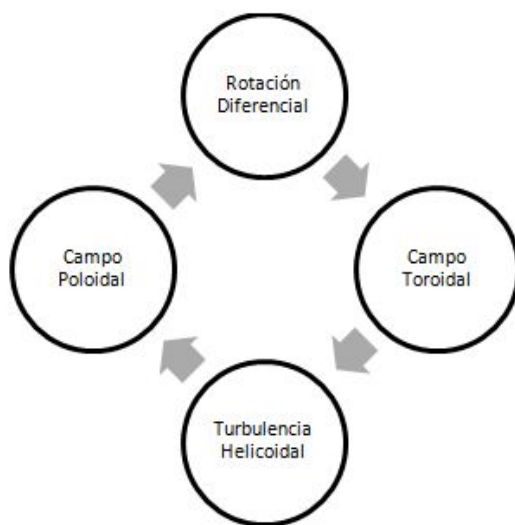


Figura 2.8: Representación esquemática de la idea de Parker de la dínamo turbulenta (Tomado de Choudhuri, 2007).

El campo magnético toroidal en la representación es simplemente la componente $B_y e_y$. El campo magnético poloidal es un campo vectorial solenoidal⁵ bidimensional con líneas de campo situadas en el plano xz . El campo poloidal es representado por $\partial \times [A(x, z)e_y]$, donde $A(x, z)$ es una función constante en las líneas de campo

⁵Se caracteriza por que el flujo a través de una superficie cerrada es nulo, y las líneas de campo magnético no tiene principio ni fin, generalmente son líneas cerradas.

poloidal en el plano xz . Por lo tanto el campo magnético total puede escribirse como

$$B = B_y(x, z)e_y + \nabla \times [A(x, z)e_y], \quad (2.6)$$

donde B_y y A representan, respectivamente, el componente toroidal y poloidal. La medida de la velocidad de campo es debida a la rotación diferencial y por lo tanto tiene una componente en la dirección y . Aunque este campo de velocidad v_y puede ser una función tanto de x como de z , vamos a tomarlo como una función de x , ya que esto da como resultado soluciones más simples. Así que escribimos

$$v = v_y(x)e_y, \quad (2.7)$$

de tal manera que la velocidad de cizalladura viene dada por

$$G = \frac{\partial v_y}{\partial x}. \quad (2.8)$$

Ahora para demostrar que es posible disponer de soluciones de onda plana que se propagan en la dirección z , la velocidad de cizalla ⁶ G y los coeficientes α , λ_T se toman como constantes. Sustituyendo (2.6) y (2.7) en (2.5) se obtiene

$$\frac{\partial B_y}{\partial t} = GB_x - \alpha \nabla^2 A + \lambda_T \nabla^2 B_y. \quad (2.9)$$

Aparte del componente y , los otros componentes de (2,5) se pueden poner en la forma

$$\nabla \times \left(\frac{\partial A}{\partial t} e_y - \alpha B_y e_y - \lambda_T \nabla^2 A e_y \right) = 0. \quad (2.10)$$

La forma más fácil de satisfacer esta ecuación es tomar

$$\frac{\partial A}{\partial t} = \alpha B_y + \lambda_T \nabla^2 A. \quad (2.11)$$

La ecuación (2.11) da la evolución del campo poloidal. Si el término αB_y no estuviera presente en la ecuación, entonces habría sido una ecuación de difusión simple e implicaría que cualquier campo poloidal se difundía lejos. Entonces el término αB_y actúa como el término fuente que genera el campo poloidal.

El término α es una medida del movimiento helicoidal en la turbulencia. Por tanto, este término fuente corresponde con la producción del campo poloidal como resultado de movimientos helicoidales de torsión del campo toroidal B_y .

⁶Es la velocidad de variación de la deformación.

La ecuación (2.9) da la evolución del campo toroidal y tiene dos términos fuente (los primeros dos términos en el lado derecho). El término GB_x corresponde a la velocidad de cizallamiento de rotación diferencial, estirando el componente B_x del campo poloidal para producir el campo toroidal. Así como el movimiento helicoidal puede torcer el campo toroidal para producir el campo poloidal, también se puede torcer el campo poloidal por la rotación diferencial para producir el campo toroidal. Este es el origen del término fuente $-\alpha\nabla^2 A$ en (2.9). Si el sistema astrofísico tiene una fuerte rotación diferencial, entonces el término de la rotación diferencial GB_x es mucho más grande que el término fuente $-\alpha\nabla^2 A$ y puede ser despreciado. Ahora (2.9) se convierte

$$\frac{\partial B_y}{\partial t} = -G\frac{\partial A}{\partial z} + \lambda_T\nabla^2 B_y. \quad (2.12)$$

Si el término $-\alpha\nabla^2 A$ es despreciado (como se hace aquí), entonces la dinamo se conoce como una dinamo $\alpha\Omega$. Cuando se utilizan coordenadas esféricas, la rotación es denotada generalmente por Ω . Por lo tanto, para las ecuaciones de la dinamo $\alpha\Omega$ escrita en la geometría esférica, el término fuente para el campo poloidal implica α y el término fuente para el campo toroidal implica Ω , dando lugar a la denominada dinamo $\alpha\Omega$.

Ahora se buscan soluciones de tipo $A = \hat{A}\exp(\sigma t + ikz)$ y $B_y = \hat{B}\exp(\sigma t + ikz)$ para el modelo dinamo de onda de Parker. Sustituyendo en (2,11) y (2,12) y se obtiene

$$(\sigma + \lambda_T k^2)\hat{A} = \alpha\hat{B},$$

y

$$(\sigma + \lambda_T k^2)\hat{B} = -ikG\hat{B}.$$

Ahora se tiene de la combinación de las ecuaciones anteriores que

$$(\sigma + \lambda_T k^2)^2 = -ik\alpha G, \quad (2.13)$$

de la cual

$$\alpha = -\lambda_T k^2 \pm \left(\frac{i-1}{\sqrt{2}}\right) \sqrt{k\alpha G}. \quad (2.14)$$

Tomando k positiva. Analizando por separado los dos casos donde $\alpha G > 0$ y $\alpha G < 0$. Primero considere $\alpha G > 0$. Para el mantenimiento de los campos magnéticos dinamo, se debe tener $Re\sigma \geq 0$. Entonces tomando la ecuación (2.14) con signo negativo para que cumpla la anterior condición se tiene

$$\alpha = -\lambda_T k^2 + \left(\frac{k\alpha G}{2}\right)^{1/2} - i\left(\frac{k\alpha G}{2}\right)^{1/2}. \quad (2.15)$$

Esta expresión hace claro que el problema de la dinamo tiene el carácter de un cálculo de estabilidad. Si αG , que da el efecto combinado de turbulencia helicoidal y rotación diferencial, es mayor que un valor crítico, entonces sólo es posible para los campos magnéticos que aumentan.

Se introduce un parámetro adimensional llamado número de dinamo definido como

$$N_d = \frac{|\alpha G|}{\lambda_T^2 K^3}. \quad (2.16)$$

La condición para el crecimiento de la dinamo del campo magnético (es decir, para $Re\sigma \geq 0$) es

$$N_d \geq 2. \quad (2.17)$$

Para mantener marginalmente el campo magnético, se debe tener que

$$A, B_y \sim \exp \left[-i \left(\frac{k\alpha G}{2} \right)^{1/2} t + ikz \right]. \quad (2.18)$$

Esto corresponde a una onda que se propaga en la dirección z positiva, es decir, en la dirección hacia el polo (ver Figura 9). Se considera ahora el caso $\alpha G < 0$ donde el signo negativo en (2.14) tiene que ser elegido de tal manera que

$$\sigma = -\lambda_T k^2 + \left(\frac{k|\alpha G|}{2} \right)^{1/2} + i \left(\frac{k|\alpha G|}{2} \right)^{1/2}. \quad (2.19)$$

Es fácil ver que la condición para el crecimiento dinamo (2.17) sigue siendo la misma, con N_d igual a la ecuación (2.16). Ahora se tiene que

$$A, B_y \sim \exp \left[i \left(\frac{k|\alpha G|}{2} \right)^{1/2} t + ikz \right]. \quad (2.20)$$

Esto da una onda de propagación hacia el ecuador como se desea en el contexto solar.

Para determinar la dirección del vector de propagación se toma v a lo largo de la dirección y con su variación en la dirección x (es decir, $\partial v_y / \partial x \neq 0$). A continuación, la onda dinamo se propaga en la dirección z . Es de señalar que los frentes de onda para esta solución corresponden a planos infinitos perpendiculares al eje z . Esto se debe a que tomamos α , λ_T y G como constantes.

En una situación real, se tiene que resolver la ecuación dinamo en una región finita con condiciones de contorno adecuadas de las fronteras. En este caso no se van a discutir las condiciones de frontera, porque hacen que el problema sea mucho más complicado. Solo se espera que la solución de onda plana para coeficientes constantes de alguna idea sobre cómo abordar los problemas dinamo.

2.6. Teorías Explicativas De Las Mancha Solares

Algunas de las teorías que se han desarrollado para dar una explicación a las características de las manchas solares, se presentan a continuación. Estas teorías presentan una serie de inconvenientes que no permiten dar cuenta de la real formación y comportamiento de las manchas, pero sin embargo han permitido desarrollar una serie de conocimientos más profundos sobre el Sol.

Partiendo de la tesis del equilibrio mecánico de una mancha el cual plantea que las manchas son un tornado que se presenta en el Sol y que por medio de la fuerza centrífuga se sostiene la materia. Pero esto no es posible debido a que las velocidades angulares son insuficientes para asegurar el equilibrio, lo cual conduce a pensar que esto se deba a otras fuerzas, las cuales serían causadas por fenómenos magnéticos, pues se sabe que las manchas solares presentan campos magnéticos muy fuertes (entre 2000 y 3000 gauss).

2.6.1. Equilibrio de las manchas solares

Esta teoría hace un estudio sobre las manchas solares suponiendo que el campo magnético se encuentra confinado en una región cilíndrica. A partir de esto se considera que la presión del gas en el interior del cilindro debe ser inferior a la presión magnética (que es igual a la presión lateral la cual es $\mu H^2/8\pi$), que se presentan en el exterior, esto para mantener un equilibrio. Además se considera que el campo magnético H es el mismo a lo largo de las líneas de campo magnético, al igual que la densidad.

Por otro lado la presión es proporcional a la densidad y la temperatura, entonces para tener el equilibrio, tanto la temperatura como la presión, deben ser menores en el interior, y mayores en el exterior, ya que la densidad no cambia. Entonces para lograr ver una diferencia de temperatura, la presión en el exterior debe ser mayor que en el interior.

Ahora para dar una explicación del equilibrio de las manchas, teniendo en cuenta que la densidad tanto en el interior como en el exterior es igual, se considera que la disminución en la temperatura de la mancha, genera un decaimiento de la presión del gas, pero esta es compensada por la presión magnética, que vendría siendo mayor en el interior.

Se considera que la presión magnética es de $1,6 \times 10^5 \text{ dinas/cm}^2$ para el campo de

2000 gauss, y la presión del gas en el exterior de la mancha es igual a 10^5 dinas/cm^2 . La diferencia entre las presiones genera una diferencia de temperatura apreciable, entre la mancha y el medio ambiente. Debido a que la presión es tan fuerte las líneas de campo son curvadas hacia el exterior.

Entonces debido a que las líneas de campo están más separadas en el exterior que en el interior próximo a la superficie, es que la presión y el campo magnético son más débiles en la superficie que en el interior. De acuerdo con esta teoría las manchas solares provienen de un enfriamiento superficial, ya que los efectos de la presión solo son suficientes para estas zonas.

2.6.2. Teoría torsional de las manchas solares

En esta teoría se considera que existen perturbaciones del campo magnético, las cuales son mayores que el campo magnético inicial. Teniendo en cuenta esto Walén considera que una oscilación de torsión puede generar a partir de un campo magnético débil en el plano meridiano, un campo acimutal. Se considera que la convección distorsiona las líneas de fuerza en el interior del Sol, originando una disminución en la velocidad angular la cual produce que las líneas de fuerza se entre mezclen. Esto genera las ondas magneto hidrodinámicas que se propagan a la superficie, siguiendo las líneas de fuerza, y produciendo oscilaciones de torsión que se presentan en periodos de 23 años, generadas por explosiones internas en el Sol.

Entonces partiendo de estas ideas, Walén suponía que el campo magnético bajo la superficie era mayor que el que se presentaba en el exterior, además de esto considera que el campo magnético tiene un límite de extensión, que está dado por la zona de convección. Entonces se supone que una onda de torsión se propaga bajo la superficie hacia el ecuador. Al final de la trayectoria las líneas de fuerza del campo de la perturbación, forman un cinturón alrededor del Sol. Una parte de este cinturón se transporta a la superficie debido a una perturbación local, apareciendo dos regiones de polaridad magnética opuesta, lo cual es considerado como las regiones donde se forman las dos manchas con polaridades opuestas.

Esta teoría presenta un problema el cual se debe al hecho de que existen agitaciones en el Sol, las cuales generan las explosiones en el interior. Esto se debe según Walén a que la rotación se opone a los movimientos de convección, presentando un gradiente de temperatura cada vez más inestable; esta inestabilidad es más brusca cuando la

rotación no puede compensar el efecto de este gradiente.

2.6.3. Teoría de las manchas solares de Alfven

Esta teoría considera que zonas inestables en el interior del Sol, son originadas por anillos de torbellino, que viajan a la superficie, a lo largo de las líneas de fuerza del campo, siendo estas ondas magnetohidrodinámicas. Estos torbellinos se reflejan al incidir en la superficie, el contacto de este torbellino con la superficie genera dos superficies, las cuales vienen siendo el par de manchas con polaridades opuestas.

Otro de los puntos es que las manchas se muevan a las zonas próximas del ecuador, se supone que existen dos regiones activas que las producen, una en cada hemisferio. Entonces los anillos que se presentan en el ecuador han tenido un mayor recorrido que los que aparecen en latitudes mayores, dando la velocidad de descenso correcto del cinturón de manchas hacia el ecuador, suponiendo que el campo magnético es del orden de 25 gauss.

Esta teoría considera que la polaridad de la primera mancha, del par cambia de un ciclo a otro, lo cual es justificado con el hecho de que los anillos giran en un sentido en un ciclo pero, al siguiente estos anillos giraran en sentido contrario.

El envío de torbellinos hacia la superficie, junto con los que las zonas activas de un hemisferio también generan, pero con dirección opuesta, más adelante alcanzan la región activa del otro hemisferio, las cuales excitan este hemisferio en el curso del ciclo siguiente.

Esta teoría presenta algunos inconvenientes que no permiten dar una explicación completa y confiable sobre el comportamiento real del campo magnético y los efectos en la generación de las manchas solares. Sin embargo esta teoría introdujo las ondas magnetohidrodinámicas, y la importancia que tiene el campo magnético en la estructura de la mancha solar.

2.7. Constante Solar

La llamada constante solar es la cantidad de energía en forma de radiación que llega a una superficie perpendicular a los rayos solares localizada en el borde externo de la atmósfera, a una distancia media Tierra - Sol igual a $R_{ST} = 1,496 \times 10^8$ km, medida por unidad de área y de tiempo. El valor medido a esta distancia promedio es 1368

W m^{-2} . Pero este valor realmente no es constante, debido a que en épocas de alta actividad solar (presencia de manchas solares), esta energía varía aproximadamente en un 0,1%. Cuando las manchas solares son numerosas la constante solar es alta (alrededor de 1367 Wm^{-2}), mientras que cuando la cantidad de manchas solares es escasa en la superficie solar este valor disminuye (alrededor de 1365 Wm^{-2}). Estos pequeños cambios pueden afectar a la Tierra en gran forma. Por ejemplo, durante el Mínimo de Maunder, la cara del Sol estaba casi en blanco. Al mismo tiempo, Europa se vio afectada por una ola de frío extraordinario: el río Támesis en Londres se congeló, los glaciares avanzaron en los Alpes, y aumento el hielo del mar del norte. Una alta actividad solar en siglos anteriores (deducida de los estudios de los anillos de los árboles) tuvo el efecto contrario: los vikingos pudieron cultivar trigo en las costas descongeladas de Groenlandia en la década de 980, e incluso se logro cultivar trigo para exportar a Escandinavia. Según algunos estudios la constante puede variar aun más del 0,1% (entre el 0,2% al 0,6%), para lograr efectos como el de la pequeña edad de hielo (Eddy, 1976).

2.7.1. Cálculo de la constante solar

El flujo de potencia solar o constante solar se puede calcular de la siguiente forma. La potencia neta recibida por la esfera exterior en toda la superficie se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$P_{OSnet} = f_{OS} \cdot A_{OS}, \quad (2.21)$$

donde P_{OSnet} es la potencia neta recibida por toda el área de superficie de la esfera exterior, f_{OS} es el flujo de potencia solar sobre cada metro cuadrado del área de superficie de la esfera exterior, y A_{OS} es el área total de la superficie de la esfera exterior formada por la proyección de la órbita de la Tierra.

Dado que no se conoce el valor de f_{OS} , se procede a su cálculo mediante la siguiente fórmula:

$$f_{OS} = f_{\odot} \cdot (R_{\odot} / d)^2, \quad (2.22)$$

donde f_{OS} es el flujo de potencia solar recibida por la esfera exterior, f_{\odot} es el flujo de potencia emitida por el Sol desde su superficie ($6,354 \times 10^{14} \frac{\text{erg/s}}{\text{m}^2}$), R_{\odot} es el radio solar en metros ($6,955 \times 10^8 \text{m}$), y d es la distancia promedio a través de un año terrestre desde el Sol hasta la superficie de la esfera exterior ($1,496 \times 10^{11} \text{m}$).

Introduciendo magnitudes:

$$f_{OS} = 6,354 \times 10^{14} \frac{erg/s}{m^2} \cdot \left[\frac{(6,955 \times 10^8 m)}{(1,496 \times 10^{11} m)} \right]^2 ,$$

$$f_{OS} = 1,37334 \times 10^{10} \frac{erg/s}{m^2} ,$$

$$f_{OS} = 1373,34 \frac{W}{m^2} .$$

Entonces la constante solar, o flujo de potencia solar sobre cada metro cuadrado de la esfera exterior es de 1373,34 W / m², cantidad que coincide con las mediciones de satélite.

Ya que se conoce la variable f_{OS} , se procede a sustituir en la ecuación (2.21):

$$P_{OSnet} = 1,37334 \times 10^{10} (erg/s)/(m^2) \cdot 1,7975 \times 10^{23} m^2 ,$$

$$P_{OSnet} = 2,4689 \times 10^{33} erg/s .$$

Entonces, $2,4689 \times 10^{33} erg/s$ es la potencia solar neta que la esfera exterior recibe desde el Sol. Dicha cantidad en $ergios/s$ equivalen a una potencia de $2,4689 \times 10^{26} Watts$.

$$f_{OS} = \frac{2,4689 \times 10^{26} W}{1,7975 \times 10^{23} m^2} ,$$

$$f_{OS} = 1373,52 W/m^2 ,$$

f_{OS} es pues, la constante solar en cualquier punto de la órbita terrestre dado que forma parte del perímetro de la esfera exterior. Dadas estas condiciones, la constante solar es la cantidad de potencia por metro cuadrado que la Tierra recibe en la capa más externa de su atmósfera.

Capítulo 3

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

Como se indico en la introducción, el trabajo contiene dos partes generales: la primera esta relacionada en torno al análisis de los datos experimentales de radiación solar, manchas solares y temperatura de la Tierra. La segunda parte esta relacionada con la implementación de un trabajo de aula sobre la tematica actividad solar y temperatura de la Tierra, la cual se desarrolla con el grupo de estudiantes del proyecto PRAE.

A continuación se presenta el esquema de trabajo para el desarrollo de la investigación de las dos partes mencionadas anteriormente.

3.1. Metodología De Investigación Parte Disciplinar

Investigación Descriptiva Y Correlacional

La metodología que se emplea en este trabajo es la investigación descriptiva-correlacional; la investigación descriptiva tiene como objetivo describir y diagnosticar diversas situaciones como fenómenos naturales. Los objetivos específicos de esta investigación son identificar las variables que participan en el fenómeno, estudiar y caracterizar los aspectos más importantes que generan los cambios en el comportamiento de algún

sistema o que hacen que el sistema se comporte de esa manera y no de otra (Deobold, 2006).

El propósito de la investigación se desarrolla básicamente con las siguientes preguntas: ¿Cuáles son las características del fenómeno o situación?, ¿Cómo es el fenómeno?, ¿Cómo varia en el tiempo?, y ¿Cómo se presenta? Las anteriores preguntas se logran desarrollar por medio de los objetivos que se plantean en un tipo de investigación descriptivo.

La investigación descriptiva no solo se limita a la recolección de datos, sino a la predicción e identificación de las relaciones que existen entre dos variables, además de esto la investigación parte de una hipótesis o teoría, lo cual permite contribuir al conocimiento sobre esa base teórica con la cual se inicia la investigación.

La investigación descriptiva se desarrolló con estudios correlacionales, los cuales se utilizan para ver cuál es la relación que hay entre las variables número de manchas solares y radiación solar, además la variación entre radiación emitida por el Sol y los cambios en la temperatura de la Tierra. Las variables pueden hallarse estrecha o parcialmente relacionadas entre sí, pero también se puede encontrar que las variables no estén relacionadas. La magnitud de la correlación depende de la medida en que los valores de las dos variables aumenten o disminuyan, si aumentan de la misma manera se encontrará una correlación positiva, mientras que si las variables difieren en este caso aumentando una y la otra disminuyendo la correlación será negativa. Este tipo de estudio tiene un carácter predictivo. El coeficiente de correlación solo permite expresar la relación entre dos variables en términos cuantitativos por lo cual se hizo necesario emplear junto con este tipo de investigación (investigación correlacional) la investigación descriptiva.

3.2. Metodología De Investigación Implementación En El Aula

La investigación que se utiliza para la recolección de la información en la parte de la implementación es de tipo descriptivo cualitativo, puesto que me da cuenta de lo que el estudiante aprendió de acuerdo a los conocimientos que logra comprender y que le permiten caracterizar el fenómeno actividad solar y cambio de temperatura de la Tierra con base en los conceptos que se abordaron en cada una de las sesiones.

Categoría		Sexto	Séptimo	Octavo	Noveno	Décimo
Género	Masculino	2	2	0	1	1
	femenino	1	4	2	2	0
Edad		12 y 13	13	14	15	16
Total		15 personas				

Cuadro 3.1: Tabla descriptiva de los estudiantes del proyecto PRAE 2012 del Colegio Distrital Escuela Nacional De Comercio.

La información se recolecta mediante las representaciones artísticas que los estudiantes del proyecto PRAE realizan, y que posteriormente son analizadas con base en los conceptos presentados en cada una de las sesiones.

3.2.1. Descripción de la población

La implementación del trabajo de grado se desarrolló con un grupo de estudiantes los cuales pertenecen a los proyectos ambientales escolares (PRAE) del colegio distrital Escuela Nacional de Comercio ubicada en la localidad de La Candelaria en el barrio Egipto, con dirección calle 9a#0 – 30 este. Esta institución cuenta con básica primaria, secundaria y media, es un colegio mixto.

Los integrantes del proyecto pertenecen a grados de sexto a decimo, el grupo lo conformaron nueve mujeres y seis hombres para un total de 15 personas, los cuales pertenecen a diferentes grados y edades como se muestra en la Tabla 3.1.

Este grupo de estudiantes se caracterizó por el interés que mostraron hacia las temáticas relacionadas con la astronomía y en especial por el estudio de fenómenos que se presentan en el Sol, además de la motivación que tenían en cuanto a estos temas, este grupo de estudiantes contaba con conocimientos previos acerca de algunos fenómenos que se presentaban en el Sol, lo cual permitió que en algunas de los sesiones se avanzara más rápido con algunas de las temáticas. La motivación y las ganas de querer aprender fueron los puntos más favorables que hicieron de la práctica una experiencia interesante y propicia para lograr los objetivos que se plantearón.

3.3. Etapas para el desarrollo del trabajo

Para el desarrollo de este trabajo se siguieron unos pasos o fases que se describen a continuación.

- Etapa de elaboración de gráficas y cálculo del coeficiente de correlación lineal de Pearson: en esta etapa se realizán las gráficas de los datos radiación solar, temperatura de la Tierra y manchas solares, estos datos fueron tomados del telescopio SORCE, de la agencia federal NOAA y de la NASA. Además de esto se realiza la correlación por mínimos cuadrados entre estos datos para los años de 1880 a 2012.
- Etapa de análisis fenomenológico: por medio de las gráficas y el cálculo del coeficiente de correlación se realizó una comparación que permitía relacionar la actividad solar y los cambios de temperatura, de los cuales se buscaba encontrar el grado de dependencia de una variable con respecto a la otra.
- Etapa del diseño de la propuesta de aula: esta etapa consistió en la elaboración de un módulo didáctico el cual se implementó en el colegio distrital Escuela Nacional de Comercio con los estudiantes del proyecto PRAE, con el objetivo de dar a conocer la relación entre la actividad solar y los cambios de temperatura de la Tierra.
- Etapa de implementación: con el diseño de la propuesta de aula se realizó la etapa de implementación la cual permitió llevar al colegio distrital Escuela Nacional de Comercio la temática de investigación. Esta etapa se llevó a cabo en un periodo de tiempo que dio inicio el día 17 de Septiembre hasta el día 24 de Octubre del año 2012, este periodo de tiempo se dividió en sesiones que se realizaron en las fechas y horas que propuso la directora del proyecto PRAE (Cuadro 3.2).
- Etapa análisis poblacional: esta etapa consiste en almacenar la información que se obtuvo de los estudiantes sobre la representación artística la cual presenta las características del fenómeno actividad solar y temperatura de la Tierra, el cual se analiza posteriormente de manera cualitativa teniendo como base cada uno de los conceptos que se enseñaron en cada una de las sesiones programadas.

Fechas	Horas
17 de Septiembre del 2012	7:30 am - 8:30 am
25 de Septiembre del 2012	8:20 am - 9:20 am
3 de Octubre del 2012	9:10 am - 10:10 am
16 de Octubre del 2012	10:30 am - 11:30 am
19 de Octubre del 2012	11:15 am - 12:15 pm
22 de Octubre del 2012	8:20 am - 9:20 am
24 de Octubre del 2012	7:30 am - 8:30 am

Cuadro 3.2: Tabla del calendario para el desarrollo de la implementación.

Capítulo 4

DESARROLLO DEL PROYECTO

Los pasos a seguir para desarrollar el trabajo de grado se presentan de manera que permitan alcanzar los objetivos propuestos. A continuación se mencionan las seis etapas y el desarrollo de cada una de estas:

- Elaboración de gráficas.
- Cálculo del coeficiente de correlación de Pearson ¹ y cálculo del coeficiente de determinación.
- Diseño de la propuesta de aula.
- Resultados implementación.
- Análisis de gráficas, coeficientes de correlación y coeficientes de determinación.
- Análisis de resultados implementación.

4.1. Elaboración de gráficas

Las gráficas se realizan en el software Origin Pro ⁸ para los datos de radiación solar tomados del satélite SORCE, temperatura de la Tierra datos de la agencia federal NOAA, y manchas solares, datos tomados de la NASA (National Aeronautics and Space Administration).

Es importante mencionar que los datos que se utilizan en las gráficas se analizan sin tener en cuenta el error de medida de estos.

¹El coeficiente de correlación de Pearson es un índice estadístico que mide la relación lineal entre dos variables cuantitativas.

²Es un software graficador y de análisis de datos científicos.

4.1.1. Gráfica Radiación solar versus temperatura de la Tierra

La Figura 4.1 que representa la gráfica de la variación en la temperatura de la superficie terrestre permite ver que con el paso de los años esta variable ha aumentado rápidamente, pero de igual forma la Figura 4.2 muestra que la radiación emitida por el Sol también ha variado con el paso del tiempo siendo cada vez mayor la emisión.

Temperatura de la Tierra 1880 a 2012.

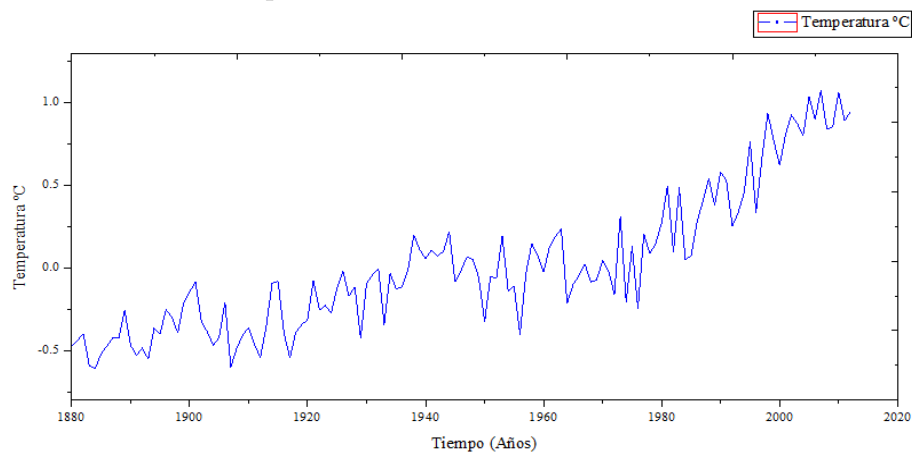


Figura 4.1: Gráfica de temperatura de la Tierra para la época de 1880 a 2012.

Radiación solar 1880 a 2012.

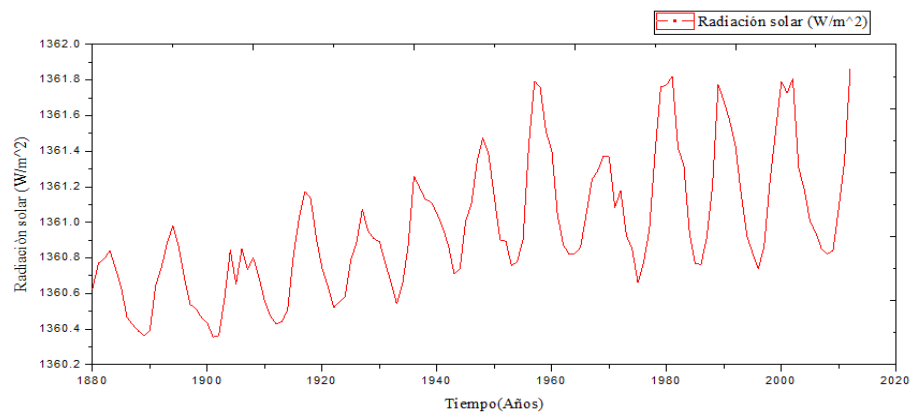


Figura 4.2: Gráfica radiación solar para la época de 1880 a 2012.

4.1.2. Gráfica radiación solar versus manchas solares

Las gráficas (Figura 4.3) que se obtienen de radiación solar (curva roja) y número de manchas solares (curva azul) muestran similitud en algunos de los picos que se observan en determinadas épocas lo cual evidencia que existe una correlación positiva entre estas dos variables.

Gráficas para la época de 1880 a 2012.

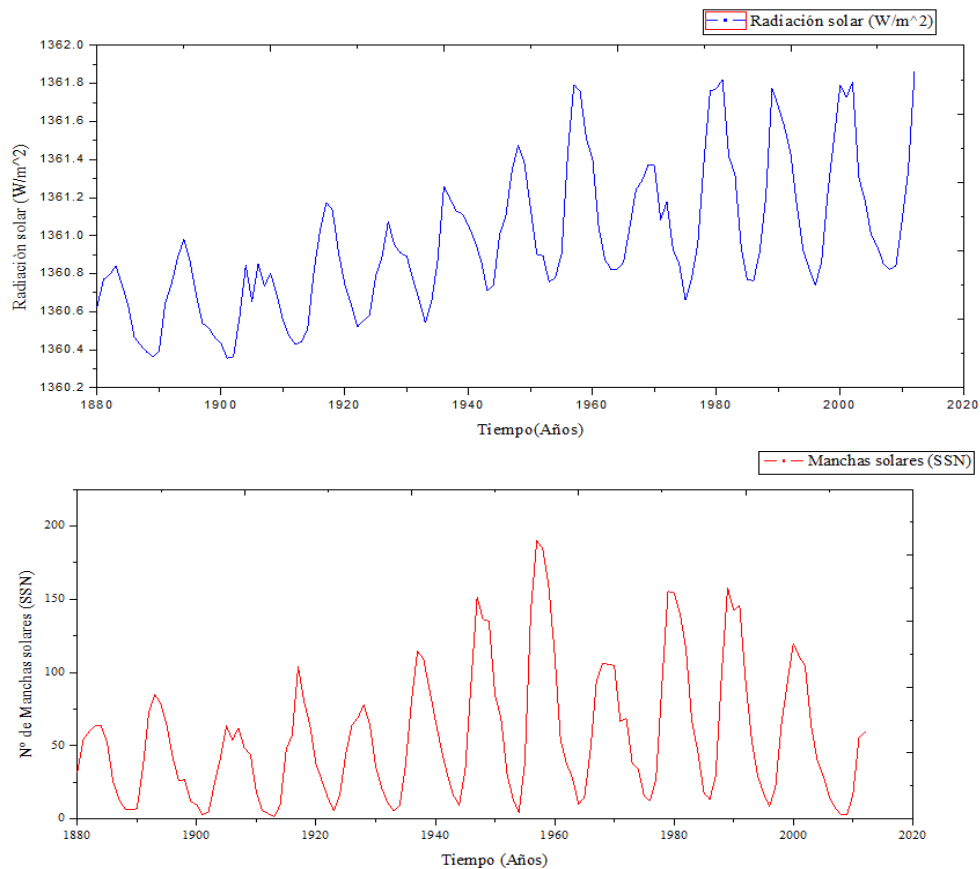


Figura 4.3: Gráfica radiación solar (curva roja) y gráfica de número de manchas solares (curva azul) para la época de 1880 a 2012.

4.1.3. Gráfica temperatura de la Tierra versus manchas solares

La gráfica (Figura 4.4) se realiza con un ajuste en la escala, este ajuste se le aplica al valor del número de manchas solares el cual es de 10^2 , con el objetivo de lograr ver las variaciones con respecto a la temperatura terrestre.

La Figura 4.4 presenta el comportamiento de la temperatura con respecto a la variación en el número de manchas solares, lo cual nos muestra que no hay una tendencia definida entre estas dos variables, pues como se observa mientras que en algunos puntos el número de manchas solares aumenta drásticamente, en el caso de la temperatura observamos que en estos mismos puntos el cambio no es proporcional a los que se presentan en la actividad solar.

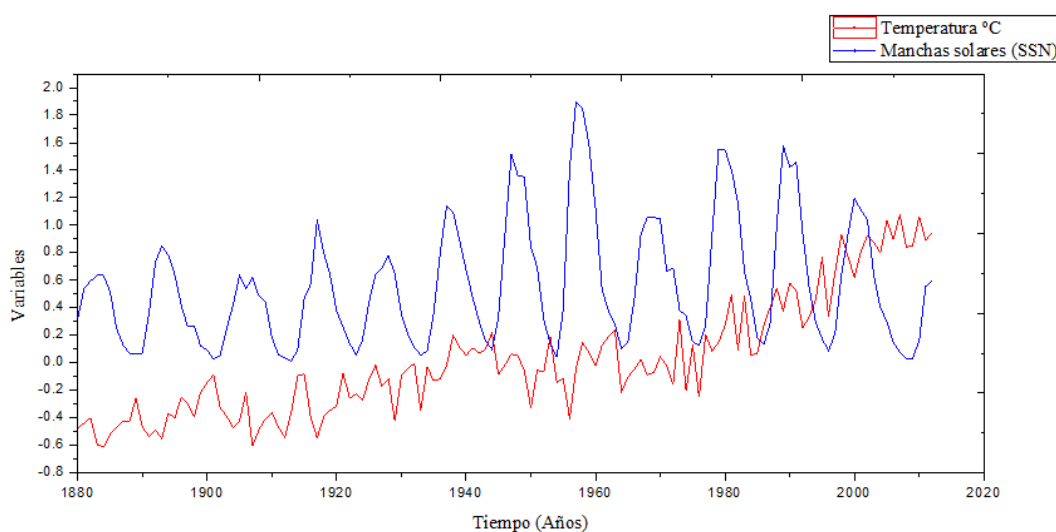


Figura 4.4: Gráfica de temperatura terrestre (curva roja) contra manchas solares (curva azul).

4.2. Cálculo del coeficiente de correlación de Pearson

El coeficiente de correlación de Pearson se obtuvo para las variables radiación solar, temperatura de la Tierra y número de manchas solares; primero se realiza la correlación entre radiación solar y temperatura de la Tierra, después se correlaciona el número de manchas solares y la radiación solar, y finalmente se realiza la correlación entre número de manchas solares y temperatura, por medio de la ecuación (4.1) (Ecuación del coeficiente de correlación de Pearson.).

Antes de realizar los cálculos es importante mencionar que el coeficiente de correlación es un valor que está entre -1 y 1, dependiendo si las variables que se están correlacionando presentan un comportamiento directamente proporcional (en este

caso el valor de la correlación esta en un intervalo entre $r \geq 0$ y 1) o inversamente proporcional (el valor de la correlación esta entre -1 y $r \leq 0$) y no hay correlación si $r = 0$.

$$r_{xy} = \frac{N \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{(N \sum x^2 - (\sum x)^2)(N \sum y^2 - (\sum y)^2)}}. \quad (4.1)$$

4.2.1. Coeficiente de correlación entre radiación solar y temperatura

Teniendo en cuenta le ecuación 4.1 se calcula el coeficiente de correlación (Ver Anexo 3. Datos Radiación solar, Temperatura de la Tierra y Número de manchas solares).

N	$\sum x$	$\sum y$	$\sum xy$	$\sum x^2$	$\sum y^2$
133	181008,723	2,29288889	3131,387592	246347070	24,0379077

Cuadro 4.1: Tabla de datos para calcular el coeficiente de correlación.

$$r_{xy} = \frac{133(3131,39) - (181008,7)(2,2929)}{\sqrt{(133(246347070) - (181008,7)^2)(133(24,0379) - (2,2929)^2)}}, \quad (4.2)$$

$$r_{xy} = 0,51.$$

El valor que se obtuvo para el coeficiente de correlación fué mínimo, siendo igual a 0,51 lo que representa que las variables están relacionadas, y además significa que cuando aumenta la radiación también aumenta la temperatura, siendo una correlación positiva.

4.2.2. Coeficiente de correlación entre radiación solar y número de manchas solares

Por medio de la ecuación 4.1 se calcula el coeficiente de correlación entre la radiación solar y el número de manchas solares.

N	$\sum x$	$\sum y$	$\sum xy$	$\sum x^2$	$\sum y^2$
133	181008.7231	7508.58611	10220851.9	246347070	692279.169

Cuadro 4.2: Tabla de datos para calcular el coeficiente de correlación.

$$r_{xy} = \frac{133(10220851,9) - (181008,7)(7508,6)}{\sqrt{(133(246347070) - (181008,7)^2)(133(692279,2) - (7508,6)^2)}}, \quad (4.3)$$

$$r_{xy} = 0,85.$$

El coeficiente de correlación que se obtuvo fué alto, lo que significa que las dos variables presentan un alto grado de relación, además presenta una correlación positiva donde a medida que aumentan las manchas solares, aumenta la radiación que se emite y que recibe la Tierra.

4.2.3. Coeficiente de correlación entre temperatura y número de manchas solares

El coeficiente de correlación para la temperatura de la Tierra y las manchas solares es igual a:

N	$\sum x$	$\sum y$	$\sum xy$	$\sum x^2$	$\sum y^2$
133	2.292888889	7508.58611	439.0437491	24.0379077	692279.169

Cuadro 4.3: Tabla de datos para calcular el coeficiente de correlación.

$$r_{xy} = \frac{133(439,0437) - (2,2929)(7508,5861)}{\sqrt{(133(24,0379) - (2,2929)^2)(133(692279,2) - (7508,5861)^2)}}, \quad (4.4)$$

$$r_{xy} = 0,12.$$

El coeficiente de correlación que se encontró para las variables manchas solares y temperatura de la Tierra fué bajo, por lo cual se considera que no existe una correlación entre estas dos variables, lo que significa que hay otros factores que posiblemente afecten la temperatura en la Tierra, con una mayor influencia.

4.3. Cálculo del coeficiente de determinación

El coeficiente de determinación proporciona una estimación de la variación de dos conjuntos de datos al ser superpuestos, es decir, el grado en que los dos conjuntos

de cifras varían entre sí. Este coeficiente se puede expresar en porcentaje, el cual se interpreta como el porcentaje de varianza compartida por los dos conjuntos de números, que en este caso son radiación solar, temperatura de la Tierra y manchas solares.

El cálculo de este coeficiente es el valor del coeficiente de correlación elevado al cuadrado, y multiplicado por 100 % para obtener su respectivo porcentaje (4.5).

$$r = r_{xy}^2 \times 100 \% . \quad (4.5)$$

4.3.1. Coeficiente de determinación entre radiación solar y temperatura de la Tierra

Tomando el valor del coeficiente de correlación obtenido entre la radiación solar y la temperatura de la Tierra, se sustituye en la ecuación del coeficiente de determinación (4.5).

$$r = (0,51313)^2 ,$$

$$r = 0,263297984 .$$

Ahora se multiplica este valor del coeficiente por 100 % para expresarlo en porcentaje.

$$r = 26,33 \% . \quad (4.6)$$

De acuerdo a lo que se obtuvo en los cálculos del coeficiente de determinación, se puede ver que la radiación emitida por el Sol, afecta la temperatura de la Tierra en un 26,32 %, por lo cual es evidente que hay otras fuentes de energía que actúan de manera más directa en los cambios de temperatura sobre la superficie terrestre.

4.3.2. Coeficiente de determinación entre radiación solar y manchas solares

Teniendo en cuenta la ecuación del coeficiente de determinación (4.5), se calcula el valor de este para la radiación solar y el número de manchas solares.

$$r = (0,8539)^2 ,$$

$$r = 0,72922787.$$

Se multiplica este valor por 100 %, y queda expresado en porcentaje.

$$r = 72,92 \% . \quad (4.7)$$

Al calcular el coeficiente de determinación para la radiación solar y el número de manchas solares, se considera que la relación y varianza de estos dos términos es alta una con respecto a la otra, ya que el valor de este coeficiente expresado en porcentajes es del 72 %, lo cual significa que al variar el número de manchas solares también variara el valor en la constante solar.

4.3.3. Coeficiente de determinación entre temperatura de la Tierra y manchas solares

Teniendo en cuenta la ecuación del coeficiente de determinación (4.5), se calcula el valor de este para la radiación solar y el número de manchas solares.

$$r = (0,12199)^2 ,$$

$$r = 0,01488217 .$$

Se multiplica este valor por 100 %, y se obtiene su respectivo porcentaje.

$$r = 1,15 \% . \quad (4.8)$$

Al realizar el cálculo para el coeficiente de determinación entre la temperatura de la Tierra y el número de manchas solares, se puede establecer que la relación entre estas dos variables es muy poca, ya que solo es posible dar cuenta de los cambios de temperatura relacionados con la cantidad de manchas solares en un 1,15 %.

4.4. Diseño de la propuesta de aula

En esta fase del trabajo se realiza un módulo didáctico que consiste en realizar actividades motivadoras dirigidas al grupo PRAE para llevar a cabo el estudio de la actividad solar y los cambios en la temperatura de la Tierra, los cuales se desarrollaron en sesiones de una hora por día como se muestra a continuación:

4.4.1. Sesión 1.

Se realiza la presentación de la propuesta de trabajo a los estudiantes del proyecto PRAE, además de esto se da una introducción con el objetivo de motivar a los integrantes del grupo hacia el estudio de temáticas relacionadas con la astronomía y la física.

Se realizan preguntas que permiten evidenciar cuál es el interés que los estudiantes tienen acerca de los factores que influyen en el cambio de temperatura de la Tierra y que conocimientos tienen sobre el Sol, como características o fenómenos que están presentes en este astro.

4.4.2. Sesión 2.

Presentación de los objetivos que tendrá el grupo, las temáticas que se trabajan para la comprensión del fenómeno, y finalmente se da inicio a la primera parte que compone el marco teórico disciplinar. Esta primera parte se centra en el estudio de las capas del Sol cuyo objetivo es reconocerlas por medio de sus características y funciones ya que cada una de ellas cumple una diferente.

4.4.3. Sesión 3.

El estudio de las capas del Sol permiten ver cuál es el comportamiento que tiene este astro, y porque se producen ciertos fenómenos. Los fenómenos que se presentan en el Sol son propios de su composición química y física. Por otro lado el estudio de las capas de la atmósfera terrestre permite comprender las variaciones en la temperatura de la Tierra debido a que es en estas zonas donde se determinan estos cambios. Para esta sesión se realiza en principio una actividad que permite ver las características más importantes de las capas del Sol, luego se realiza la explicación de las capas de la Tierra, enfatizando en la capa de la troposfera, la estratosfera y la termosfera. Esta explicación finaliza con un crucigrama donde se encuentran las características más importantes de la atmósfera terrestre (ver Anexo 2. Actividades Implementación).

4.4.4. Sesión 4.

Para esta sesión se tiene como objetivo dar a conocer la formación de manchas solares y los fenómenos que se presentan en esas zonas activas.

La presentación se realiza por medio de una página interactiva de la Junta de Andalucía que muestra el comportamiento del Sol cuando se forman las manchas solares, y un video titulado El Sol, manchas solares y campos magnéticos. También se presentan algunas imágenes que muestran los fenómenos que se observan en las zonas activas (manchas solares), como las fulguraciones, las eyecciones de masa coronal y los bucles coronales.

4.4.5. Sesión 5.

La sesión tiene como objetivo caracterizar los tipos de radiación que conforman el espectro electromagnético, ya que esta es la radiación que el Sol emite a la Tierra. Se define que es radiación, radiación solar, radiación cósmica, radiación ultravioleta, radiación infrarroja o térmica y radiación visible; después de dar estas definiciones se muestran los ejemplos donde las podemos encontrar.

Luego de esta explicación se realiza una tabla comparativa entre la actividad solar alta y la actividad solar baja, mostrando los fenómenos que se presentan en cada una de ellas.

4.4.6. Sesión 6.

El objetivo de esta sesión es ver en qué consistió el mínimo de Maunder, analizar el coeficiente de correlación de Pearson y las graficas de radiación solar versus temperatura de la Tierra, radiación solar versus número de manchas solares y número de manchas solares versus temperatura de la Tierra. Como actividad motivadora se realiza una sopa de letras (Ver Anexo 2. Actividades Implementación) donde se encuentran las características más relevantes del Mínimo de Maunder y los fenómenos que se presentan en el Sol y la Tierra.

4.4.7. Sesión 7.

En la sesión final se realiza una representación artística que representa las características más importantes o relevantes para el estudiante sobre las tematicas presentadas en relación con la actividad solar y el cambio de temperatura en la Tierra.

Diagrama representativo para el desarrollo de la propuesta de aula

DISEÑO DE LA ESTRATEGIA DIDÁCTICA
ASPECTOS PRELIMINARES Presentación, introducción y objetivos dirigidos a los estudiantes del proyecto PRAE sobre la temática Radiación solar y su relación con los cambios de temperatura en la Tierra.
MARCO DISCIPLINAR -Partes del Sol. -Capas de la atmósfera terrestre. -Formación de manchas solares y fenómenos que producen estas. -Radiación solar y espectro electromagnético. -Mínimo de Maunder.
ANÁLISIS Coeficiente de correlación y gráfica de Radiación solar-temperatura de la Tierra.
REPRESENTACIÓN ARTISTICA Construcción de la representación artística sobre la relación entre la actividad solar y el cambio de temperatura de la Tierra.

Cuadro 4: Tabla tematica para el desarrollo de la estrategia didáctica.

Capítulo 5

RESULTADOS IMPLEMENTACIÓN

En este capítulo se presentan los resultados que se obtuvieron de la implementación de la propuesta de aula la cual se realizó en el colegio Escuela Nacional De Comercio con el grupo de estudiantes del proyecto PRAE.

Las diferentes actividades que se realizan en las sesiones de implementación en el colegio distrital Escuela Nacional de Comercio permitieron la construcción de una representación artística que da cuenta de la relación entre el fenómeno actividad solar y cambio de temperatura de la Tierra, el cual se realiza en grupos de tres estudiantes los cuales participaron en las actividades realizadas en el proyecto PRAE.

Algunas de las actividades que se realizaron preliminares a la construcción de la representación artística que recopila todas las temáticas trabajadas fueron:

- Crucigrama: capas de la atmósfera y sus características.
- Sopa de letras: características de la época en que se dio el Mínimo de Maunder.
- Relacionar los términos de las columnas A y B, las cuales contienen las capas del Sol y sus características principales.

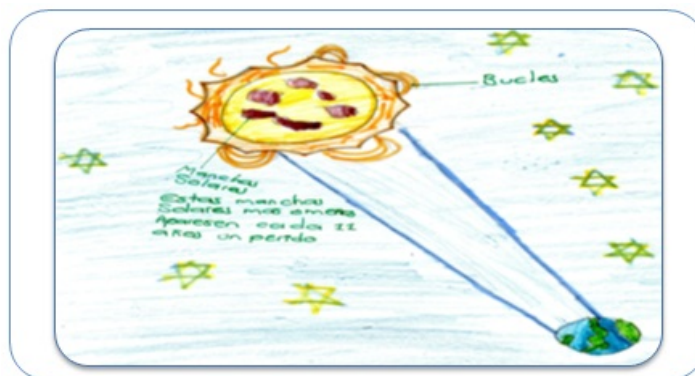
Estas actividades (Anexos 2. Actividades Implementación) permitieron aclarar algunas de las características fundamentales del comportamiento de la Tierra frente a la actividad solar. Además de esto permite observar que se aprendió en cada una de las sesiones, y que fue lo que más se les dificultó durante la presentación de las temáticas.

La representación artística es el resultado final de esta implementación, esta representación muestra las características más importantes sobre el fenómeno actividad solar y su relación con el cambio de temperatura de la Tierra, permitiendo ver la capacidad del estudiante de aprender por medio de imágenes o metodologías que pongan en funcionamiento la imaginación y la abstracción de las temáticas de manera significativa para el estudiante.

Las representaciones que se muestran en los siguientes cuadros son realizadas por los estudiantes sobre lo aprendido durante las sesiones de implementación.

Representaciones de los estudiantes del proyecto PRAE

Grupo 1.



El Sol se representa en este dibujo con algunos de los fenómenos que se producen en las zonas activas del Sol. Las manchas solares y los bucles coronales son algunos de los que se observan en el diagrama, además se muestra la Tierra cara al Sol. El texto que se encuentra en el dibujo dice:

Bucles.

Manchas solares: estas manchas solares más o menos aparecen cada once años, un periodo.

La representación que realiza el grupo de estudiantes genera varios puntos que permiten ver qué aprendieron sobre la relación entre el Sol y la Tierra.

En el gráfico se debe analizar desde dos puntos (marco de referencia), el primero tomando un marco de referencia externo a la Tierra y el Sol, y el segundo desde el marco de referencia terrestre, debido a que son las dos posibles posiciones donde el estudiante se encuentra.

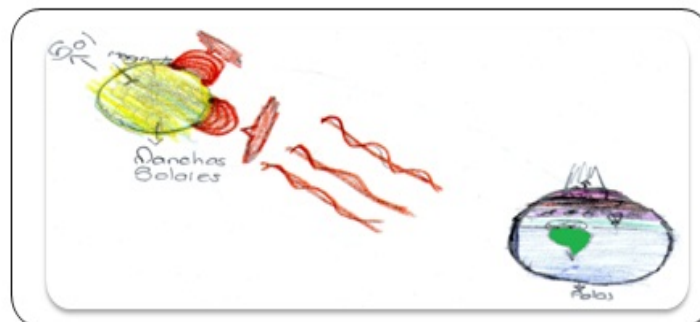
Desde el marco de referencia exterior al Sol y a la Tierra, se describe lo que pasa cuando el Sol emite una cantidad de radiación en dirección a la Tierra, logrando que

ilumine una parte de la superficie de la Tierra de cara al Sol. También se observa que en el espacio se encuentran otras estrellas que posiblemente representarían cuerpos celestes que se encuentran muy alejados del Sol y por lo cual solo se observan como puntos luminosos.

Considerando que el estudiante esta en el marco de referencia terrestre, se analizan algunos puntos:

El observador está ubicado en la zona donde la radiación solar está llegando a la Tierra (zona más clara), desde este punto, el observador recibe radiación visible que no permite observar a otros cuerpos celestes, pues esta radiación los opaca, logrando observar solo las manchas solares y los bucles coronales. El observador considera que los cuerpos celestes, que además del Sol se encuentran en el espacio, si se pueden observar si él estuviera ubicado en las zonas donde no se recibe radiación solar (pero que se encuentren dentro del rango observacional al espacio exterior), por lo cual el estudiante solo pinta estrellas en las zonas que no pasan los limites por donde la radiación viaja del Sol a la Tierra, permitiendo aclarar que solo una fracción de la superficie terrestre recibe en ese instante la radiación solar.

Grupo 2.



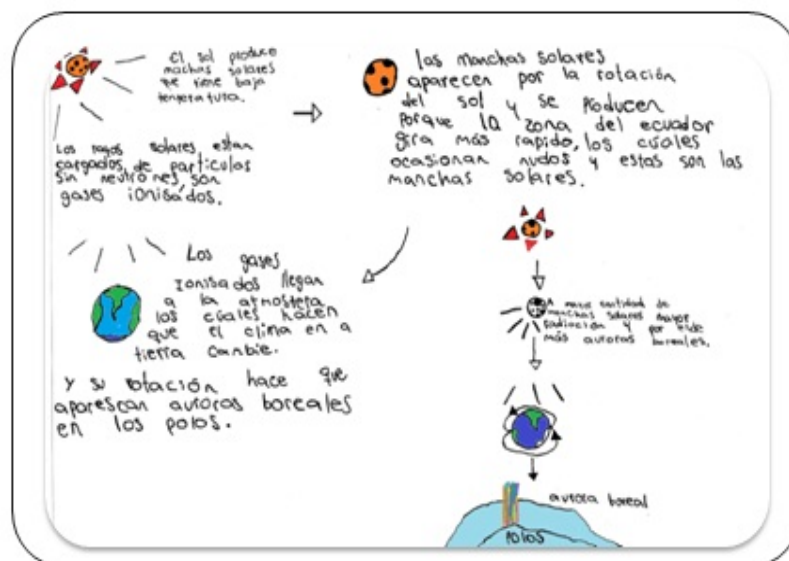
Este dibujo representa la generación de viento solar , producto de los bucles coronales que se forman en las zonas activas del Sol (manchas solares), además de esto se muestra las zonas donde aparecen las auroras boreales que se identifican en la parte norte del planeta Tierra representadas por una zona más oscura de color morado.

El representación artística que realizan los estudiantes sobre la relación entre la actividad solar y la temperatura de la Tierra permite observar algunos fenómenos que se presentan en el Sol, como es el aumento en la intensidad del viento solar que genera a la vez un aumento en la radiación que se emite, esto producto de los bucles

coronales los cuales tienen comportamientos similares a los que se observan cuando ponemos dos imanes y limaduras de hierro, evidenciándose un campo magnético que parte de una mancha solar y termina en otra mancha con polaridad opuesta, produciendo que el plasma se comporte como las limaduras de hierro.

Además se observa que estos bucles coronales presentan explosiones, que producen gran cantidad de radiación la cual presenta un comportamiento ondulatorio, que al llegar a la Tierra genera las auroras boreales y australes que se identifican por sus colores sobre la atmósfera (ionosfera).

Grupo 3.



Este dibujo representa paso a paso lo que sucede cuando el Sol emite la radiación hacia el planeta Tierra. El estudiante lo describe de la siguiente forma.

- * El Sol produce manchas solares que tienen bajas temperaturas.
- * Los rayos solares están cargados de partículas sin electrones, son gases ionizados.
- * A mayor cantidad de manchas solares mayor radiación y por ende más auroras boreales.
- * Las manchas solares aparecen por la rotación del Sol, y se producen porque la zona del ecuador gira más rápido, los cuales ocasionan nudos y estas son las manchas solares.
- * Los gases ionizados llegan a la atmósfera, los cuales hacen que el clima de la Tierra cambie.

Esta representación permite identificar que aun hay conceptos que los estudiantes no tienen en claro, por lo cual al intentar representar el proceso que sigue el Sol

y la Tierra sobre los cambios que estos cuerpos presentan, se ve una confusión en lo que sucede en dichos fenómenos. Además de esto se identifica que hay mucha información que los estudiantes quieren relacionar para hacer que su representación sea mucho más completa.

Identifican que las manchas solares presentan temperaturas menores que las de la superficie solar, y que debido a esto es que se observan de color oscuro. Además de esto se da una explicación sobre lo que genera estas manchas mencionando que debido a la rotación diferencial del Sol (donde las zonas próximas al ecuador tienen una velocidad mayor que las zonas cercanas a los polos), se genera la distorsión en el campo magnético y produce que las líneas de campo formen nudos que no permiten que el proceso convectivo se realice correctamente.

Debido a este comportamiento en el Sol se generan los denominados ciclos solares, que producen las variaciones en la radiación y por consiguiente se esperaría que afectara el cambio en la temperatura de la Tierra. Además de las variaciones en la temperatura terrestre se presentan las denominadas auroras que se generan por la ionización de los gases atmosféricos que se encuentran en la capa de la atmósfera conocida como ionosfera.

Grupo 4.

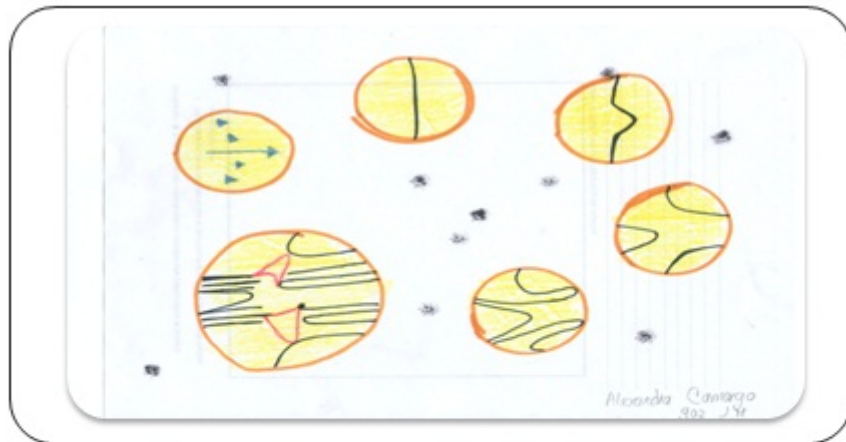


Este dibujo que se representa permite observar las capas del Sol, las cuales se nombran en el dibujo, además de esto se muestran las manchas solares. Las capas del Sol: núcleo, zona convectiva, zona radiactiva y fotosfera.

La representación artística que presentan los estudiantes del grupo 4 permite identificar las diferentes capas del Sol, que sin embargo muestra que los estudiantes aun no tiene total claridad sobre estas. También hay que mencionar que identifican donde

se presentan las manchas solares y que reconoce la existencia de las capas del Sol, como zonas que cumplen diferentes procesos en el Sol.

Grupo 5.



El dibujo que se muestra representa la forma en que se comportan las líneas de campo magnético cuando rota el Sol, y se evidencia que en la zona del ecuador el Sol se mueve más rápido que en los polos, lo cual genera nudos en las líneas de campo magnético, dando origen a la formación de las manchas solares.

Los estudiantes representan en el dibujo el movimiento rotacional diferencial del Sol y el movimiento que se genera en las líneas de campo magnético debido a este movimiento. En este diagrama se observa el campo de velocidades que presenta el plasma el cual es orientado por el campo magnético. También se observa que a medida que pasa el tiempo se van formando nudos entre las líneas de campo magnético que más adelante detienen el flujo de plasma caliente a la superficie, lo cual genera la disminución de la temperatura en las zonas donde el campo magnético es mucho más fuerte que en las demás zonas en la fotosfera.

Las representaciones artísticas que los estudiantes construyeron permiten identificar cada uno de los aspectos que producen los cambios en la actividad solar como son las manchas solares, y también los que se producen en la Tierra en este caso el cambio en la temperatura. Además de esto se logra ver que el estudiante construye la representación basándose en los aspectos que para él son significativos y le llaman la atención, generándose un aprendizaje significativo sobre la temática.

Capítulo 6

ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se presenta el análisis de los resultados obtenidos de la parte disciplinar y de la parte del trabajo de aula. El análisis de la parte disciplinar está ligado al cálculo de los coeficientes de correlación y determinación, y las gráficas radiación solar, manchas solares y temperatura de la Tierra. La segunda parte es el análisis del trabajo de implementación en el aula, el cual está relacionado con las representaciones que los estudiantes realizaron sobre la relación entre la actividad solar y la temperatura de la Tierra.

6.1. Análisis de Gráficas, Coeficiente de Correlación y Determinación

6.1.1. Radiación solar versus temperatura de la Tierra

La temperatura de la Tierra desde 1880 hasta el 2012 ha aumentado evidentemente como se muestra en la Figura 4.1, pero no solo se presenta un aumento en la temperatura sino también en la radiación que emite el Sol (TSI), como se muestra en la Figura 4.2. La radiación cada vez es más intensa, lo cual podría significar que los fenómenos que se presentan en el Sol son de mayor magnitud que los que se producían anteriormente, generando una mayor cantidad de radiación emitida en zonas activas de la fotosfera.

El coeficiente de correlación que se obtuvo de los datos radiación solar contra temperatura de la Tierra, muestran que hay una relación mínima entre estas dos variables ya que este coeficiente es igual a $r_{xy} = 0,51$, y su relación es proporcional, lo que significa que al aumentar la radiación solar también aumenta la temperatura en la

Tierra. Las variaciones que presenta la temperatura de la Tierra son explicadas en un 26,33 % por las variaciones que se presentan en la radiación emitida por el Sol, producto de los cambios en los ciclos solares.

6.1.2. Radiación solar versus manchas solares

La actividad solar se caracteriza por variaciones en la cantidad de manchas solares (SSN) que aparecen en la fotosfera solar, estas variaciones afectan la cantidad de radiación que se emite hacia la Tierra; como se muestra en la Figura 5.1, en los picos que se marcan con una circunferencia se evidencia que tanto la radiación como las manchas solares han venido variando. Los aumentos en la radiación son progresivamente mayores con el paso de los años, mientras que para el número de manchas solares estos cambios no se presentan de esta misma forma. Los picos que corresponden a las zonas 1, 2, 3, 4 presentan aumentos en el número de manchas solares a medida que pasan los años, hasta alcanzar un pico máximo en la zona 5, la cual delimita el inicio en el descenso del número de manchas solares, como si se iniciara un nuevo ciclo en los cuales están inmersos los ciclos de once años (ciclo de Gleissberg).

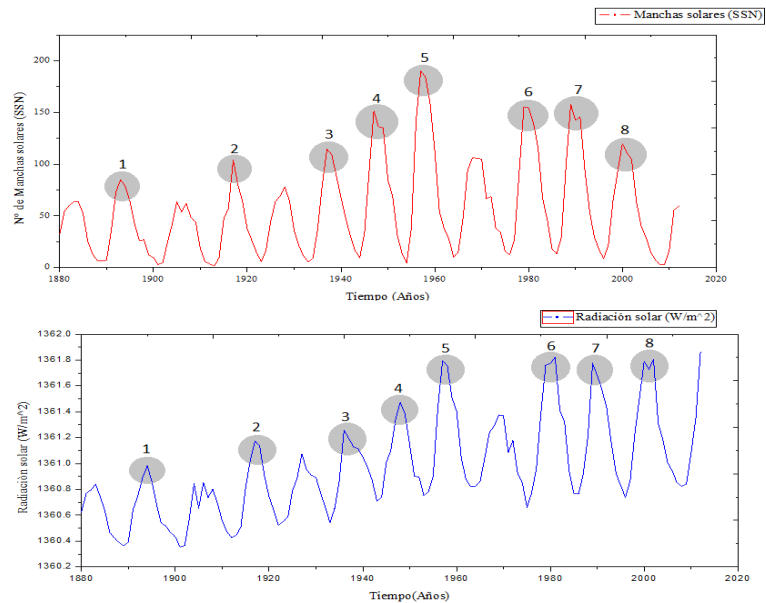


Figura 6.1: Comparación entre los máximos picos de radiación solar (gráfica roja) y manchas solares (gráfica azul).

Análisis de los datos promediados para las gráficas de radiación solar y número de manchas solares

Haciendo una comparación entre los años en que se presentaron los picos máximos en el número de manchas solares y radiación solar se observa claramente que el Sol cada vez presenta mayor emisión de radiación, mientras disminuye el grado de actividad solar (número de manchas solares), lo cual podría considerarse como un Sol cada vez más activo.

Analizando estos picos con los datos que se presentan en la tabla (Cuadro 5.1) se observará en promedio cual es esta variación.

N_0 Zona	Ciclo Solar	Años	Promedio TSI	Promedio SSN
1	14	1892 - 1895	1360.869	75
2	16	1926 - 1929	1360.9554	68.90
3	18	1946 - 1950	1361.2889	119.85
4	19	1956 - 1960	1361.58016	157.45
5	21	1978 - 1982	1361.63364	131.87
6	22	1988 - 1992	1361.5322	128.07
7	23	1998 - 2001	1361.58016	98.39
8	24	2008 - 2012	1361.19168	27.51

Cuadro 6.1: Datos promedio para los ciclos solares 14, 16, 18, 19,21, 22, 23, 24 de TSI y SSN.

Como se observa en la tabla (Cuadro 5.1), tanto la radiación como las manchas solares no disminuyen su intensidad por debajo de 1360,869 para la radiación y 75 para el número de manchas solares desde la época de 1892 hasta el 2002, teniendo en cuenta que se está tomando cada pico donde se alcanza la máxima actividad solar, mientras que para la época de 2008 a 2012 la cantidad de manchas en promedio fué de 27,21 teniendo en cuenta que aún no se ha terminado el ciclo de esta época (ciclo 24), pero que según los estudios que se han hecho sobre este ciclo, la actividad empezará a disminuir; por lo tanto se espera que la actividad solar de este ciclo sea baja, con respecto a los demás ciclos que se mencionan en la tabla (Cuadro 5.1).

Al analizar el valor que se obtuvo del cálculo para el coeficiente de determinación, que es expresado en porcentaje, se llega a la conclusión de que el 72 % de los cambios

en la energía emitida por el Sol (TSI), es explicada por el número de manchas solares presentes en la fotosfera solar.

6.1.3. Temperatura de la Tierra versus manchas solares

De acuerdo a la gráfica temperatura terrestre versus manchas solares (Figura 4.4) podemos encontrar que la temperatura ha aumentado de manera muy rápida desde 1980, pero sin embargo es muy poca la relación que tiene este aumento con respecto a la cantidad de manchas solares que se presentan en estas épocas, lográndose obtener tan solo un coeficiente de correlación igual a $r_{xy} = 0,12$, la cual es una correlación mínima.

Para el caso del coeficiente de determinación que se calcula entre estas variables (Temperatura de la Tierra y Manchas solares), se obtiene que los cambios de temperatura que se explican por la variación en la cantidad de manchas solares es tan solo del 1,12 %, la cual es muy baja, pero que sin embargo contribuye a los posibles cambios presentes en la temperatura superficial de la Tierra.

6.2. Análisis De Resultados Implementación

La implementación de la propuesta de aula se realizó con los estudiantes del proyecto PRAE del Colegio Escuela Nacional de Comercio, y tiene como objetivo que el estudiante identifique y conozca las diferentes características y fenómenos que intervienen en la relación entre la actividad solar y los cambios de temperatura de la Tierra. Las temáticas que se trabajaron fueron las mencionadas en cada una de las sesiones que se presentan en el diseño de la propuesta de aula.

Las temáticas que se presentan en las sesiones de implementación permiten hacer un análisis sobre los coeficientes de correlación y las gráficas de radiación solar, manchas solares y temperatura de la Tierra, esto debido a que es esta la base teórica que da cuenta del significado que tienen los datos estadísticos. Teniendo en cuenta lo anterior se presenta a los estudiantes las gráficas y el cálculo de los coeficientes de correlación, concluyendo esta sesión con tres puntos importantes, los cuales son:

- Entre mayor sea la cantidad de manchas solares mayor es la radiación emitida por el Sol.

- Las variaciones en la radiación emitida por el Sol no tienen grandes efectos en la temperatura de la Tierra, por lo que se considera que hay otros fenómenos que afectan de manera más directa los cambios en la temperatura de la Tierra.
- La radiación emitida por el Sol ha venido aumentando con el paso de los años, por lo cual se considera que el Sol cada día es más activo.

Finalmente se realiza una representación artística por parte de los estudiantes del proyecto PRAE que me da cuenta de las características más importantes de los fenómenos presentes en la relación entre la actividad solar y los cambios de temperatura de la Tierra.

En el análisis de las representaciones artísticas, se logra observar que algunos de los estudiantes solo memorizaron algunas de las temáticas presentadas en las sesiones de implementación. Mientras que otro grupo de estudiantes logra construir una representación con las características más importantes de la relación entre actividad solar y los cambios de temperatura, pero que sin embargo se evidencia que no se tiene total claridad sobre los conceptos que caracterizan los fenómenos que el estudiante quiere representar.

Es importante mencionar algunas de las dificultades que se presentaron durante la presentación y aprendizaje por parte de los estudiantes de las temáticas que permiten entender la relación entre la actividad solar y las manchas solares, con el objetivo de prevenir y mejorar futuros trabajos de aula relacionados con este tipo de temáticas. Entre las dificultades que se presentaron durante la presentación de las temáticas, una de ellas fue lograr reunir al grupo completo del proyecto PRAE, ya que algunas de las sesiones estaban conformadas por la mitad de estudiantes, y esto no permitía una continuidad acorde a lo planteado en la propuesta de aula, generando que algunos estudiantes no comprendieran por completo el fenómeno.

Además de esto los temas presentan dificultades al momento de darlos a conocer, debido a que muchos de los conceptos que son necesarios de manejar no son fáciles de comprender, ya que se requiere de cierto grado de contextualización por parte de los estudiantes que participan en la implementación. Debido a lo mencionado anteriormente algunos estudiantes trataron de realizar la representación artística con las características más importantes que se mencionaron en las sesiones pero que sin embargo no permiten dar cuenta de un aprendizaje propio de ellos, si no

una representación repetida de los temas que se trataron en la propuesta de aula, mientras que otros estudiantes realizan una representación sobre estas temáticas tratando de mostrar lo aprendido sin profundizar en los temas, haciendo evidente algunas dificultades conceptuales.

Por otro lado las recomendaciones que se deben tener al plantear una propuesta de aula con el objetivo de que el estudiante aprenda sobre este tipo de temas es en principio conocer el grado de contextualización de los estudiantes, pues esta es la base para lograr satisfactoriamente que el estudiante aprénda lo que se quiere enseñar.

Otro de los aspectos que se deben tener en cuenta es la cantidad de tema que se presenta en cada una de las sesiones, pues los temas que se manejan para comprender la relación entre la actividad solar y los cambios de temperatura de la Tierra deben darse a conocer de la forma más detallada posible, lo cual significa una mayor cantidad de tiempo y de sesiones para cada uno de ellos.

También hay que destacar que las representaciones realizados por los estudiantes corresponden a las sesiones donde se muestran los temas mediante la simulación, el video y las imágenes de estos, de lo cual se evidencia que es más fácil para el estudiante recordar o memorizar los temas que se pueden visualizar. Esto también evidencia que con lo planteado en la propuesta de aula, el estudiante aun no tiene las suficientes herramientas conceptuales para ser capaz de dar una explicación más clara y completa de la relación entre la actividad solar y los cambios de temperatura en la Tierra.

Los aspectos más relevantes de la implementación de la propuesta de aula que permiten mejorar el planteamiento de esta para una futura presentación de este tipo de temas sobre el comportamiento del Sol y los fenómenos que genera en la Tierra con estudiantes de básica secundaria son en principio que los temas deben tener un nivel de conceptualización acorde con los conocimientos y el desarrollo de las capacidades de comprensión por cada uno de los estudiantes, ya que es difícil para ellos concebir los fenómenos físicos que son poco frecuentes en las actividades diarias.

Otro de los aspectos que se observaron dentro de la implementación de la propuesta de aula, es que ellos reconocen que el Sol es un astro que cambia, que la radiación que se emite varía con el tiempo y con el número de manchas solares presentes en la fotosfera solar, además de esto reconocen que debido a estos cambios en el Sol se

generan fenómenos en la Tierra.

Las recomendaciones que se deben tener al plantear una propuesta de aula con el objetivo de que el estudiante aprenda sobre este tipo de temas es en principio conocer el grado de contextualización de los estudiantes, pues esta es la base para lograr satisfactoriamente que el estuante aprenda lo que se quiere enseñar. Otra de las recomendaciones es disponer con el tiempo suficiente para presentar y enseñar cada uno de los conceptos que permitan una comprensión del tema lo suficientemente clara para que el estudiante pueda construir su propio conocimiento.

CONCLUSIONES

- La presencia en la fotosfera solar de manchas solares genera variaciones en la constante solar, que es la energía emitida por el Sol. Estas variaciones en la constante solar debidas al número de manchas solares presentes en el Sol solo afecta la temperatura de la Tierra en un 1,15 %, lo cual evidencia que hay otros factores que afectan de manera más directa la temperatura de la superficie de la Tierra.
- Los fenómenos que se presentan en el Sol debido a las manchas solares generan épocas de máxima y mínima actividad solar, estas épocas se caracterizan por el aumento y disminución de la radiación emitida por el Sol, siendo mayor la radiación solar cuando hay mayor número de manchas solares y menor en ausencia de estas. Estas variaciones de la radiación solar son determinadas en un 72,92 % por el número de manchas solares presentes en el Sol para la época que va de 1880 a 2012.
- De acuerdo con las graficas y los coeficientes de correlación y determinación se establece que la relación entre la radiación solar y la temperatura de la superficie de la Tierra es moderada, ya que el coeficiente de correlación es de $r_{xy}=0,51$, lo cual significa que el 26,33 % de las variaciones en la temperatura son debidas a las variaciones en la radiación solar.
- Los estudiantes del colegio Escuela Nacional De Comercio que participaron en el proyecto PRAE caracterizan por medio de una representación artística la relación entre la actividad solar y los cambios de temperatura de la Tierra, donde identifican las manchas solares, los bucles coronales, las auroras boreales y los cambios en la rotación del Sol, los cuales son fenómenos característicos de la actividad solar y de los fenómenos presentes en la Tierra.

Bibliografía

Ahern Judson L. (2004). Earth's magnetic field. Facultad de Geología y Geofísica de la Universidad de Oklahoma. Oklahoma, Estados Unidos, internet; http://geophysics.ou.edu/solid_earth/notes/mag_earth/earth.htm

Aubert Julien, Aurnou, J. (2008). The magnetic structure of convection-driven numerical dynamos. Geophys. Universidad de Concepción, Concepción, Chile, internet; http://www.mttmllr.com/GEOMAG/geomag_07x2.pdf

Boloix Tortosa Rafael, Medina Francisco. Divergencia del campo magnético creado por corrientes estacionarias. Universidad de Sevilla. Sevilla Andalucía España, internet; http://personal.us.es/boix/uploads/pdf/electromagnetismo/divergencia_cm_prot.pdf

Demetrescu Crisan , Dobrica Venera. (2008). Signature of Hale and Gleissberg solar cycles in the geomagnetic activity. Journal of Geophysical Research, Florida, Estados Unidos, internet; <http://ruby.fgcu.edu/courses/twimberley/envirophilo/signature.pdf>

Deobold B, Van Dalen. (2006). Manual de técnica de la investigación educacional. Buenos aires, Argentina. Internet; <http://noemagico.blogia.com/2006/091301-1a-investigacion-descriptiva.php>

Eddy John A. (1976). The Maunder Minimum. Science, volume 192. Internet; <http://www.sciencemag.org/content/192/4245/1189.short>

Eddy John A., Gilliland Ronald L. (1982). Changes in the solar constant and climatic effects. Revista nature. Colorado, Estados Unidos.

Gonzalez A. (2000). ¿ Existió realmente el Mínimo de Maunder? Sociedad astronómica de Zaragoza. España. Greenfacts. (2007). Cambio climático, resumen del informe de evaluación 2007 del IPCC. <http://www.Greenfacts.org/es/cambio-climatico-ie4/climate-change-ar4-foldout-es-pdf>

Guarin E., Segura M. (2010) Modelo Descriptivo Del Campo Magnético Solar. Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, Colombia.

Hathaway David H. (2010). The Solar Cycle. NASA Marshall Space Flight Center. Living Reviews, in solar physics. Huntsville, Estado Unidos. Internet; <http://solarphysics.livingreviews.org/Articles/lrsp-2010-1/fulltext.html>

Helden Van Albert, Isabel Burr. (1995). The Galileo Project. Institute for history and foundations of science. University of Utrecht. Utrecht, Holanda, internet; <http://galileo.rice.edu/sci/observations/sunspots.html>

IDEAM. (2012). Boletín informativo sobre el monitoreo de los fenómenos de variabilidad climática El niño y La niña. Colombia.

Mendoza Ortega B. (2006). Actividad solar y clima. Monografía del instituto de Geofísica UNAM. México D. C, México.

Mendoza Ortega B. (2005). Total solar irradiance and climate. Artículo Instituto de Geofísica UNAM. México D.C, México.

Mendoza B. (2009). Las tormentosas relaciones entre el Sol y la Tierra. Instituto de Geofísica de la UNAM. México.

Ministerio de Educación.(2005) Altablero. El periódico de un país que educa y se educa. <http://www.mineduacion.gov.co/1621/article-90893.html>.

Ministerio de educación.(2010). Dirección de calidad de preescolar, básica y media <http://www.mineduacion.gov.co/1621/articles->

Mutis Luis. (2009). Los proyectos y/o ejes trasversales. Pasto, Colombia. Internet; <http://es.scribd.com/doc/19481683/Los-Proyectos-o-Ejes->

NASA. (2013) Ciclo de manchas solares. Estado Unidos. Internet; <http://solarscience.msfc.nasa.gov/images/bfly.gif>

NOAA.(2013).The Sun and Sunspots. Can an increase or decrease in sunspot activity affect the Earth's climate? Estado Unidos, internet; <http://www.crh.noaa.gov/fsd/?n=sunspots>

Phillips Tony. (2001). El Sol se voltea. NASA. Estados Unidos. Internet; http://ciencia.nasa.gov/science-at-nasa/2001/ast15feb_1/

Sendiña Nadal Irene, Pérez Muñuzuri Vicente. (2006). Fundamentos de meteorología. Universidad de Santiago de Compostela. La Coruña España.

Schüssler Manfred, Schmitt. Theoretical Models of Solar Magnetic Variability. Max-Planck für Aeronomie, Katlenburg-Lindau, Germany, internet; <http://www.mps.mpg.de/homes/schmitt/papers/variability.pdf>

SORCE. (2011).Reconstrucción histórica TSI. NASA. Internet; http://lasp.colorado.edu/sorce/data/tsi_data.htm

Taylor, S.J., Bogdan, R. (1988)Introducción a los métodos cualitativos de investigación.Internet; <http://201.147.150.252:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1216/bogdan1988.pdf?sequence=1>

Usoskin Ilya G. (2008). A history of solar activity over millennia. Living Reviews in solar physics Max-Planck-Gesellschaft. Alemania. Internet; <http://solarphysics.livingreviews.org/Articles/lrsp-2013-1/fulltext.html>

Usoskin, I.G., Korte, M. and Kovaltsov, G.A. (2008). Role of centennial geomagnetic changes in local atmospheric ionization. Geophys

Usoskin, I.G., Mursula, K., Arlt, R. and Kovaltsov, G.A. (2009). A Solar Cycle Lost in 1793 – 1800 : Early Sunspot Observations Resolve the Old Mystery. Astrophys. J.

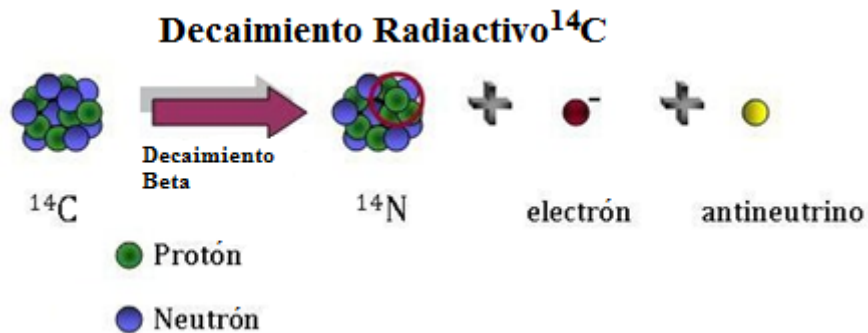
Usoskin, I.G., Solanki, S.K. and Kovaltsov, G.A.(2007). Grand minima and maxima of solar activity: new observational constraints. Astron. Astrophys

Yousef Shahinaz M. (2000). The solar Wolf-Gleissberg cycle and its influence on the Earth. Astronomy and Meteorology. Universidad del Cairo. Egipto. Internet; http://virtualacademia.com/pdf/cli267_293.pdf

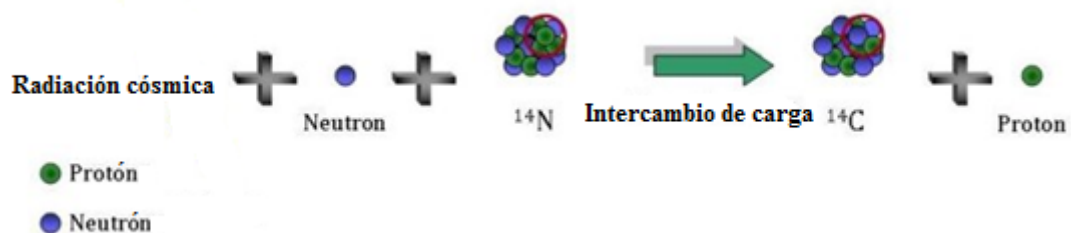
ANEXOS

Anexo 1. Isótopo Radiactivo ^{14}C

El ^{14}C es un isótopo cosmogénico, que se encuentra en la materia orgánica como por ejemplo en huesos, carne o madera. Este isótopo tiene seis protones y ocho neutrones, y tiene una particularidad y es que es muy inestable y poco a poco va transmutándose en nitrógeno ^{14}N de acuerdo a:



La generación del isótopo radiactivo ^{14}C se debe a que la radiación cósmica llega y choca con los elementos de la atmósfera, logrando que los átomos de nitrógeno absorban un neutrón que ha sido producido en los choques. La reacción se genera de acuerdo a:



Como se puede observar el producto final de la interacción entre la radiación cósmica y las partículas de la atmósfera es un isótopo de carbono (^{14}C) y un protón.

La medida de este isótopo se realiza con muestras obtenidas en los organismos (madera, huesos, carne, etc.), que se analizan en laboratorios, los cuales utilizan diferentes métodos para la detección de este isótopo.

Los registros que se obtuvieron para los ciclos solares a partir del isótopo radiactivo ^{14}C se presentan en la tabla (Cuadro 5.2).

N_0	Año	Duración	Observación	N_0	Año	Duración	Observación
1	1680	80	Maunder	14	4225 a.C	30	c, d
2	1470	160	Spörer	15	4325 a.C	50	a, c, d
3	1305	70	Wolf	16	5260 a.C	140	a, b, d
4	1040	60	a, d	17	5460 a.C	60	c, d
5	685	70	b, d	18	5620 a.C	40	d
6	360 a.C	60	a, b, c, d	19	5710 a.C	20	c, d
7	765 a.C	90	a, b, c, d	20	5985 a.C	30	a, c, d
8	1390 a.C	40	b, d	21	6215 a.C	30	c, d, e
9	2860 a.C	60	a, c, d	22	6400 a.C	80	a, c, d, e
10	3335 a.C	70	a, b, c, d	23	7035 a.C	50	a, c, d
11	3500 a.C	40	a, b, c, d	24	7305 a.C	30	c, d
12	3625 a.C	50	a, b, d	25	7515 a.C	150	a, c, d
13	3940 a.C	60	a, c, d	26	8215 a.C	110	d
14	4225 a.C	30	c, d	27	9165 a.C	150	d

Cuadro 6.2: Registro de los ciclos solares que se presentaron a partir de los datos recolectados del isótopo ^{14}C en las cubiertas de hielo.(Usoskin, 2008).

- a: De acuerdo con Stuiver y Quay (1980); Stuiver y Braziunas (1989).
- b: De acuerdo con Eddy (1977a, b).
- c: De acuerdo con Goslar (2003).

- d: De acuerdo con Usoskin et al. (2007).
- e: duración exacta es incierta.

Esta tabla (Cuadro 5.2) muestra que la actividad solar fué menor cuando se obtuvo la mayor cantidad de isótopos de ^{14}C en Groenlandia y Antártica. Estos estudios permiten la reconstrucción de los ciclos solares a escalas muy largas, pero que sin embargo no logran describir los ciclos de once años. Esta tabla toma el año promedio, entre el año en que inicio el ciclo y en el que terminó.

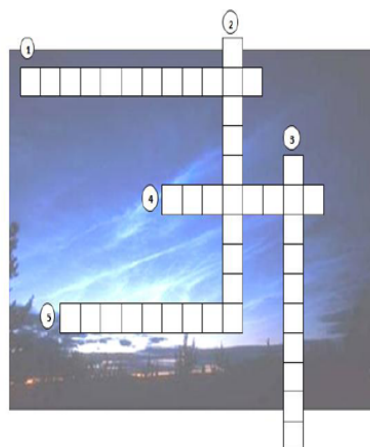
Anexo 2. Actividades Implementación

las actividades que se realizarón con los estudiantes del proyecto PRAE sobre las temáticas que se trabajarón fuerón:

- Crucigrama

Características de cada una de las capas de la atmósfera terrestre.

- Es la zona donde se dan los procesos meteorológicos de la Tierra.
- Se encuentran grandes cantidades de ozono que absorben la radiación ultravioleta.
- Capa de la atmósfera que presenta la menor temperatura debido a su poca influencia con la radiación solar y terrestre.
- Presenta elevadas temperaturas ya que recibe toda la radiación que emite el Sol.
- Es la región más externa de la atmósfera terrestre.



- Sopa de Letras


Encontrar las once palabras que relacionan con el Mínimo de Maunder

M	A	B	C	D	E	F	E	G	H	I	J	P	F	A
A	Z	Y	X	W	T	S	U	R	Q	P	O	E	O	T
N	S	A	P	M	O	L	R	G	A	R	A	Q	T	M
C	I	C	L	O	S	O	O	K	W	X	Y	U	E	O
H	D	Z	M	Q	A	D	P	T	J	B	V	E	S	S
A	L	I	M	Y	M	T	A	R	C	P	Z	Ñ	U	F
S	O	P	R	E	N	O	I	C	A	I	D	A	R	E
O	N	C	E	A	Ñ	O	S	E	C	S	A	E	H	R
L	B	O	G	L	C	A	S	N	Y	L	A	D	P	A
A	C	T	I	V	I	D	A	D	S	O	L	A	R	T
R	A	S	E	J	A	D	D	R	O	P	I	D	M	E
M	I	N	I	M	O	D	E	M	A	U	N	D	E	R
S	I	E	A	E	D	E	E	U	N	O	Z	E	N	R
M	P	S	L	N	T	I	M	O	E	O	T	H	O	E
T	E	M	P	E	R	A	T	U	R	A	C	I	N	S
D	E	A	A	O	U	O	H	D	E	S	R	E	P	T
C	R	J	R	Q	R	C	Y	C	E	A	G	L	O	R
F	O	T	O	S	F	E	R	A	T	I	O	O	R	E

- Relacionar

Unir con una línea las capas del Sol (columna A), con su respectiva función o característica (columna B).

A	B
Zona Radiactiva	Lugar donde se producen fusiones nucleares.
Núcleo	Zona donde las partículas transportan la energía (fotones) desde el núcleo, para llevarlo hacia el exterior.
Fotosfera	En esta zona se produce el fenómeno de la convección, es decir, columnas de gas caliente ascienden hasta la superficie, se enfrían y vuelven a descender.
Corona	Es una capa que representa la superficie solar. Desde aquí se irradia luz y calor al espacio y se forman las manchas solares.
Cromosfera	Sólo puede ser vista en la totalidad de un eclipse de Sol. Es de color rojizo y de temperatura altísima.
Zona convectiva	Capa de gran extensión, temperaturas altas y de bajísima densidad. Es la última capa del Sol.



Anexo 3. Datos Radiación solar, Temperatura de la Tierra y Número de manchas solares

Los datos que se presentan a continuación, fueron analizados y graficados para ver la relación entre la actividad solar y el cambio de temperatura de la Tierra.

Año	Radiación	SSN	Temperatura	Año	Radiación	SSN	Temperatura
1880	1360.63	32.24	-0.48	1947	1361.34	151.51	0.07
1881	1360.77	54.31	-0.44	1948	1361.48	136.2	0.05
1882	1360.79	59.61	-0.4	1949	1361.38	135.12	-0.06
1883	1360.84	63.63	-0.59	1950	1361.14	83.93	-0.33
1884	1360.74	63.51	-0.61	1951	1360.90	69.43	-0.06
1885	1360.63	51.96	-0.52	1952	1360.89	31.41	-0.06
1886	1360.47	25.43	-0.47	1953	1360.75	13.85	0.19
1887	1360.42	13.06	-0.42	1954	1360.78	4.41	-0.14
1888	1360.39	6.75	-0.43	1955	1360.90	37.95	-0.11
1889	1360.36	6.22	-0.26	1956	1361.44	141.71	-0.40
1890	1360.4	7.05	-0.47	1957	1361.79	189.86	-0.04
1891	1360.65	35.63	-0.53	1958	1361.76	184.59	0.15
1892	1360.75	72.94	-0.49	1959	1361.51	158.75	0.08
1893	1360.89	85.08	-0.55	1960	1361.40	112.28	-0.02
1894	1360.98	78.01	-0.36	1961	1361.05	53.88	0.13
1895	1360.87	63.97	-0.40	1962	1360.87	37.6	0.19
1896	1360.68	41.81	-0.25	1963	1360.82	27.89	0.25
1897	1360.54	26.24	-0.3	1964	1360.82	10.2	-0.21
1898	1360.52	26.72	-0.39	1965	1360.86	15.07	-0.10
1899	1360.46	12.11	-0.21	1966	1361.04	46.87	-0.05
1900	1360.43	9.46	-0.15	1967	1361.24	93.67	0.02
1901	1360.36	2.74	-0.09	1968	1361.29	105.9	-0.09
1902	1360.36	5.05	-0.33	1969	1361.37	105.6	-0.07
1903	1360.57	24.38	-0.39	1970	1361.37	104.7	0.04

Año	Radiación	SSN	Temperatura	Año	Radiación	SSN	Temperatura
1904	1360.84	41.95	-0.47	1971	1361.08	66.65	-0.02
1905	1360.66	63.47	-0.43	1972	1361.18	68.93	-0.16
1906	1360.85	53.86	-0.21	1973	1360.93	38.15	0.31
1907	1360.74	62.03	-0.60	1974	1360.85	34.41	-0.21
1908	1360.80	48.54	-0.47	1975	1360.66	15.46	0.13
1909	1360.69	43.88	-0.41	1976	1360.77	12.55	-0.25
1910	1360.56	18.58	-0.36	1977	1360.96	27.48	0.21
1911	1360.47	5.7	-0.47	1978	1361.40	92.66	0.09
1912	1360.43	3.59	-0.54	1979	1361.76	155.3	0.15
1913	1360.44	1.44	-0.35	1980	1361.77	154.7	0.27
1914	1360.51	9.59	-0.09	1981	1361.82	140.5	0.49
1915	1360.82	47.37	-0.08	1982	1361.41	116.3	0.1
1916	1361.03	57.07	-0.4	1983	1361.33	66.64	0.49
1917	1361.17	103.9	-0.55	1984	1360.94	45.85	0.05
1918	1361.14	80.58	-0.39	1985	1360.77	17.94	0.07
1919	1360.91	63.61	-0.34	1986	1360.76	13.4	0.28
1920	1360.74	37.64	-0.31	1987	1360.92	29.22	0.41
1921	1360.64	26.13	-0.08	1988	1361.21	100	0.54
1922	1360.52	14.24	-0.26	1989	1361.77	157.8	0.38
1923	1360.55	5.78	-0.23	1990	1361.68	142.3	0.58
1924	1360.58	16.72	-0.27	1991	1361.57	145.8	0.53
1925	1360.79	44.31	-0.12	1992	1361.43	94.48	0.26
1926	1360.89	63.88	-0.02	1993	1361.16	54.73	0.34
1927	1361.07	69.04	-0.17	1994	1360.92	29.87	0.46
1928	1360.95	77.81	-0.12	1995	1360.83	17.5	0.77
1929	1360.91	64.86	-0.42	1996	1360.74	8.63	0.34
1930	1360.89	35.73	-0.09	1997	1360.87	21.48	0.66
1931	1360.77	21.23	-0.04	1998	1361.23	64.21	0.93
1932	1360.66	11.14	-0.01	1999	1361.51	93.18	0.77
1933	1360.54	5.66	-0.34	2000	1361.79	119.5	0.62
1934	1360.65	8.72	-0.03	2001	1361.73	110.9	0.81

Año	Radiación	SSN	Temperatura	Año	Radiación	SSN	Temperatura
1935	1360.87	36.03	-0.13	2002	1361.81	104.1	0.93
1936	1361.26	79.73	-0.12	2003	1361.31	63.57	0.87
1937	1361.19	114.4	-0.02	2004	1361.19	40.44	0.80
1938	1361.13	109.6	0.2	2005	1361.01	29.78	1.03
1939	1361.11	88.75	0.12	2006	1360.94	15.18	0.9
1940	1361.05	67.78	0.05	2007	1360.85	7.5	1.08
1941	1360.97	47.48	0.11	2008	1360.82	2.867	0.84
1942	1360.87	30.6	0.07	2009	1360.84	3.1	0.85
1943	1360.71	16.33	0.1	2010	1361.08	16.49	1.06
1944	1360.74	9.59	0.22	2011	1361.35	55.6	0.89
1945	1361.01	33.09	-0.09	2012	1361.86	59.48	0.95
1946	1361.11	92.51	-0.02				