



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

POSGRADO EN CIENCIAS DE LA TIERRA

**Estudio de Huracanes que tocaron Tierra
en Costas Mexicanas y su Relación
con la Actividad Solar**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRA EN CIENCIAS

P R E S E N T A:

Marni Margarita Pazos Espejel

TUTORA:

DRA. BLANCA EMMA MENDOZA ORTEGA

Ciudad Universitaria

Agosto 2008





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Para el que puede atar los lazos de las Pléyades
desatar las ligaduras de Orión
conoce las ordenanzas de los cielos
y las estrellas lo alaban.

Agradecimientos

Al personal que labora en el Archivo Histórico “Pablo L. Martínez” en la ciudad de La Paz, B.C.S., por las facilidades otorgadas para realizar parte de la investigación de esta tesis.

A la Dra. Blanca Mendoza por su ayuda y dedicación para la realización de esta tesis.

Resumen

El trabajo de esta tesis presenta un estudio de los huracanes que han tocado tierra en las costas del Pacífico y Atlántico mexicanos y su posible relación con la actividad solar, a partir de datos publicados en literatura por especialistas en antropología social, datos publicados por la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) y del material proporcionado por el Archivo Histórico “Pablo L. Martínez” en la ciudad de La Paz , B.C.S.

A partir de esta información se construyeron 4 series de datos de huracanes. Para los huracanes que tocaron tierra en las costas del Océano Atlántico, una serie con datos históricos de 1464 a 1900 y la otra de 1901 a 2007 y para las costas del Océano Pacífico mexicano, la correspondiente a datos históricos de 1464 a 1900 y otra serie para datos de huracanes recientes de 1901 a 2007.

Se encontró que el número de huracanes registrados en el Pacífico es mayor que en el Atlántico. Ambas series fueron analizadas con la finalidad de conocer sus periodicidades. Dadas las características de la serie se realizó un análisis de ondeletas. En el Océano Pacífico se encontraron más periodicidades que en el Océano Atlántico. Estos resultados se compararon con las periodicidades de la Actividad Solar de 3, 5.5, 7 y 11 años. Las periodicidades que se encontraron para los huracanes en ambos océanos, tomando en cuenta las incertidumbres, coinciden con algunas de la Actividad Solar. La de 3 años está presente en los huracanes recientes del Atlántico. La de 5.5 años está presente para ambos océanos tanto en datos históricos como recientes. La de 7 años está presente en las dos del Atlántico y en los históricos del Pacífico. La de 11 años está presente solo para el Océano Pacífico. De lo anterior, aun cuando las periodicidades que se encontraron coinciden con las de actividad solar, no implica que existe una relación causal.

Índice general

Introducción	I
1. El Sol, El Medio Interplanetario y la Relación Sol-Tierra	1
1.1. El Sol	1
1.1.1. La Fuente de Energía del Sol	2
1.1.2. La estructura del Sol	3
1.1.3. La actividad solar	6
1.1.4. El campo magnético del Sol	10
1.2. El medio interplanetario	12
1.2.1. El Viento Solar	12
1.2.2. Rayos Cósmicos	13
1.3. La Relación Sol-Tierra	15
1.3.1. Auroras	15
1.3.2. Tormentas Geomagnéticas	15
2. Huracanes	18
2.1. Definición y Origen	18
2.1.1. Mecanismo de formación	19
2.1.2. Evolución de un Huracán	20
2.1.3. Estructura	21
2.1.4. Influencia de Ciclos de Gran Escala	22
2.2. La Escala Saffir-Simpson	24
2.2.1. Nombres	25
3. Revisión de Trabajos Previos	26
3.1. La Actividad Solar y el Clima en la Tierra	26
3.1.1. Primeros trabajos	26
3.1.2. Algunos trabajos recientes	27
4. Datos	30
4.1. Las Fuentes	30
4.1.1. Datos para el Océano Atlántico	31
4.1.2. Datos para el Océano Pacífico	31
4.2. Lista de Huracanes	32

5. Análisis, Resultados y Discusión	37
5.1. Análisis de Ondeletas	37
5.2. Resultados	38
5.2.1. Océano Atlántico	38
5.2.2. Océano Pacífico	38
5.3. Discusión	38
6. Conclusiones	44
A. El Análisis de Ondeletas (wavelet)	45
A.1. Antecedentes	45
A.2. Generalidades de la transformada Ondeleta	46
A.2.1. La Función Ondeleta	46
A.2.2. La Transformada Ondeleta Continua	47
B. Catálogo de Datos de Huracanes	52

Introducción

En el estudio de las Ciencias Espaciales, un tema controversial ha sido estudiar las relaciones Sol-Tierra, respecto al grado de afectación que puede existir en el clima o en la biota, dado que los mecanismos que podrían producir tal afectación aun no se han podido definir con precisión.

Los huracanes son fenómenos climáticos de gran interés ya que se consideran de los fenómenos más devastadores en el mundo. El territorio mexicano se encuentra en una zona de trayectoria de tormentas tropicales, lo que lo hace muy vulnerable a los huracanes. Las condiciones de temperatura en la superficie del mar, tanto en el Golfo de México como en la costa del Pacífico, son propicias para la evolución de huracanes. Las regiones que más se ven afectadas en el Golfo de México son la Península de Yucatán y el estado de Tamaulipas y del lado de la costa del Pacífico la Península de Baja California, Sinaloa y Michoacán [1].

Las pérdidas económicas, y en muchas ocasiones, de vidas humanas, generan la necesidad de poder predecir eventos de este tipo, ya que aunque no se pueden evitar, de alguna manera se pueda conocer su frecuencia, y poder con la suficiente anticipación preparar a la población de manera que las pérdidas sean menores.

Los modelos recientes de predicción del tiempo y la información disponible en imágenes de satélite, permiten observar la evolución de una tormenta y su trayectoria. Aunque aun no es posible saber con exactitud o suficiente anticipación si ésta tormenta se convertirá en huracán y si esta llegará a territorio mexicano, si se puede hablar de las probabilidades según las condiciones que existan en ese momento. Hasta ahora se han considerado varios parámetros para saber si es posible la formación de un huracán o no, como son: la temperatura de la superficie del mar, la velocidad de los vientos, su dirección, etc., características que deben estar presentes al mismo tiempo para que se pueda formar un huracán. Considerar factores externos al sistema océano-atmósfera que afecten la formación de huracanes se ha empezado a hacer cada vez con mayor frecuencia. Uno de estos factores es la actividad solar. La finalidad de cuantificar el papel del Sol es tener un modelo más completo de la formación del huracán. Entre más se pueda conocer aquello a lo que nos enfrentamos, quizá será más fácil poder prevenir en el futuro situaciones como las provocadas por el huracán Gilberto (1988) que impactó las costas del Caribe y el Golfo de México y el huracán Paulina (1997) en las costas del Pacífico mexicano.

En este trabajo se pretende identificar señales comunes entre la actividad Solar y los Hu-

racanes que han tocado tierra en las costas mexicanas. El interés por este tema, como se mencionó anteriormente, está basado en la vulnerabilidad del territorio mexicano a la presencia de huracanes. Se ha visto que a lo largo de la historia, las costas mexicanas han sido golpeadas por estos fenómenos, con consecuencias devastadoras para la población civil.

Aquí se presenta un análisis para conocer las posibles periodicidades con que se presentan los huracanes utilizando el método de ondeletas, ya que los datos relevantes constituyen una serie de tiempo no estacionaria. Además se realiza la comparación con las periodicidades que tiene la actividad Solar.

Capítulo 1

El Sol, El Medio Interplanetario y la Relación Sol-Tierra

1.1. El Sol

El Sol, nuestra estrella, se encuentra aproximadamente a 150 millones de kilómetros de distancia de la Tierra. Está formado de gas ionizado, conocido como plasma. Su composición es de hidrógeno y helio con aproximadamente un 1 % de elementos más pesados como carbono, nitrógeno, oxígeno, neón, magnesio, silicio y hierro, principalmente.[2, 3]

Las características principales del Sol se pueden ver en la Tabla 1.1[2, 3]:

Tabla 1.1:

Radio	695 500 km = 109 Radios Terrestres
Volumen	$1.412 \times 10^{27} \text{ m}^3$
Masa	$1.991 \times 10^{30} \text{ kg}$
Densidad promedio	$1.410 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$
Gravedad en la Superficie	274 m/seg^2
Radiación Total	$3.86 \times 10^{26} \text{ W.}$
Temperatura	5 780 K
Distancia a la Tierra	$149.6 \times 10^6 \text{ km} = 241.94 \text{ Radios Terrestres} = 1 \text{ UA}$ (Unidad Astronómica)

Clasificado por su luminosidad, el Sol es una estrella de secuencia principal. Se estima que tiene 4.5×10^9 años, lo cual es menos de la mitad que las estrellas más viejas en la galaxia. El Sol se podría definir como una estrella ordinaria.

El Sol es la fuente principal de luz y calor en la Tierra. Un pequeño cambio en las propiedades del Sol sería suficiente para que la Tierra fuera inhabitable para el ser humano, por lo que se estima que desde que apareció el hombre en la Tierra, los cambios en la evolu-

ción del Sol no han sido muy drásticos.[2, 3, 4]

1.1.1. La Fuente de Energía del Sol

La fuente de energía del Sol proviene esencialmente de un solo proceso: la conversión de hidrógeno en helio. La energía que es liberada en el interior del Sol por este proceso, es transportada hacia la superficie a través de la convección y la radiación.

El primero en proponer una teoría para la generación de energía en el Sol fue Hermann von Helmholtz, en 1854. Pensó que el Sol se había formado de nubes de gas en el espacio. Mientras el gas se contraía, simultáneamente ocurría un calentamiento. La presión en el interior de la nube colapsada se incrementó hasta llegar a un máximo. Subsecuentemente la esfera de gas se contrajo solo hasta el punto en el que era posible radiar la energía ganada durante la contracción. Aun en la actualidad se cree que este es un proceso importante en los primeros años de vida de una estrella. Helmholtz estimó que el Sol había brillado por 22 millones de años y que podría mantener su luminosidad durante 17 millones de años más. Sin embargo el proceso que describió, no era suficiente para mantener la energía durante ese tiempo.

Desde 1905, gracias a la Teoría Especial de la Relatividad de Einstein, se sabe que la materia puede producir energía, lo cual se puede expresar en la famosa ecuación $E = mc^2$. Así, la gran cantidad de masa contenida en el Sol puede proveer de una enorme cantidad de energía. En 1929, Atkinson y Houtermans fueron los primeros en considerar la energía nuclear, en particular, la energía liberada por la conversión de hidrógeno en helio. Como se mencionó anteriormente, el Sol se compone básicamente de hidrógeno y helio. Por lo tanto, ese es el proceso que puede describir la fuente de energía de una estrella como el Sol.[4, 5]

Reacciones de quema de Hidrógeno

Las reacciones más importantes que ocurren en el Sol son las *cadena protón - protón*, ppI, ppII y ppIII. Una característica importante de estas reacciones es la conversión de dos protones en neutrones para cada núcleo de ${}^4\text{He}$ (partícula α) producido. La conversión de un protón a un neutrón requiere que exista una interacción nuclear débil. Para explicar cómo ocurren estas reacciones, usaremos la siguiente notación: $X(a,b)Y$, donde X representa el objetivo, a es la partícula incidente, b es una partícula emitida, y Y es el núcleo residual. Entonces, los reactivos están antes de la coma, y las partículas resultantes están después de la coma. Los isótopos de hidrógeno se designan por ${}^1\text{H}$ o p o ${}^2\text{H}$ o d . Los isótopos de helio son ${}^4\text{He}$ o α y ${}^3\text{He}$. La energía liberada por reacción es $Q = Q' + Q_\nu$, donde Q' es la parte entregada por la inmersión térmica en que ocurre la reacción y Q_ν es la energía llevada por un neutrino. Las cadenas pp, se muestran en la tabla 1.2[5]:

Por ejemplo, la primera reacción que se muestra en la tabla, es la interacción de dos protones que forman un núcleo de hidrógeno pesado (deuterón, d) con la emisión de un positrón (e^+) y un neutrino (ν). El deuterón luego captura otro protón y forma un isótopo ligero de he-

Tabla 1.2: Cadenas *protón-protón* y las respectivas reacciones.[5]

Cadena	Reacción
pp I	$p(p, e^+ \nu) d$ $d(p, \gamma)^3\text{He}$ $^3\text{He}(^3\text{He}, 2p)\alpha$
pp II	$^3\text{He}(\alpha, \gamma)^7\text{Be}$ $^7\text{Be}(e^+, \nu)^7\text{Li}$ $^7\text{Li}(p, \alpha)\alpha$
pp III	$^7\text{Be}(p, \gamma)^8\text{B}$ $^8\text{B}(e^+ + \nu)^8\text{Be}$ $^8\text{Be}(\alpha)\alpha$

lio con la emisión de un rayo- γ . En este paso hay dos posibilidades. El núcleo de ^3He puede interactuar con otros núcleos de ^3He o con una partícula α la cual acaba de ser formada o puede estar ya presente inicialmente. Y esta sería la última reacción de la cadena pp I, y esta última reacción, permite comenzar la cadena pp II o la pp III.

Los neutrinos (ν) escapan del Sol, pero prácticamente no interactúan con la materia. No poseen carga y se pensó que no poseían masa. Investigaciones realizadas en 1998 por un grupo de científicos japoneses y estadounidenses (Wolfstein, 1998) sugieren que tienen una masa de $0.1 \text{ eV}/c^2$. En comparación con el electrón, el neutrino es un millón de veces más ligero.[5, 2]

1.1.2. La estructura del Sol

No es posible observar la estructura interior del Sol, pero ha sido posible modelarla. La figura 1.1, presenta un esquema del interior y atmósfera solares.

En el centro se encuentra el núcleo, donde se llevan a cabo las reacciones atómicas descritas en la sección anterior. Las temperaturas en esta región son del orden de 10^7 K y la presión del orden de 10^{11} atmósferas. La energía generada en el núcleo es transportada al exterior primero por radiación: los fotones (rayos gamma) que se generan por las reacciones entre las partículas atómicas, tienen un arduo camino a través de la llamada zona radiativa para llegar a la superficie del Sol, ya que en todo el recorrido encuentra electrones que lo desvían o incluso le provocan un retroceso en la trayectoria hacia la superficie. El tiempo que le lleva completar el recorrido, se puede contar en millones de años. Además las capas externas no son completamente transparentes para un fotón donde el material es un poco más frío. La energía se transporta entonces por convección. En la capa que sigue a la zona radiativa, se encuentra la zona convectiva, donde grandes celdas de material son transportadas hacia la fotosfera, que es la primera capa de la atmósfera solar, la cual produce la granulación que es posible observar

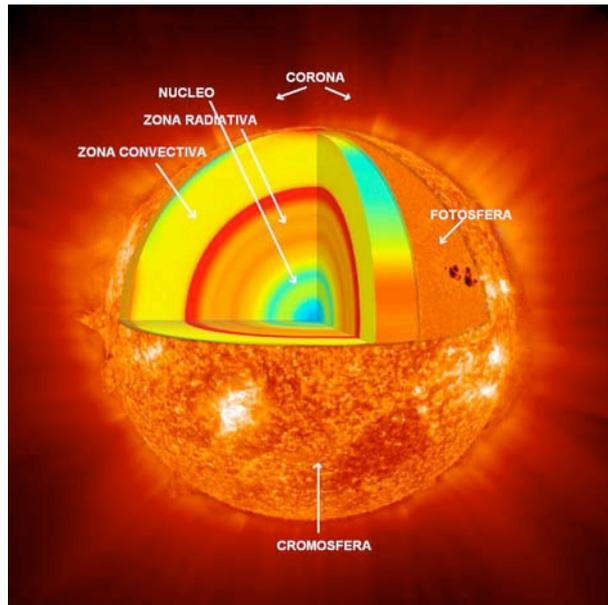


Figura 1.1: Las capas que forman la Estructura del Sol (NASA)[52]

en esta zona. El material vuelve a descender por la disminución de temperatura, al volver a una zona de mayor temperatura, se provoca que vuelva a ascender, y así continúa el proceso convectivo. En la fotosfera, el transporte por radiación vuelve a estar presente.

Los modelos solares indican que el núcleo, donde se convierte el hidrógeno en helio ocupa la tercera parte del radio solar. El transporte de energía por radiación, ocupa la siguiente tercera parte y la zona convectiva la tercera parte exterior, cada capa tiene aproximadamente 200 000 km de espesor.

En su parte externa se encuentran la fotosfera, la cromosfera y la corona, que forman la atmósfera solar.

La fotosfera es la capa visible más profunda, de aproximadamente unos 100 km de espesor. En este rango de profundidad, los fotones emiten en el espectro del visible antes de abandonar la atmósfera. Fotografías de alta resolución muestran en la fotosfera un patrón de granos brillantes de forma poligonal separados por oscuros canales estrechos. La distancia promedio de centro a centro de estos granos va de 1400 a 2000 km. Estos gránulos, son las cabezas de las celdas convectivas de la zona convectiva (Figura 1.2). Los rangos de brillo que observados en la granulación corresponden a las variaciones que existen en la temperatura. En esta región también se observan las manchas solares y fáculas, estructuras oscuras y brillantes respectivamente en la superficie del Sol. La temperatura promedio de la fotosfera es de 5 800 K. [5, 6, 7]

A finales del siglo XIX, los observadores de eclipses notaron una luz roja que emanaba de una capa delgada arriba de la fotosfera, apenas visible al inicio y final de la totalidad del

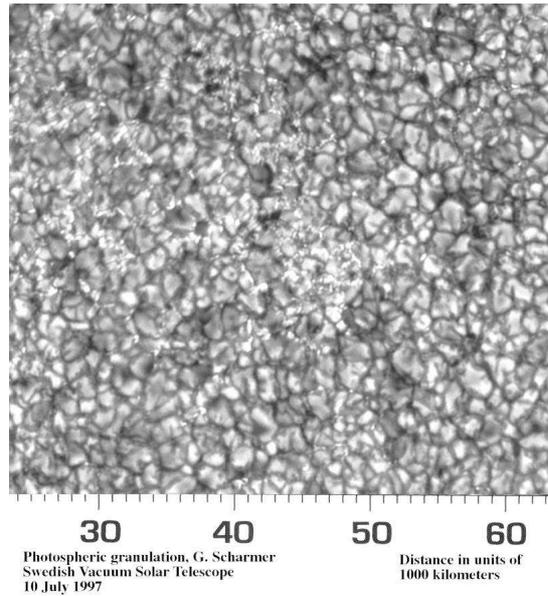


Figura 1.2: Granulación observada en la fotosfera (*Swedish Vacuum Solar Telescope*)[53]

eclipse y le llamaron *chromosfera*. En esta capa la temperatura aumenta aproximadamente a 20 000 K. Debido a estas temperaturas el hidrógeno emite luz con tono rojizo, a las que se le denomina *emisiones α* . [2, 6, 7]

En la cromosfera se pueden observar regiones muy brillantes denominadas *playas* y patrones parecidos al pasto que se denominan espículas (Figura 1.3). [6]

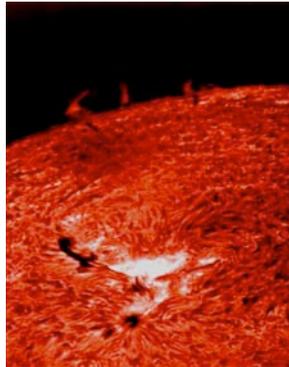


Figura 1.3: Imágen de las Espículas (*National Solar Observatory, Sacramento Peak*)[54]

La *corona* es la región más externa del Sol y puede ser vista en los eclipses totales. Tiene una temperatura del orden de 10^6 K, y aun no se sabe porqué es más caliente que la fotosfera. Las emisiones brillantes en la corona derivan de la ionización de elementos como el hidrógeno, el carbono, el nitrógeno y el oxígeno. La corona también presenta emisiones de

rayos-X. La corona se extiende por todo el espacio interplanetario.

La corona presenta regiones oscuras llamadas hoyos coronales, de donde emerge el viento solar. También hay regiones más brillantes llamadas *regiones activas* (Figura 1.4).

La apariencia de la corona, cambia con el ciclo solar. Durante el máximo se observa una estructura homogénea en todas direcciones, mientras que en el mínimo se notan algunas discontinuidades y estructuras tipo casco, que consisten en arcos brillantes de material coronal que bajan de intensidad cerca de la base. Estos sistemas parecen indicar estructuras de campo magnético cerrado conectando regiones en la superficie con diferentes polaridades. En época de baja actividad solar, se observa una disminución en la emisión de radiación en los *hoyos coronales*. Estos tienden a formarse cerca del centro de regiones unipolares magnéticas, indicando que tal vez son regiones abiertas o de campo magnéticos divergentes. La tendencia en su movimiento es de una rotación semirígida y se mueven más lento que las manchas solares.[5, 6, 7]

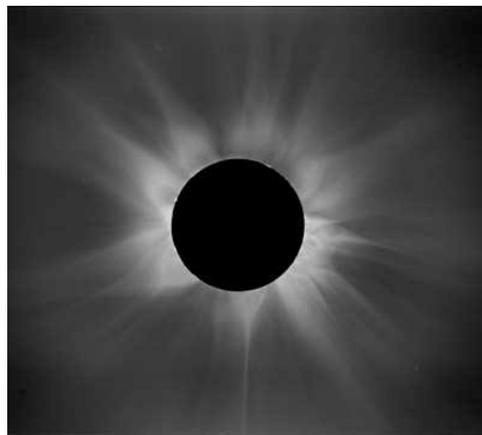


Figura 1.4: Eclipse Total del 19 de febrero de 1980 en la India, donde se observa la Corona Solar cerca del máximo de actividad solar (*High Altitud Observatory, NCAR*)[55]

1.1.3. La actividad solar

Uno de los indicadores más antiguos que se han observado de la actividad solar, son las *manchas solares*. La mancha tiene una región oscura, llamada *umbra*, rodeada por una región anular llamada penumbra, formada por filamentos claros y oscuros, y se producen debido a que el campo magnético del Sol tiene la propiedad de no estar distribuido uniformemente sino que se concentra en cuerdas o tubos de flujo que aparecen en la superficie del Sol restringidas a los $\pm 40^\circ$ de latitud. La apariencia oscura es debida a que el material en su alrededor es más frío que el resto de la superficie, y el enfriamiento es causado por la presencia de un campo magnético muy intenso en los tubos de flujo.[7, 8]

El tamaño de las manchas puede variar de 10 000 a 20 000 km y tienden a aparecer en grupos (Figura 1.5). El tiempo de vida de las manchas puede ser de algunos días pero pueden llegar a estar presentes durante varias rotaciones solares.

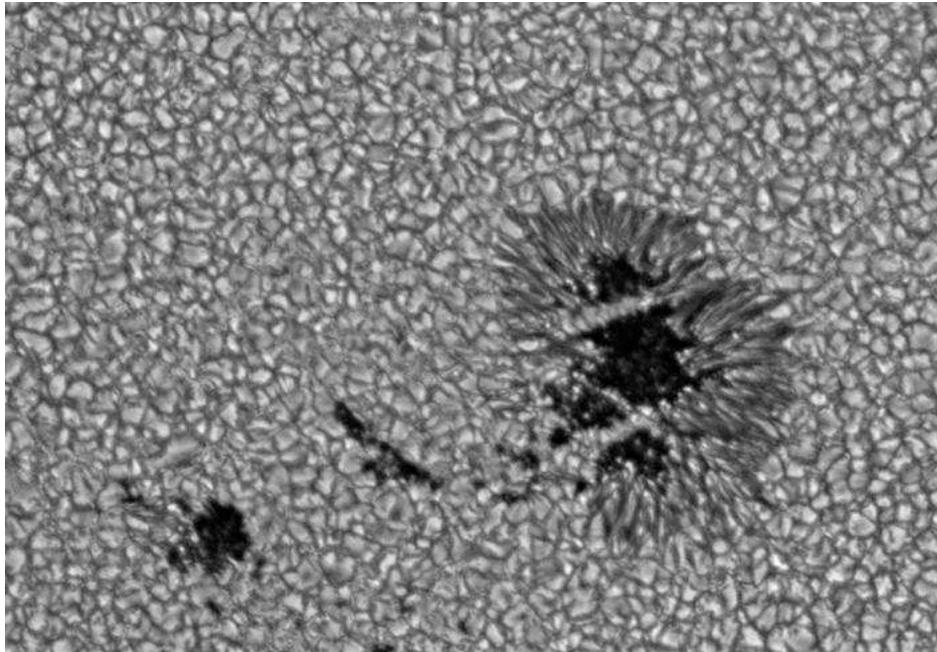


Figura 1.5: Grupo de Manchas Solares (NASA)[56]

El ciclo de manchas solares es notablemente regular, se presenta aproximadamente cada 11 años. El promedio anual de número de manchas asciende rápidamente y cae de manera gradual, siendo bajo en el mínimo solar. En 1851, Heinrich Schwabe anunció el descubrimiento del ciclo de manchas solares. En 1858, Rudolf Wolf obtuvo una serie del número de manchas solares al hacer una recopilación con datos antiguos, desde los registros hechos por Galileo Galilei, quien fue el primer científico europeo en observar las manchas en 1610. Aunque los chinos hicieron observaciones a simple vista de las manchas en el Sol varios siglos a.C., fue Galileo quien lo hizo por primera vez con un telescopio.

Durante el periodo de 1853 a 1861, Richard Carrington realizó un gran número de observaciones de manchas y reportó que la latitud en que aparecían las manchas variaba con el tiempo, lo cual fue confirmado por Wolf y Spörer. El cambio en la posición de las manchas es producido por la rotación diferencial del Sol, la cual dedujo Carrington al observar que un punto en el ecuador rotaba más rápidamente respecto de latitudes altas. Las primeras manchas aparecen cerca de los 40° de latitud Norte y Sur, y las últimas cerca del ecuador. A esta variación en la latitud se le conoce como Ley de Spörer. Esta regularidad es demostrada mejor por Maunder en 1922. Con su *diagrama de mariposa* se observa el cambio de la localización de manchas sucesivas en el tiempo con datos obtenidos del observatorio de Zurich desde 1874. La figura 1.6 muestra el diagrama de mariposa actualizado hasta el ciclo 23.

DAILY SUNSPOT AREA AVERAGED OVER INDIVIDUAL SOLAR ROTATIONS

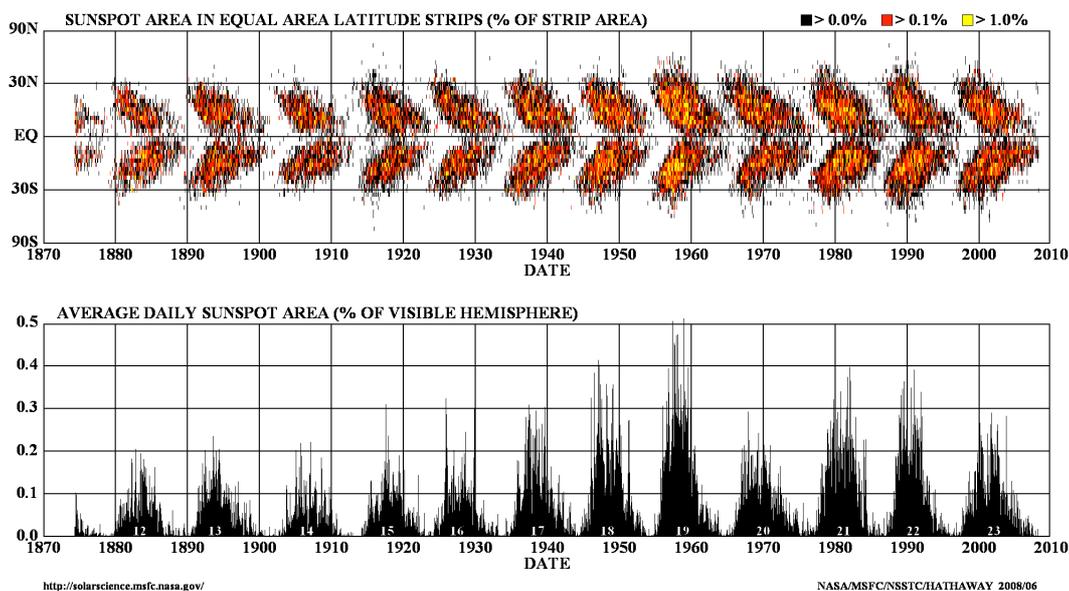


Figura 1.6: Diagrama de Mariposa que representa el área promedio de actividad de manchas solares en cada ciclo solar desde 1874 (NASA)[57]

En 1848, Wolf presentó el número relativo de manchas definido por:

$$R_Z = K(10g + f) \quad (1.1)$$

donde, g es el número de grupos de manchas, f es el número individual de manchas y K es un coeficiente de reducción personal que representa la confiabilidad del observador y su equipo. Cuando Wolf fue designado director del Observatorio de Zurich en 1855, instituyó el cálculo diario de R_Z el cual se sigue realizando hasta la fecha.[5, 9]

Las manchas solares no son los únicos indicadores de la actividad solar, también los son las ráfagas solares y las erupciones masivas de material solar, conocidas como *eyecciones de masa coronal* o CME's (por sus siglas en inglés). Este material al ser expulsado en dirección a la Tierra, puede afectarla causando daños en satélites y estaciones eléctricas. Estos eventos solares están relacionados al campo magnético, cuya actividad también aumenta en el máximo solar. Las regiones activas son áreas donde se registra la mayor cantidad de estos eventos. Además del número R_Z , se tienen otros indicadores que exhiben las variaciones de la actividad solar de cada 11 años:

- El área total de manchas
- El conteo de regiones activas
- El número de ráfagas

- La intensidad de emisiones de CaII
- El flujo de radio de 10 cm
- La incidencia de auroras,
- El flujo de rayos cósmicos
- El grosor de los anillos de los árboles.

Las ráfagas solares fueron otro descubrimiento de Carrington. Mientras hacía observaciones de las manchas solares, subsecuentemente reportó una falla en los instrumentos magnéticos en el observatorio y algunas horas después comenzó una gran tormenta magnética. Sin embargo la confirmación de que todos estos eventos solares tuvieran relación con la actividad solar se logró hasta la creación del espectrógrafo casi un siglo más tarde.

La gráfica anual del valor de R_Z desde 1705, muestra que casi todos los ciclos tienen periodos cercanos a los 11 años, ningún ciclo es idéntico a otro. Pero no solo varían en amplitud sino en la forma y el periodo. Los ciclos más fuertes tienden a llegar más rápidamente al máximo y tienen un período más corto, mientras que los ciclos más débiles tienen un achatamiento de manera que es difícil saber cual es el máximo. En estas variaciones de la amplitud, Wolf, en 1862, notó que existe una aparente periodicidad de 80 años, lo cual también encontraron Brunner-Hagger y Liepert, en 1941 (Figura 1.7).

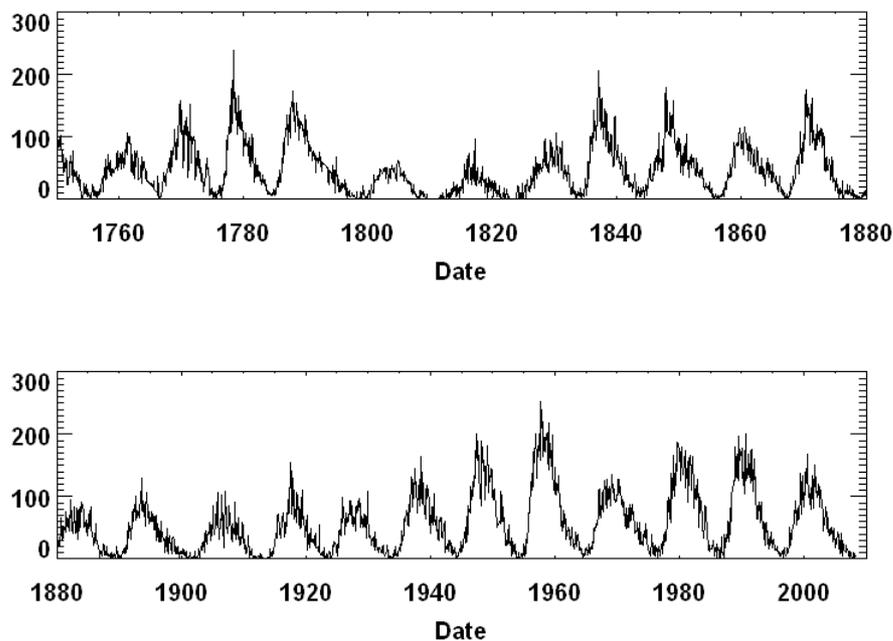


Figura 1.7: Gráfica del número de Manchas Solares con datos desde 1749 a 2008 (NASA)[58]

Realizando el análisis a la serie de tiempo de los valores para R_Z utilizando la transformada de Fourier, el espectro de potencia muestra un rango de frecuencias entre los 8 y 16 años, con tres picos de mayor intensidad en 10, 11 y 12 años. También en el espectro se encontraron picos, para períodos de 22, 40, 80 y hasta 200 años.[6, 9]

1.1.4. El campo magnético del Sol

En el ambiente espacial, la teoría del dínamo puede ser utilizada para explicar la existencia del campo magnético planetario y el estelar. En estrellas como el Sol, la teoría del dínamo es útil para entender la evolución de su campo magnético en el ciclo de 11 años, en que pasa de poloidal a toroidal y nuevamente a poloidal, pero con un cambio de polaridad (Figura 1.8).

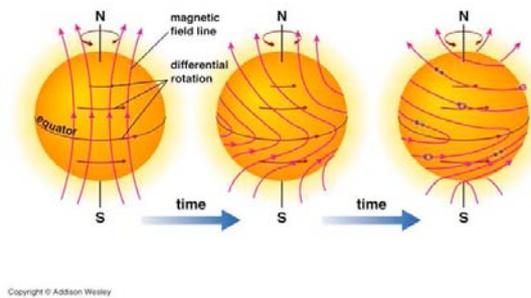


Figura 1.8: Evolución del campo magnético solar de poloidal a toroidal (*Addison Wesley*)[59]

En 1934, Cowling demostró en su teorema del anti-dínamo, que ningún campo magnético axisimétrico estacionario puede mantenerse por la acción del dínamo. Pero, cualquier campo generado por un dínamo debe ser tridimensional y deben existir ciertas propiedades del flujo para la acción del dínamo. El campo magnético se puede descomponer en su parte poloidal y la parte toroidal. (la parte toroidal es el campo que produce las manchas solares y el poloidal corresponde a un campo coronal de gran escala) por lo que ambas componentes del campo deben ser sostenidas por el fluido. La teoría del dínamo propone un ciclo del dínamo en el cual el campo es mantenido por medio de la conversión continua entre campos poloidales y toroidales.

El dínamo a gran escala puede ser entendido con dínamos a pequeña escala.

a) Dinamo ω :

La ecuación de inducción (1.2) muestra que los gradientes en el flujo del fluido (debidos a la presencia de la rotación diferencial) llevará al estrechamiento del campo poloidal hasta convertirlo en un campo toroidal. Este proceso es conocido como el efecto ω por relacionarse con la rotación diferencial (Figura 1.9).

$$\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = \nabla \times (\vec{v} \times \vec{B}) + \eta \nabla^2 \vec{B} \quad (1.2)$$

En el caso del Sol, las regiones con fuerte rotación diferencial son sitios ideales para la conversión del campo magnético poloidal en campo toroidal. La presencia de campos magnéticos en el plasma, se sabe a que reduce la densidad local, por lo que regiones de campo magnético intenso, tienen mayor flotabilidad comparada con los alrededores y son más susceptibles a las inestabilidades.

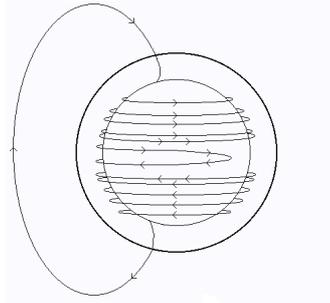


Figura 1.9: En el modelo del Dínamo Omega, las líneas de campo son arrastradas por la rotación diferencial (NASA)[60]

b) Dínamo α :

El segundo proceso es más sutil, considerando que no hay componentes axisimétricas y se puede explicar haciendo una aproximación, considerando las interacciones de pequeña escala del campo magnético y campos de velocidad al producir un campo magnético de gran escala. Se ha demostrado, que el efecto neto de interacciones a pequeña escala, se pueden dar hasta producir un campo poloidal de gran escala a partir de un campo toroidal, si el flujo de pequeña escala tiene una tendencia de circulación, esta tendencia surge de forma natural en un cuerpo astrofísico por la rotación, presentando movimientos helicoidales. Esto se conoce como el efecto α (Figura 1.10).

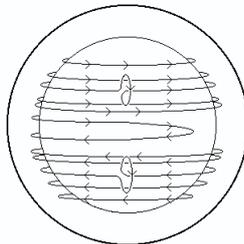


Figura 1.10: Modelo del Dínamo Alfa, las líneas del campo toroidal, vuelven a tomar la configuración poloidal (NASA)[61]

c) El dínamo $\alpha-\omega$, es un dínamo global de gran escala que se genera por medio de los dos mecanismos anteriores. En el caso del Sol, las regiones con fuerte rotación diferencial, son sitios ideales para la conversión del campo magnético poloidal en campo toroidal. El campo magnético y la velocidad, se expresan ahora en sus componentes poloidales y toroidales.

Según el modelo de Parker, el efecto de las celdas convectivas, genera la fuerza electromotriz necesaria para producir el dínamo. Aquí, por lo que se establece en el teorema de Cowling, para que el campo pueda mantenerse, no existe una axisimetría, lo cual puede ser causado por movimientos en el plasma en las celdas convectivas.[10, 11]

1.2. El medio interplanetario

Hasta la mitad del siglo XX, se creía que la Tierra se encontraba en un espacio completamente vacío, girando alrededor del Sol, pero ahora se sabe que la Tierra se encuentra dentro de la atmósfera solar, como se mencionó anteriormente, la corona se extiende en todo el dominio de la heliosfera, y la Tierra se encuentra dentro de esta. Aunque el hidrógeno y el helio son los elementos más abundantes en el Sol, en la corona se encuentran también elementos más pesados que se ionizan por la alta temperatura en la parte más cercana al Sol, por lo tanto la atmósfera solar se compone de los elementos que forman el Sol mismo. Además el espacio interplanetario también contiene partículas provenientes de fuera del Sistema Solar, llamadas *rayos cósmicos*.

1.2.1. El Viento Solar

La expansión constante y en todas direcciones de la atmósfera solar, es conocida como *viento solar*. Su existencia ha sido evidente en la Tierra, a través de las tormentas geomagnéticas y la modificación de las propiedades de la Ionosfera terrestre, haciendo que las radiocomunicaciones se vean interrumpidas en ocasiones hasta por 36 horas. También fue inferida la existencia del viento solar al observar la cola de los cometas.

Este material Solar, es un plasma que viaja por todo el espacio interplanetario, está formado de protones, electrones y iones de casi todos los elementos de la tabla periódica. La gravedad del Sol, no puede contener el material debido a la alta temperatura, generando una presión tal, que el material es arrojado a una velocidad que varía de 100 a 1000 km/s. El viento solar arrastra también con él las líneas de campo magnético del Sol. El flujo del material no es uniforme, el viento escapa principalmente de los hoyos coronales. Además los desprendimientos de material solar en las eyecciones de masa coronal aumenta la intensidad y la velocidad del viento solar, que puede llegar hasta 1000 km/h. Estos cambios en el flujo están presentes con mayor frecuencia durante los períodos del máximo de actividad solar.

Por lo tanto, es el viento solar el que afecta a todos los cuerpos del Sistema Solar. Por la interacción del viento con el campo magnético de los planetas que lo poseen, se producen las auroras que pueden observarse cercanas a los polos y las tormentas magnéticas. Las au-

roras se producen de la emisión de partículas excitadas por las colisiones entre partículas energéticas del espacio y la atmósfera planetaria. Las tormentas magnéticas son causadas por disturbios fuertes en el campo magnético del planeta, debido a la interacción con las líneas de campo del viento solar.

Las magnetosferas planetarias son cavidades formadas por el campo magnético que tienen planetas como Mercurio, la Tierra, Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno. Su tamaño está determinado por el balance entre la energía magnética del planeta y el flujo del viento solar. En el lado que está frente al Sol, se comprimen y presentan una elongación del lado opuesto llamada *magnetocola* y tienen un comportamiento dinámico, ya que cambian debido a la rotación del planeta y a la actividad solar.

Pero dado que estos disturbios no son a pequeña escala, es importante un estudio constante del comportamiento del Sol, ya que en solo decenas de minutos una explosión puede emitir una gran cantidad de partículas energéticas, que ponen en peligro cualquier actividad espacial de la Tierra, como estaciones espaciales, naves y satélites. Tan solo la presión ejercida de un flujo violento del viento solar en el campo magnético, que producen las tormentas geomagnéticas, puede destruir satélites y dañar las redes de energía eléctrica, dejando sin servicio ciudades enteras.[6, 8, 15, 16]

1.2.2. Rayos Cósmicos

Los rayos cósmicos galácticos (**GCR**) son partículas muy energéticas que provienen de fuera del Sistema Solar, que consisten en protones, electrones y núcleos ionizados con velocidades cercanas a la velocidad de la luz. Estas partículas cargadas, son deflectadas por las líneas del campo magnético galáctico, solar o terrestre. A través del análisis de su composición se puede conocer algo de su origen. El tipo de elemento se puede conocer por las cargas en el núcleo. El 90 % de los núcleos de rayos cósmicos son protones, 9 % son partículas alfa (Helio ionizado) y el 1 % restante está formado por diversos elementos.

La mayoría de los rayos cósmicos, son acelerados por las ondas de choque en los remanentes de las supernovas, ya que estos son muy activos y hay nubes de gas expansivas y actividad de campos magnéticos que aceleran las partículas. Estos procesos pueden durar varios miles de años y las partículas pueden permanecer atrapadas en los campos magnéticos, hasta que adquieren suficiente energía como para escapar y convertirse en rayos cósmicos. Pero este no sería su único origen, ya que se han detectado rayos cósmicos de energías mucho mayores a las que pueden producirse por una supernova, por lo que entonces los rayos cósmicos, también pueden tener una naturaleza extragaláctica, de galaxias con núcleos muy activos o explosiones de rayos gamma.

Los rayos cósmicos, tienen un núcleo radioactivo cuyo número decrece por decaimiento radiactivo. Las medidas de estos núcleos pueden ser utilizadas para determinar el tiempo que ha tardado el rayo cósmico en la galaxia. Existen también los llamados *rayos cósmicos anómalos* (**ACR**) los cuales se cree, que se originan en el choque terminal de la heliosfera, y

se pueden diferenciar bien, ya que los **ACR** tienen una mucho menor energía que los **GCR**, y se componen por lo general de He, O, Ne y otros materiales que tienen un potencial de ionización alto. Por otro lado, el Sol también genera partículas solares energéticas (**SEP**), también llamadas rayos cósmicos solares, estas salen del Sol aceleradas en ráfagas u otros procesos de aceleración tales como ondas de choque asociadas a eyecciones de masa coronal. Estas partículas tienen baja energía comparadas con los **GCR**. [7, 8, 12]

La heliosfera

La heliosfera es el espacio dominado por el Sol (Figura 1.11). Como el viento solar, que arrastra al campo magnético del Sol, tiene un flujo continuo, se expande por todo el sistema solar hasta que su velocidad cambia de ser supersónica a subsónica, en una región conocida como *choque terminal*. La distancia a esta región se calcula a 95 UA. El espacio que contiene es conocido como heliosfera y encierra el sistema solar completo. Por el campo magnético, solo algunos de los **GCR** penetran hacia el interior del sistema solar. Como el ciclo de actividad solar de 11 años produce una variación en el campo magnético interplanetario también existe una variación en el flujo de **GCR**. Cuando la actividad solar está en el máximo, el campo magnético está más perturbado, entonces el flujo de GCR es mucho menor que cuando la actividad solar está en el mínimo, ya que el campo magnético es menos perturbado permitiendo el paso de más **GCR**. Por tanto, el flujo de rayos cósmicos está modulado por la Actividad Solar. [8, 12]

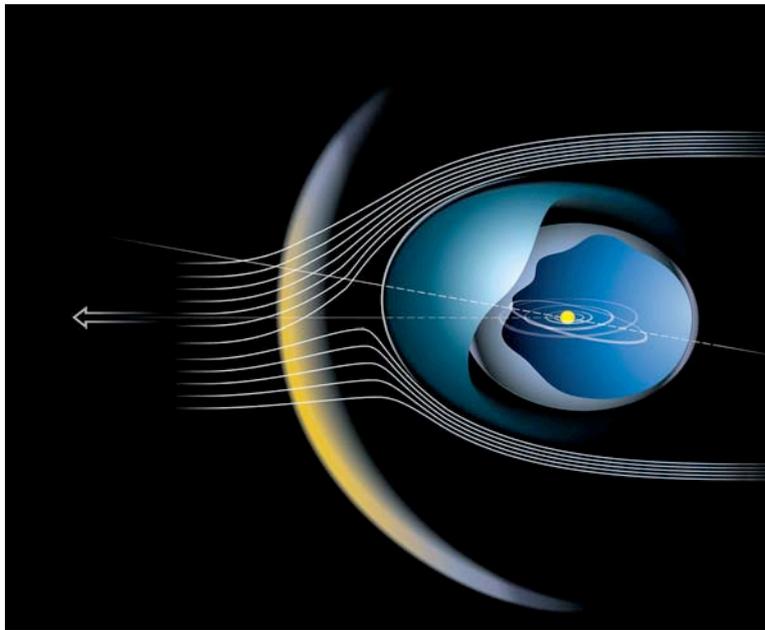


Figura 1.11: En la heliosfera, el viento solar permea el espacio interplanetario (*Institut d'Astrophysique de Paris*) [62]

1.3. La Relación Sol-Tierra

La relación Sol-Tierra se puede estudiar desde el punto de vista físico por la interacción de la radiación, el campo magnético y las partículas solares con el campo magnético de la Tierra y su atmósfera. Para poder investigar mejor esta interacción se han colocado dispositivos como cámaras, magnetómetros, espectrómetros, etc., que permitan estudiar los procesos que ocurren en la atmósfera alta y en la magnetosfera.

En la atmósfera alta se encuentra la ionosfera, una capa a 100 km de la superficie, que constituye solo un 1 % del total de la atmósfera. En esta región los átomos se encuentran ionizados y es susceptible a variaciones causadas por las partículas provenientes del medio interplanetario y por la radiación solar.[7, 9]

1.3.1. Auroras

Las auroras, producen la luz más intensa que se emite por la atmósfera superior y son vistas principalmente en las regiones del Ártico y del Antártico. Se llama aurora boreal, para latitudes del hemisferio norte y aurora austral, para latitudes del hemisferio sur. La zona auroral, es una banda casi circular alrededor del polo geomagnético dentro de la cual hay un máximo de actividad auroral. Por lo general, comienzan a 100 km por encima de la superficie y se extienden hacia arriba, a lo largo del campo magnético por cientos de kilómetros. Los arcos aurorales pueden permanecer quietos y súbitamente comenzar a moverse. La mayoría de las auroras tienen un color amarillo verdoso y algunas veces los rayos más largos se tornan en rojo en la parte superior, raras veces se encuentran tonos de azul. Los diferentes colores dependen del tipo de gas atmosférico que esté reaccionando y de la partícula con la que colisiona. El oxígeno es el causante de los colores verde y rojo. Un despliegue auroral, es intensificado cuando las líneas de campo terrestre tienen el sentido opuesto a las líneas del campo magnético interplanetario.[12, 13]

1.3.2. Tormentas Geomagnéticas

La reconexión magnética almacena grandes cantidades de energía en el campo magnético de la Tierra, hasta que ésta es liberada de manera explosiva. El ciclo de almacenamiento de energía y liberación se llama *subtormenta*. Múltiples subtormentas producen tormentas magnéticas y aceleración de partículas a altas energías que pueden causar daños en los satélites.

Las tormentas geomagnéticas, son disturbios globales en el campo magnético terrestre. Frecuentemente se caracterizan por un aumento súbito en el campo magnético, seguido de una disminución de la intensidad del mismo durante los siguientes minutos u horas, con una fase de recuperación gradual que puede tardar varios días.

El campo geomagnético es medido por magnetómetros y los datos proveen una medida cuantitativa del nivel de actividad geomagnética. El índice K es un valor de 0 a 9 y depende de la estación de observación. Las tormentas geomagnéticas se pueden clasificar de acuerdo al nivel del índice Dst. Débiles, si el Dst está entre -50 y -30 nT, moderadas entre -100 y -50 nT, e intensas menores de -100nT. Este índice se obtiene en medidas realizadas cada hora de la componente horizontal del campo geomagnético (H) en estaciones de bajas latitudes. La principal característica de la tormenta geomagnética es el decremento de la componente H. Este decremento se atribuye al incremento en la población de partículas atrapadas en la magnetosfera.

Durante periodos de grandes perturbaciones magnéticas, la componente H disminuye y su recuperación al nivel normal es gradual. Algunos estudios muestran, que a latitudes medias y ecuatoriales el decremento de la componente H durante una tormenta geomagnética puede representarse como un campo magnético uniforme paralelo al eje del dipolo magnético con dirección hacia el sur. La magnitud de la perturbación varía con el tiempo de la tormenta. El inicio de la tormenta magnética está caracterizado por el incremento global repentino en H, que se denota como **ssc** (storm sudden commencement). La lista de **ssc** está establecida por el Observatorio del'Ebre, la cual se publica en boletines mensuales.

Siguiendo el **ssc**, normalmente la componente H permanece por arriba de su nivel por algunas horas, en la llamada fase inicial de la tormenta. La magnitud del decremento en H representa la severidad de la perturbación. Los valores para cada tormenta pueden diferir mucho de una tormenta a otra.

El índice **Dst** representa el campo de perturbación, el cual es axialmente simétrico con respecto al eje del dipolo y es considerado, una función del tiempo de la tormenta. Al medir las variaciones de **Dst**, se obtiene una medida cuantitativa de la perturbación geomagnética, que puede ser correlacionada con parámetros solares. El índice Dst es publicado a través de la International Association of Geomagnetism and Aeronomy (**IAGA**) de manera continua.

Para obtener el índice Dst se utilizan diferentes observatorios magnéticos que se encuentran localizados a suficiente distancia de perturbaciones en las zonas aurorales y del ecuador además de contar con observaciones de calidad y se encuentran distribuidos en una longitud suficientemente uniforme. Estos son los 4 observatorios magnéticos: Hermanus, Kakioka, Honolulu y San Juan, las cuales se muestran en la Figura 1.12[7, 9, 14].

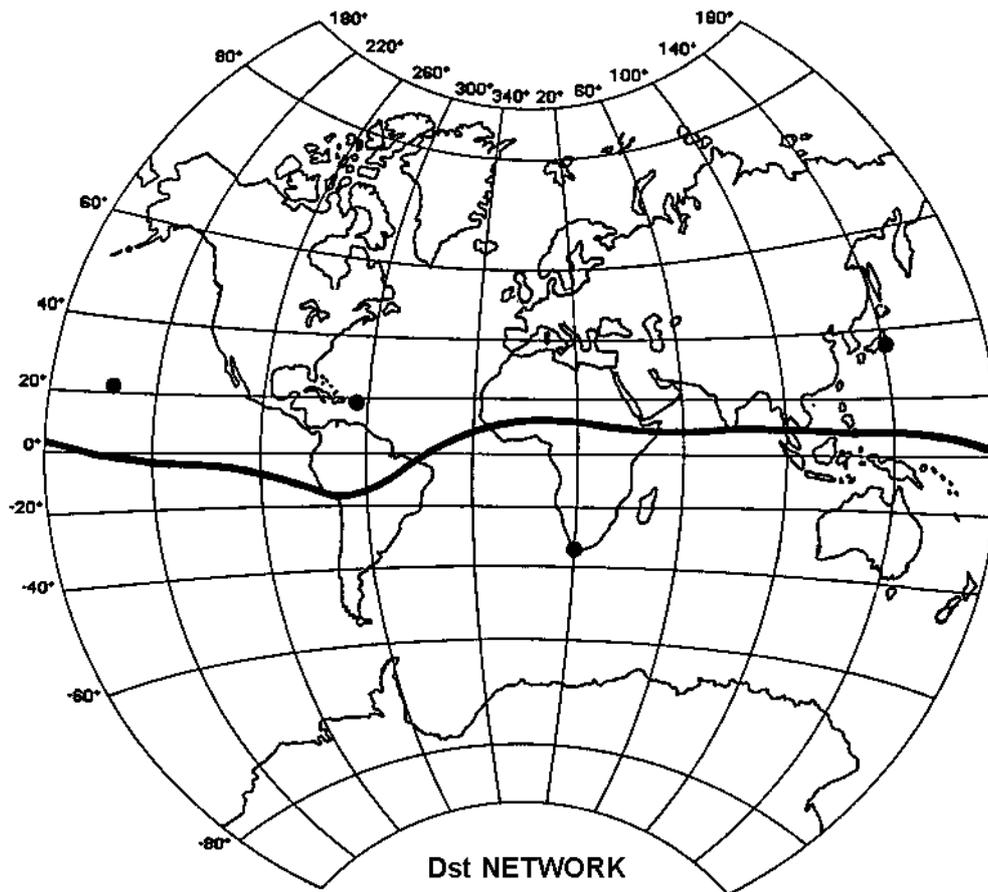


Figura 1.12: Mapa de la red de observatorios magnéticos para obtener el índice Dst en Hawaii, Puerto Rico, Sudáfrica y Japón (IAGA)[63]

Capítulo 2

Huracanes

2.1. Definición y Origen

Un huracán o ciclón tropical (**ct**) es el término genérico utilizado para designar un sistema de baja presión originado en regiones tropicales sobre el océano, con convección organizada y una circulación ciclónica de los vientos bien definida en la superficie. Cuando los vientos en la superficie alcanzan 33 m/s la tormenta se denomina *tifón*, si se produce en el Noroeste del Océano Pacífico, *huracán* si se origina en el Océano Atlántico o en el Noreste del Océano Pacífico, o también como *ciclón tropical severo* si se produce en el Sureste del Océano Índico o en el Suroeste del Océano Pacífico [17].

Las condiciones atmosféricas favorables para la formación del **ct**, son las siguientes:

- El agua del océano debe tener una temperatura de por lo menos 26.5° C en una profundidad mínima de 50 m, considerándose éstas, las condiciones mínimas para mantener el **ct**. Las aguas cálidas mantienen el núcleo caliente que alimenta el sistema.
- La atmósfera debe disminuir rápidamente de temperatura en función de la altura, para hacerla lo suficientemente inestable.
- La presencia de tormentas, permite que el calor almacenado en el océano, sea liberado para el desarrollo del **ct**.
- En la troposfera media, debe haber suficiente humedad relativa, esto es, a unos 5 km de la superficie.
- Para que ocurra el ciclón, es necesario que la fuerza de Coriolis, tenga valores no despreciables, para que ocurra un balance en el gradiente de los vientos, corrigiendo la interacción de la fuerza de gradiente de presión y los vientos geostroficados, por aceleración centrípeta. Sin la fuerza de Coriolis no es posible mantener la baja presión en la perturbación. Por lo que la distancia mínima del ecuador es 500km, para la formación del **ct**.
- Una perturbación pre-existente, debe estar cerca de la superficie, con suficiente vorticalidad, convergencia y cizalladura baja. Se requiere que la cizalladura vertical, sea menor a 10 m/s entre la superficie y la tropopausa. [18]

Estas condiciones son necesarias aunque no garantizan que el ciclón se forme. [18].

La cizalladura es el cambio en la velocidad del viento con el incremento en la altitud. Cuando la cizalladura es baja, las tormentas que son parte del **ct**, crecen verticalmente y el calor latente de la condensación se libera en el aire, directamente en la parte superior de la tormenta. Cuando la cizalladura es fuerte, las tormentas se inclinan y el calor latente liberado se expande en una región más grande, esto significa que el **ct** es dispersado.[19]

Se sabe que los **ct's**, se forman aun cuando las condiciones normales no están presentes. Por ejemplo, si la temperatura del aire es muy fría a mayor altitud, es decir, a un nivel de 500hPa o 5.9 km, se puede generar el **ct** a una menor temperatura del mar, conforme es necesario un gradiente adiabático para forzar a la atmósfera a ser lo suficientemente inestable para la convección.[20]

A un nivel de 500hPa, la temperatura promedio del aire es de 7°C , en los trópicos, pero normalmente a estas alturas el aire en los trópicos es seco, dando oportunidad al aire a que se enfríe hasta humedecerse, a una temperatura más favorable para la convección. A 500hPa, la temperatura del aire sería de -13.2°C , lo que puede comenzar la convección, si la temperatura del agua es 26.5°C , este requerimiento en la temperatura aumenta o disminuye proporcionalmente, en 1°C en la superficie del mar por cada cambio de 1°C a 500hPa.[20]

2.1.1. Mecanismo de formación

La energía necesaria para que se produzca un **ct** proviene principalmente de la evaporación del océano, asociada a la condensación en nubes convectivas concentradas cerca de su centro. También se caracteriza por tener un *núcleo caliente* en la troposfera, esta estructura en el **ct** produce vientos muy intensos cerca de la superficie, lo cual produce los mayores daños en regiones costeras e islas, por los vientos extremos, la marea de tormenta y la acción de las olas.[21]

Un modelo ideal del **ct** es un vórtice axisimétrico en balance hidrostático y rotacional. El flujo ciclónico alcanza su máxima intensidad cerca de la superficie y decrece lentamente hacia la parte superior, convirtiéndose en flujo anticiclónico cerca de la parte alta de la tormenta, a unos 15 km de la superficie. La configuración de este flujo corresponde a una estructura con un núcleo caliente con perturbaciones de temperatura máximas en superficies isobáricas con diferencias de 10°C , altamente concentrada en los niveles altos cerca del vórtice. Dentro del radio de vientos máximos, el núcleo es parecido a un sólido de revolución, mientras que fuera del núcleo, los vientos descienden gradualmente con el radio.[21]

El ciclo de energía de un huracán maduro puede idealizarse como una máquina de Carnot, que convierte energía calorífica extraída del océano, en energía mecánica. En estado estacionario, la generación de esta energía mecánica balancea la disipación por fricción, la mayoría de la cual, ocurre en la interfase mar-aire. El ciclo de Carnot idealizado puede verse en la Figura 2.1 [21]

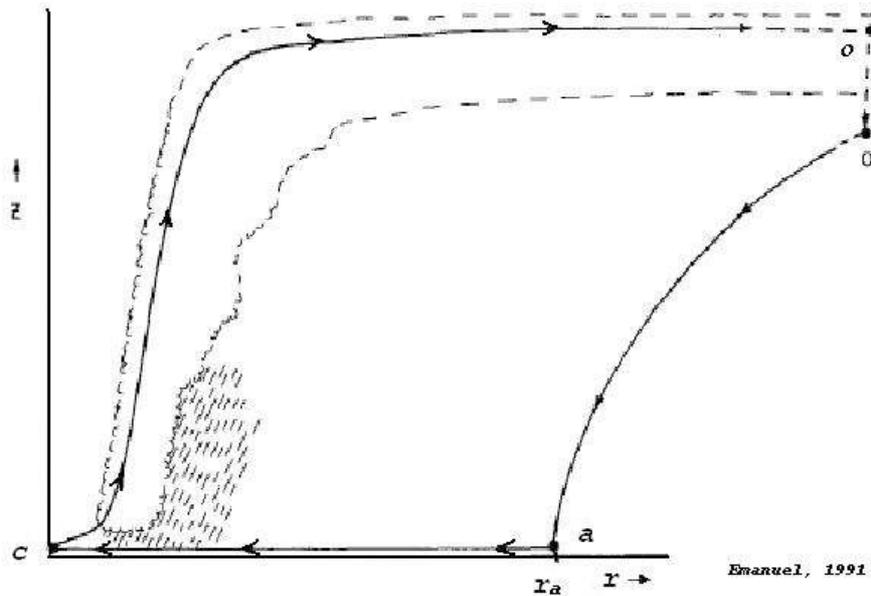


Figura 2.1: El ciclo de Carnot del Huracán. El aire comienza a moverse en espiral hacia el centro de la tormenta en el punto a , adquiriendo calor de la superficie del océano. Después asciende adiabáticamente del punto c , fluyendo cerca de la parte superior de la tormenta a un radio grande, denotado por el punto o . El exceso de calor se pierde por exportación o por radiación electromagnética entre o y o' a una mucho menor temperatura. El ciclo se cierra por enfriamiento adiabático.[23]

En la segunda pierna del ciclo de Carnot, el aire asciende dentro de nubes convectivas profundas, en la pared del ojo de la tormenta y luego fluye hacia fuera a un radio grande. Los huracanes reales, son sistemas abiertos que intercambian masa continuamente con el ambiente. La mayor parte de la energía perdida por fricción en el ciclo, ocurre en la superficie de la capa límite y a un radio grande en el flujo externo, donde el momento angular original debe ser restaurado. [21].

Cuando las condiciones necesarias para la formación del **ct**, están presentes, el **ct** no surge de manera espontánea. Charney y Eliassen (1964) propusieron una teoría llamada Inestabilidad Condicional de Segundo Tipo (**CISK**, por sus siglas en inglés) que trata de explicar los **ct**, por requerir de la convección en proporción del movimiento ascendente inducido por la fricción de la capa límite de un vórtice. **CISK** requiere de un reservorio de energía convectiva para operar. La energía almacenada debe reflejarse en una estratificación termodinámica de la atmósfera que permite que la capa límite del aire flote positivamente, ascendiendo a suficiente distancia, esto se conoce como inestabilidad condicional.[21]

2.1.2. Evolución de un Huracán

La formación de un huracán, tiene varias etapas que se pueden distinguir de la siguiente manera:

1. Comienza cuando la perturbación forma una depresión atmosférica, caracterizada por el aumento en la velocidad del viento en superficie alcanzando una velocidad máxima de 62 km/h. Las nubes comienzan a organizarse en bandas y la presión desciende hasta cerca de 1000 hpa, denominándose *depresión tropical*.
2. La depresión tropical se desarrolla aumentando la velocidad de los vientos, hasta un máximo de 117 km/h, adquiriendo la característica de *tormenta tropical*, las bandas de nubes se distribuyen en forma de espiral y empieza a formarse un ojo pequeño. La presión se reduce a menos de 1000 hpa. En esta etapa recibe un nombre correspondiente a una lista formulada por la Organización Meteorológica Mundial.
3. La tormenta tropical se intensifica y adquiere la característica de *huracán*, cuando el viento alcanza velocidades mayores a 117 km/h, el área de nubes se expande obteniendo su máxima extensión, entre los 500 y 900 km de diámetro, produciendo intensas precipitaciones.
4. La fase de huracán se mantiene mientras se provea de la energía necesaria para sostenerse, la cual la provee el vapor de agua del océano hasta que se adentra en aguas más frías. En caso de entrar a tierra firme, el huracán pierde más rápidamente su energía y empieza a disolverse debido a la fricción que causa su traslación sobre el terreno.[22]

2.1.3. Estructura

Los patrones que forman las nubes son una característica distintiva de los huracanes durante su ciclo de vida. Estos patrones pueden dar una ayuda visual para estimar la intensidad del fenómeno, si es depresión tropical, tormenta tropical o huracán, tan solo por la organización de las nubes.[22]

Uno de los patrones más comunes de la evolución de las nubes son las bandas curvadas, que se da cuando el viento de cizalla es débil. Durante el génesis, por lo general una masa de tormentas eléctricas con una débil rotación se observa primero, conocida como el estado 1 de la evolución. Estas tormentas suelen disiparse o debilitarse dejando una circulación residual. Si se vuelven a formar las tormentas y esta vez con mayor intensidad, se forma una circulación completa, el estado 2 de evolución. el cual es el estado de depresión. La banda dominante de nubes gradualmente toma mayor curvatura alrededor de un centro de muy poca nubosidad. Cuando la banda se curva al menos a la mitad de la distancia alrededor del centro de la tormenta, se ha alcanzado la intensidad de tormenta tropical.[22]

La banda curva consiste en una región de 160 km de ancho con zonas de muy fuertes tormentas eléctricas que alcanzan los 15 km de altura, las nubes se extienden por 640 km alejándose del centro con tormentas menos potentes. Las bandas tienen de 8-48 km de ancho y 80 a 300 km de largo. En medio de las bandas hay áreas de lluvia ligera a moderada. En

la periferia de la tormenta tropical, la velocidad del viento fluctúa, en la bandas espirales los vientos son sostenidos de 50 - 70 km/h. Al aproximarse al centro de la tormenta los vientos aumentan consistentemente, con los vientos más fuertes cerca del centro.[22]

Conforme la tormenta tropical se intensifica, la banda de nubes dominantes continua enrollándose alrededor del centro de la tormenta. Cuando la banda está completamente alrededor del centro la intensidad de huracán es alcanzada. En este punto, una región despejada se forma en el centro conocida como el *ojo*, rodeada por un anillo de tormentas eléctricas conocido como *pared del ojo*.[22]

La pared del ojo tiene los vientos más intensos y frecuentemente es la región con mayor cantidad de lluvia, haciendo esta a la parte más peligrosa de la estructura del huracán. La pared del ojo se inclina hacia delante debido al peso. En el ojo, los vientos se hacen débiles, la transición es súbita. El diámetro está en el rango de 32 a 64 millas. Conforme el huracán se intensifica el ojo se contrae y puede llegar a tener un diámetro de 15 km.(Figura 2.2)[22]



Figura 2.2: Estructura de un huracán

2.1.4. Influencia de Ciclos de Gran Escala

El Niño

Durante la presencia de El Niño-Oscilación del Sur, las aguas cálidas disminuyen el potencial de formación de **ct's** en el Océano Atlántico y alrededor de Australia. Debido a que los **ct's** en el Este del Océano Pacífico y en el Océano Atlántico, se generan en gran parte por ondas tropicales, del mismo tren de onda, el decremento en la actividad de **ct's** en el

Océano Atlántico Norte, se traslada incrementando la actividad de **ct's** en el Océano Pacífico Este. Aunque El Niño, no impacta en el número de **ct's** en el Noroeste del Pacífico, El Niño, desplaza su formación más hacia el este de lo normal. Cerca de la Línea de la Fecha Internacional, a ambos lados del ecuador, hay un incremento neto en el desarrollo de **ct's** durante El Niño.[26]

Oscilación Madden Julian

En presencia de la Oscilación Madden Julian(**MJO**) , los vientos del oeste se incrementan, provocando un incremento en la formación de **ct's** en todos los océanos. Conforme la oscilación se propaga de oeste a este, produce una marcha en el tiempo hacia el este en la formación de **ct's**, en el hemisferio donde está presente el verano. Existe una relación inversa entre la actividad de **ct's** en el Océano Pacífico Oeste y el Norte del Atlántico. Cuando una de ellas es más activa, la otra es normalmente más quieta y viceversa. La razón principal, parece ser la fase de la **MJO**, la cual es normalmente en modos opuestos entre los dos océanos a un tiempo dado.[27, ?]

Ondas de Rossby

Algunas investigaciones muestran que los paquetes de ondas de Rossby atrapadas, pueden incrementar la probabilidad de formación de **ct's** en el Océano Pacífico, conforme aumentan los vientos del oeste de bajo nivel en esa región, lo cual produce una mayor vorticidad de bajo nivel. Las ondas individuales pueden moverse a 1.8 m/s aproximadamente, aun cuando el grupo tiende a mantenerse estacionario.[29]

Oscilación Multidecadal del Atlántico

El incremento en las mediciones de la actividad de huracanes en el Atlántico, en las últimas décadas, se cree que es reflejo del reciente calentamiento en las aguas tropicales del Atlántico. Algunos estudios atribuyen este incremento al ciclo natural conocido como Oscilación Multidecadal del Atlántico (**AMO**)[30].

El número y la intensidad de los huracanes podrían estar sometidos al ciclo de 50-70 años de la **AMO**. En reconstrucciones de la actividad de huracanes mayores en el Atlántico hasta el siglo XVII, se encontraron 5 periodos, promediando de 3 a 5 huracanes mayores por año durante 40-60 años, y otros 6 periodos, promediando 1.5-2.5 huracanes mayores por cada año, durante 10-20 años. Estos periodos están asociados a la **AMO**. En todos los casos, una oscilación decadal relacionada con la irradiancia solar, fue responsable del aumento/disminución del número de huracanes mayores de 1-2 años.[31]

2.2. La Escala Saffir-Simpson

Los huracanes, según la escala Saffir-Simpson, pueden ser clasificados de los números 1 al 5, y es una escala de daños por viento y oleaje. Su finalidad es estimar el daño potencial en propiedades e inundaciones esperadas, a lo largo de la costa cuando un huracán toca tierra. La velocidad del viento es el factor determinante en la escala, los valores de la marea de la tormenta dependen en gran medida de la pendiente de la plataforma continental y la forma de la línea costera en la región en que toca tierra. (Los vientos se calculan en promedio de un minuto en los EEUU).

- Huracán categoría 1:

Vientos de 119-153 km/h. Marea de tormenta generalmente arriba de 1.2-1.5 m de lo normal. Sin daño considerable en las estructuras de edificios. Daño principalmente a casas móviles no ancladas, arbustos y árboles. Algunos daños a señalamientos de débil estructura. Algunas inundaciones en caminos a lo largo de la costa y daños menores en puertos.

- Huracán categoría 2:

Vientos de 154-177 km/h. La marea de tormenta está por arriba de 1.8-2.4 m de lo normal. En los edificios puede haber algún daño en techos, puertas y ventanas. Daño considerable a arbustos y árboles, algunos derribados. Daño considerable a casas móviles, a señalamientos de débil estructura y en puertos. En rutas de escape costeras bajas, hay inundación 2-4 horas antes de la llegada del centro del huracán. Embarcaciones pequeñas con anclajes sin protección, rompen los amarres.

- Huracán categoría 3:

Vientos de 178-209 km/h. La marea de tormenta generalmente sube entre 2.7 y 3.6 m arriba de lo normal. Algún daño estructural a residencias pequeñas y edificios con fachadas frágiles. Daño a arbustos, pérdida del follaje en algunos árboles y árboles altos son derribados. Casas móviles y señalamientos de débil estructura son destruidos. Las rutas de escape bajas son cerradas por inundación de 3 a 5 horas antes de la llegada del centro del huracán. Inundaciones cerca de la costa destruye pequeñas estructuras por otras de mayor tamaño dañadas. Terreno menos a 5 pies sobre el nivel del mar continuamente inundado tierra adentro hasta 13 km. Puede ser requerida la evacuación de viviendas bajas en varias cuadras cercanas a la línea de la playa.

- Huracán categoría 4:

Vientos de 210-249 km/h. La marea de tormenta por lo general sube de 4 a 5.5 m arriba de lo normal. Daños en la fachadas mucho más extensos con fallas en la estructura completa de techos en pequeñas residencias. Arbustos, árboles y señalamientos, todos derribados. Completa destrucción de casas móviles. Extenso daño a puertas y ventanas. Rutas de terreno bajo deben ser bloqueadas por el aumento de agua de 3 a 5 horas antes de la llegada del centro del huracán. Daño mayor en estructuras cercanas a la playa en los pisos bajos. El terreno menor a 3 m sobre el nivel del mar puede ser inundado requiriendo una evacuación masiva de áreas residenciales hasta por 10 km tierra adentro.

- Huracán Categoría 5:

Los vientos son mayores a 249 km/h. La marea de tormenta sube por lo general más de 5.5 m de lo normal. Daño total en techos en residencias y edificios industriales. Algunos daños en estructuras en edificios pequeños siendo volados sobre el camino. Todos los arbustos, árboles y señalamientos derribados. Completa destrucción de casas móviles. Severo y extenso daño a puertas y ventanas. Rutas de terreno bajo deben ser bloqueadas por el aumento de agua de 3 a 5 horas antes de la llegada del centro del huracán. Daño mayor en los pisos bajos de todas las estructuras localizadas a menos de 15 pies sobre el nivel del mar y a 450 m de la playa. Puede ser requerida una evacuación masiva en áreas residenciales en terreno dentro de 8-16 km de la playa.[23]

2.2.1. Nombres

Anteriormente, cada huracán se denominaba con el nombre del santo del día en que se había formado o había sido observado. Durante la Segunda Guerra Mundial se usó un código en orden alfabético para facilitar la rapidez de la transmisión con abreviaturas, (Abbler, Baker, Charlie, etc.). Posteriormente, en 1953, el Servicio Meteorológico de los EUA adoptó el uso de nombres de mujer de esas abreviaturas en orden alfabético.

Cuando la depresión tropical se convierte en tormenta se le asigna un nombre. Desde 1953, los huracanes han sido designados con nombres basados en una lista originada en el Centro Nacional de Huracanes. En principio, como se mencionó antes, la lista solo contenía nombres femeninos, pero en 1979, se añadieron los nombres masculinos y fueron también incluidos los idiomas español, francés e inglés. Actualmente, existe un comité internacional (Organización Mundial del Clima) que se encarga de mantener actualizada la lista de nombres. Existen 6 listas las cuales se van rotando. Se tienen ya los nombres que se utilizarán hasta 2012 con más de 500 nombres para todo el mundo. Varias tormentas pueden tener el mismo nombre, solamente aquella que llegue a producir grandes pérdidas económicas y humanas, su nombre sale de la lista.[17, 24]

Capítulo 3

Revisión de Trabajos Previos

3.1. La Actividad Solar y el Clima en la Tierra

Diferentes trabajos se han realizado para entender cómo afecta la actividad solar al clima de la Tierra, existiendo numerosos trabajos de científicos en todo el mundo respecto a este tema. Si bien no se ha estudiado a fondo la relación que pueda existir entre la actividad solar y la formación de huracanes, sí se ha encontrado relación con otros fenómenos climáticos que están directamente relacionados con los huracanes.

Al medir los rayos cósmicos en la Tierra, se puede tener un indicador de la actividad solar en un rango de tiempo muy largo. Debido a que varios isótopos en la atmósfera son producidos por rayos cósmicos. El estudio de registros ha permitido establecer una relación entre periodos climáticos fríos y calientes y baja y alta actividad solar durante los últimos 10 000 años. Si se consideran variaciones durante el último milenio, se puede deducir que de 1000 a 1300 d.C. la actividad solar fue mucho más alta la cual coincide con el Período de Calentamiento Medieval. Se sabe históricamente, que durante ese periodo los vikingos se establecieron en Groenlandia. La actividad solar, si se ha representado bien, disminuyó, acompañada de un periodo de baja temperatura que coincide con el llamado Mínimo de Maunder, entre 1645 y 1715, en el que prácticamente no se observaron manchas solares. Este periodo duró hasta la mitad del siglo XIX. Desde entonces la actividad solar se ha incrementado y es la más alta desde principios del siglo XX. De aquí se puede asumir que existe un mecanismo a través del cual el Sol tenga influencia en el clima de la Tierra. A este respecto se han hecho especulaciones en la relación con el número de manchas solares y el clima de la Tierra, comenzando por Galileo, Scheiner y Riccioli en 1651, aunque ellos no tenían una base empírica sólida ya que en su tiempo sus registros eran escasos. [9]

3.1.1. Primeros trabajos

Uno de los primeros trabajos que realizaron mediciones, fue el desarrollado en 1873 por Köppen, quien encontró que la temperatura en los trópicos presentaba un pico alrededor del año anterior al mínimo de actividad de manchas y las condiciones frías coincidían con el máximo de manchas solares. Köppen reunió registros de temperatura de 403 estaciones que

representaban 5 zonas climáticas y 25 regiones, diferentes en todo el mundo. Encontró que las condiciones cálidas tenían una tendencia de aparición de 0.5 a 3.5 años antes del mínimo de manchas solares. Los episodios cálidos presentaban mayores retardos conforme se alejaban del ecuador y los fríos anómalos coincidían con el tiempo de máximo de actividad solar. Se encontró una anti-correlación entre el número de manchas solares y la temperatura observada, entre el período de 1816 a 1859, aunque fuera de ese periodo no se presentaban los mismos resultados.

Además de la temperatura, se ha buscado relacionar la actividad solar con algunos otros parámetros como la presión a nivel del mar (**SLP**). En estudios realizados en Bombay, India, en 1875 se encontró que existía una correlación negativa de la **SLP** y el número de manchas solares, además de una conexión con las hambrunas en la India. También con la actividad geomagnética se ha buscado alguna relación, por ejemplo, en 1902, Brückner encontró periodicidades en la componente horizontal del campo magnético con las manchas solares. En 1908, Bigelow reportó un ciclo de 11 años en la componente horizontal del campo magnético sobre Europa y también periodicidades similares en la temperatura del aire, presión de vapor y presión del aire en diferentes regiones de los Estados Unidos. La temperatura y la presión de vapor estaban inversamente relacionadas con prominencias y variaciones en el campo magnético. Este ciclo de 11 años encontrado en Estados Unidos fue más pronunciado a lo largo de la costa del Pacífico.

Otros casos como los tiempos de la maduración de la uva o el florecimiento de algunas flores, se pensó que tenían alguna relación con las manchas solares. Estos estudios realizados en 1903, sugerían que los meses de primavera en años con mayor actividad de manchas era más cálido que cuando había pocas manchas.[9]

3.1.2. Algunos trabajos recientes

Haigh, et al (2001) desarrollaron un trabajo donde propone que la radiación solar ultravioleta es absorbida por el ozono estratosférico, elevando la temperatura de esa región. El calentamiento estratosférico produce vientos estratosféricos más intensos, los cuales penetran en la troposfera alterando la circulación de la celda de Hadley, la cual se define como la circulación convectiva de la troposfera que lleva energía del ecuador hacia los polos. Esto redundaría en la modificación de la temperatura troposférica. La respuesta climática en el mínimo de Maunder (1645-1715), un período de mínima actividad solar, fue tal, que la temperatura terrestre disminuyó. [33]

Bond et al (2001) concluyen que en los vientos de superficie y la hidrografía de la superficie del océano en el Atlántico Norte subpolar, se presenta una influencia de las variaciones de la emisión solar a lo largo del período del holoceno. Esta evidencia se origina de una correlación entre los cambios inferidos en la producción de núcleos cosmogénicos de carbono 14 y berilio 10 y en cambios de escalas milenarias en indicadores de hielo medidos en núcleos de sedimentos del fondo del océano. Algun mecanismo de forzamiento solar puede estar presente en el ciclo de 1500 años del Atlántico Norte. Los cambios hidrográficos en

la superficie, pueden haber afectado las aguas profundas del Atlántico Norte, ocasionando algún mecanismo adicional para amplificar la señal solar y transmitirla globalmente según simulaciones del clima.[34]

Marsh(2003) discute que para poder determinar la influencia humana en el cambio climático, es importante entender las causas naturales de la variabilidad climática. Un efecto natural que ha sido difícil de entender físicamente es la relación aparente entre el clima y la actividad solar. El análisis de registros históricos y geológicos confirman fuertes evidencias de que el Sol a tenido un papel importante en el pasado del clima de la Tierra, pero los mecanismos físicos actualmente son desconocidos. Cual sea el mecanismo causante de esos cambios podría estar operando en la actualidad y podría haber estado activo durante toda la historia de nuestro planeta. Han habido varios intentos de explicar la relación entre la actividad solar y el clima. En este trabajo se presentan algunos de los posibles mecanismos que involucran la actividad solar.[35]

Kodera (2004) publicó un artículo donde señala que estudios previos sugieren que la actividad solar puede influenciar el ciclo del ENSO (El Niño/ Southern Oscillation), así como la modulación de la amplitud de la Oscilación Troposférica Bienal (TBO). Este estudio muestra que la diferencia de la TBO debida al ciclo solar es derivada de una diferencia en la asociación de temperaturas de la superficie del Océano Índico (SST's, Sea Surface Temperature) con el Océano Pacífico. SST's altas en el Océano Indico son seguidas de un calentamiento en el Pacífico durante actividad solar baja (LS) de verano a invierno. Pero tal relación está ausente durante actividad solar alta (HS). Esta diferencia en SSTs esta relacionada a la distribución de actividad convectiva en el ecuador. La actividad convectiva está más localizada sobre el sector del Pacífico durante HS, pero más zonal y extendida sobre el Índico durante LS. Se han encontrado diferencias también en la velocidad convectiva vertical en la troposfera. Un posible mecanismo sugerido por este estudio es que la influencia solar en la troposfera ecuatorial, no surge del cambio en la temperatura del océano sino se origina en la estratosfera ecuatorial a través de cambios en la circulación meridional. Esta circulación modula el grado de actividad convectiva así como la distribución horizontal a lo largo del ecuador.[36]

Zherebtsov (2005) discute los posibles mecanismos en la conexión sol - clima que pueden tener importancia a corto y largo plazo. Se estimaron las variaciones del balance de energía del sistema climático de la Tierra para los últimos 50 años y se analizó la posible influencia en el balance energético de la atmósfera y las variaciones solares. En este trabajo se sugiere y se sustenta teóricamente el mecanismo físico de la influencia de la actividad solar en las características climáticas y la circulación atmosférica. El mecanismo se basa en la redistribución en la troposfera baja de núcleos de condensación por un campo eléctrico vertical. Este campo eléctrico es determinado por la ionosfera, el cual en regiones polares es controlado no solo por tormentas eléctricas tropicales y por la intensidad de rayos cósmicos galácticos sino también por el flujo de rayos cósmicos solares. La redistribución que ocurre con la altura en la atmósfera de los núcleos de condensación y el cambio del campo eléctrico de la atmósfera es acompañado por el cambio en el calor latente total por cambios en el balance de radiación. Estos resultados del análisis del campo termobárico por periodos de invasión de flujo anormal de rayos cósmicos solares y tormentas magnéticas confirman la manifestación

de perturbaciones heliogeofísicas.[43]

Haigh (2006), presentó un trabajo que se enfoca en lo que sucede con una señal solar en perturbaciones estratosféricas y vientos zonales. Para ello se aplican múltiples técnicas de regresión a datos promedio zonales. Este trabajo sugiere que la influencia solar en la baja atmósfera depende de un acoplamiento dinámico entre diferentes capas atmosféricas y se considera cómo el forzante solar influencia los modos polares atmosféricos.[40]

Shindell et al (2007), examinaron la respuesta a los cambios en la irradiancia solar en el mínimo de Maunder. Los cambios de las temperaturas globales promedio son pequeños (entre 0.3 y 0.4° C) tanto en el modelo climático como en las reconstrucciones empíricas. Sin embargo, los cambios en la temperatura regional son grandes. En el modelo, esto ocurre principalmente a través del índice de la oscilación del Ártico/Oscilación del Atlántico Norte conforme la irradiancia solar decrece. Esto lleva a menores temperaturas sobre los continentes del Hemisferio Norte, especialmente en invierno (de 1 a 2° C), de acuerdo con los registros históricos y datos de indicadores de las temperaturas de superficie.[42]

Actualmente existe el proyecto ISAC (Influence of solar activity cycles on Earth's climate), fundado por la Agencia Espacial Europea (ESA) con un equipo de trabajo que consiste en los siguientes miembros:

- . Centro Espacial Nacional Danés (DNSC), antes (DSRI)
- . Instituto Sueco de Física Espacial(IFR)
- . Física Espacial y Atmosférica del Laboratorio Blackett del Colegio Imperial en Reino Unido.

La motivación del proyecto ISAC, es el calentamiento global por los efectos potenciales devastadores en asentamientos costeros y en la agricultura. Los modelos climáticos que dependen del calentamiento por gases de efecto invernadero se han mejorado conforme nuevos efectos y mejores datos se incorporan. Ahora estos modelos proveen una representación razonable de la variación global de temperaturas en el último siglo. El proyecto ISAC tiene el objetivo de enfocar la pregunta general de cuánto influencia la actividad solar al clima de la Tierra, tratando de medir el impacto de los mecanismos en turno e informar los métodos posibles para integrar estos efectos.[44]

Estos estudios han continuado de manera que el nivel de conocimiento en la relación Sol-Tierra ha aumentado. Un estudio de la conexión entre la variabilidad solar y el clima de la Tierra debe involucrar observaciones históricas, no solo para desarrollar modelos empíricos sino para hacer una hipótesis basada en pruebas físicas. Es por lo tanto, muy importante tener registros largos de observaciones de buena calidad tanto del Sol como de fenómenos climáticos terrestres para poder formular un modelo físico que explique la causalidad. Es uno de los objetivos de este trabajo, proveer un mayor número de datos en el número de huracanes ocurridos en las costas de México.

Capítulo 4

Datos

4.1. Las Fuentes

Los primeros datos de huracanes utilizados fueron obtenidos de la página <http://weather.unisys.com/hurricane>, donde cuenta con una base de datos histórica mundial de huracanes, proporcionada por NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). Los datos utilizados para este trabajo fueron únicamente para los huracanes que tocaron tierra en las costas de México. Esta base de datos es muy útil ya que cuenta con las trayectorias desde su formación hasta su disipación, tipo de tormentas y categorías en caso de los huracanes. Para el Océano Atlántico, cuentan con un registro desde 1851 hasta la fecha. Para el Océano Pacífico, los registros son desde 1949.

Para el tema de estudio de esta tesis, era necesario contar con el mayor número posible de datos para poder hacer un mejor análisis. En primer lugar se recurrió al Catálogo Histórico de Desastres Agrícolas en México [45]. En este catálogo se registran acontecimientos desde mediados del siglo XV, relatando los daños generados no solo por tormentas sino también por terremotos y otros desastres naturales a lo largo de toda la República Mexicana. Concentrándonos por regiones, los datos de interés se encontraban en regiones costeras, facilitando la identificación de un huracán real, ya que en el lenguaje utilizado en algunas descripciones se usó el término huracán en general para eventos de fuertes vientos solamente, sin ser acompañados de lluvia. Observando los detalles de estos eventos se seleccionaron aquellos que concordaban con el fenómeno de interés. Por otro lado, analizando la descripción del evento y usando la escala Saffir-Simpson según la descripción de los daños que genera un huracán para cada número de la escala, se asignó una categoría probable para los eventos seleccionados.

El catálogo presenta información de desastres agrícolas desde los años 958 a 1900, pero se encontraron datos de huracanes a partir de 1464 para el Océano Atlántico, y a partir de 1537 en el Océano Pacífico. Considerando que para el Océano Pacífico los datos disponibles son a partir de 1949, fue importante obtener más datos en esta región para tener una serie más larga.

4.1.1. Datos para el Océano Atlántico

En el caso del Océano Atlántico, además del Catálogo de Desastres Agrícolas [45], se recurrió también a los registros hechos por David Ludlum en su libro “Early American Hurricanes”, de 1963[47].

La información obtenida es la siguiente:

- En el Catálogo de Desastres Agrícolas, se encontraron 35 eventos entre 1464 y 1900.
- En el libro “Early American Hurricanes”, se encontraron 7 eventos entre 1818 y 1849.
- Esto da un total de **42** eventos de huracanes que tocaron tierra en las costas del Océano Atlántico mexicano entre 1464 y 1900-

4.1.2. Datos para el Océano Pacífico

En el Catálogo de Desastres Agrícolas para el Océano Pacífico, se encontró información de huracanes desde 1537 hasta 1900. Por lo que de 1901 a 1948 no había datos. Se acudió a la Hemeroteca Nacional para buscar información de eventos registrados en medios impresos como periódicos, revistas o boletines oficiales. La mayor parte del acervo encontrado es de la mitad del siglo XX a la fecha para ciudades costeras consideradas vulnerables a los huracanes.

También se realizó una visita al Servicio Meteorológico Nacional. Sus archivos más antiguos de ciclones y tormentas en el Océano Pacífico son de 1921. Proporcionaron cartas de trayectorias de tormentas para cada año, sin embargo no distinguen entre tormenta tropical o huracán. La información obtenida en estas cartas, fue que al observar las trayectorias de las tormentas, la mayoría de ellas tenían como punto final la Península de Baja California y Sinaloa. De ahí surgió la idea de visitar los archivos históricos de esas regiones, para conocer si tenían registros en las zonas portuarias.

Se buscó información en el Puerto de Mazatlán, considerando que por su importancia contarían quizá con un archivo histórico. El encargado de la Capitanía de Puerto, indicó que no cuentan con ningún archivo histórico, por lo que la siguiente alternativa fue Baja California. Por medio de la página del Archivo Histórico “Pablo L. Martínez” en la ciudad de La Paz, B.C. se consultó el acervo, encontrando archivos desde la época del Porfiriato, que en su resumen de contenido, reportan ciclones y fuertes tormentas que podrían considerarse huracanes. Se hizo contacto con el personal que ahí labora y se concertó una cita para tener acceso al acervo.

Ahi, se tuvo acceso a diferentes fuentes como boletines oficiales, reportes meteorológicos, periódicos y libros. Una fuente importante fue la tesis de maestría de Elinor Villanueva: “Presencia de Huracanes en Baja California Sur, el caso del ciclón Liza”[48] con datos de huracanes de 1827 a 1948, y también el libro de Francisco Clavijero “Historia de la antigua o Baja California” de 1970[46], que habla de los viajes realizados por misioneros de la orden de

los Jesuitas en Baja California. Los relatos de estos misioneros detallan tormentas que muy posiblemente se trataron de huracanes por los daños ocasionados, obteniendo así información de 1702 a 1767. De los documentos a los que se tuvo acceso en el Archivo se encontraron datos de 1882 a 1918. Con esta investigación se obtuvo una buena cantidad de datos que se agregaron a la serie de tiempo.

En resumen, para el Océano Pacífico se obtuvo lo siguiente:

- En el Catálogo de Desastres Agrícolas [45], se encontraron 32 eventos, entre 1537 y 1900.
- En libro “Historia de la antigua o Baja California” [46], se encontraron 9 eventos, de 1702 a 1767 .
- En documentos del Archivo Histórico[49], se encontraron 7 eventos, de 1887 a 1918,
- En el trabajo de Elinor Villanueva, se encontraron 13 eventos, de 1827 a 1948.
- En total, se registraron **58** huracanes, entre 1537 a 1948.

Una vez obtenida la serie para cada océano, se realizó un análisis de ondeletas para conocer las periodicidades y se compararon con las de la actividad solar.

4.2. Lista de Huracanes

A continuación se presenta en las Figuras 4.2 y 4.2, la lista de huracanes históricos obtenidos en la investigación, y las series con los datos para cada Océano en las Figuras 1 y 2. En el apéndice B se encuentra la porción de interés del Catálogo Histórico de Desastres Agrícolas en México [45], del libro “Early American Hurricanes” [47], y algunos ejemplos de los documentos consultados en el Archivo Histórico “Pablo L. Martínez”[49].

Datos Océano Atlántico



Figura 4.1: Lista de resultados de la investigación de huracanes históricos que tocaron tierra en las costas del Océano Atlántico

Datos Océano Pacífico

AÑO	CATEG
1537	2
1609	2
1616	2
1652	2
1702	1
1709	2
1713	2
1717	4
1721	1
1722	1
1723	3
1731	2
1732	1
1744	2
1759	2
1767	2
1785	1
1787	1
1794	1
1810	3
1813	1
1827	1
1828	2
1831	2
1840	3
1848	2
1850	1
1856	1
1857	2
1862	2
1868	4
1870	2
1872	2
1873	1
1880	2
1881	2
1882	2
1883	2
1885	1
1887	1
1894	1
1895	4
1896	2
1897	2
1900	3
1904	3
1907	3
1909	4
1911	2
1918	3
1927	1
1929	1
1931	1
1934	1
1939	1
1941	3
1943	1
1948	1

- Desastres Agrícolas
- Archivo Histórico
- F. Clavijero
- E. Villanueva

Figura 4.2: Lista de resultados de la investigación de huracanes históricos que tocaron tierra en las costas del Océano Pacífico

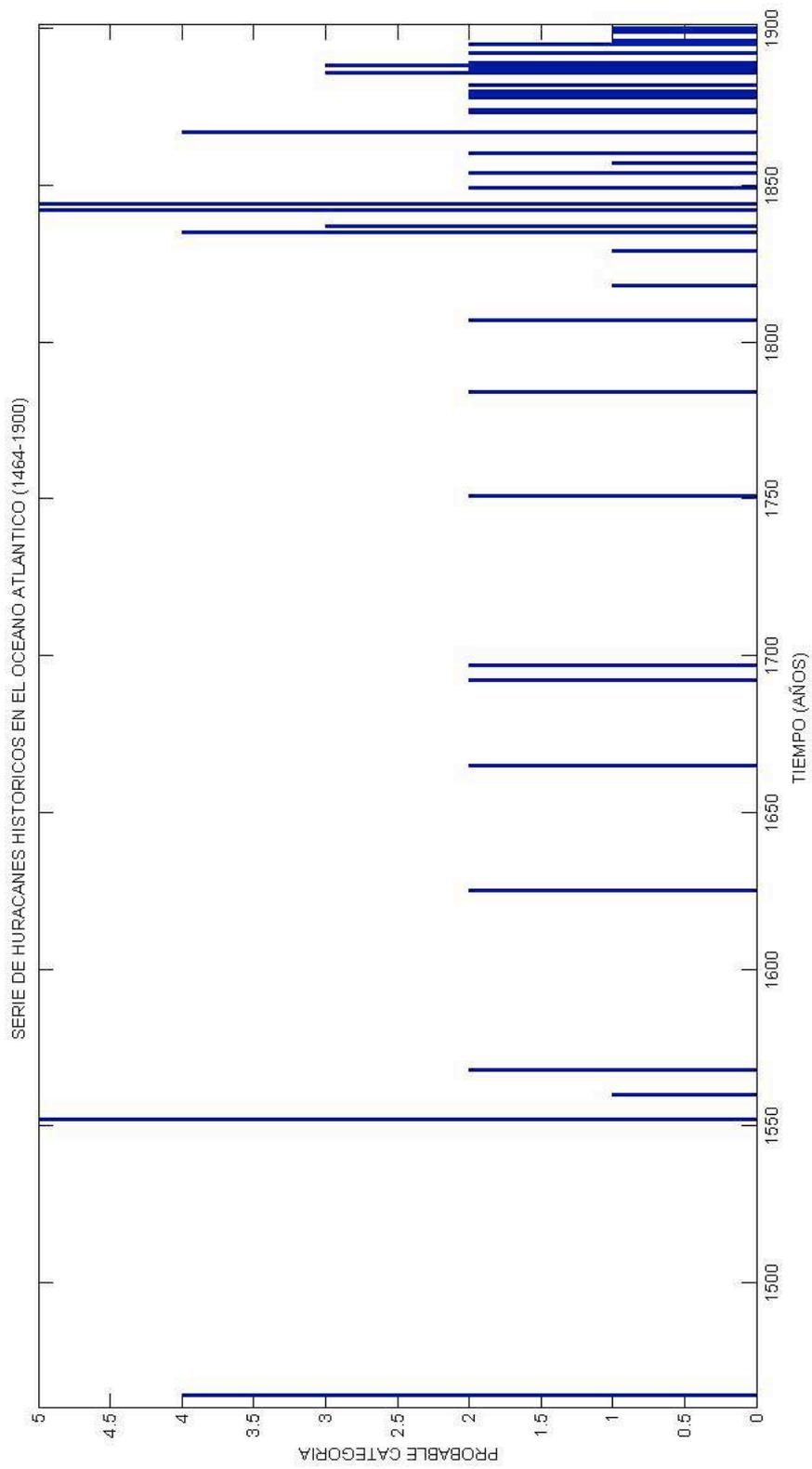


Figura 4.3: Gráfica de los datos obtenidos de huracanes que tocaron tierra en las costas del Océano Atlántico

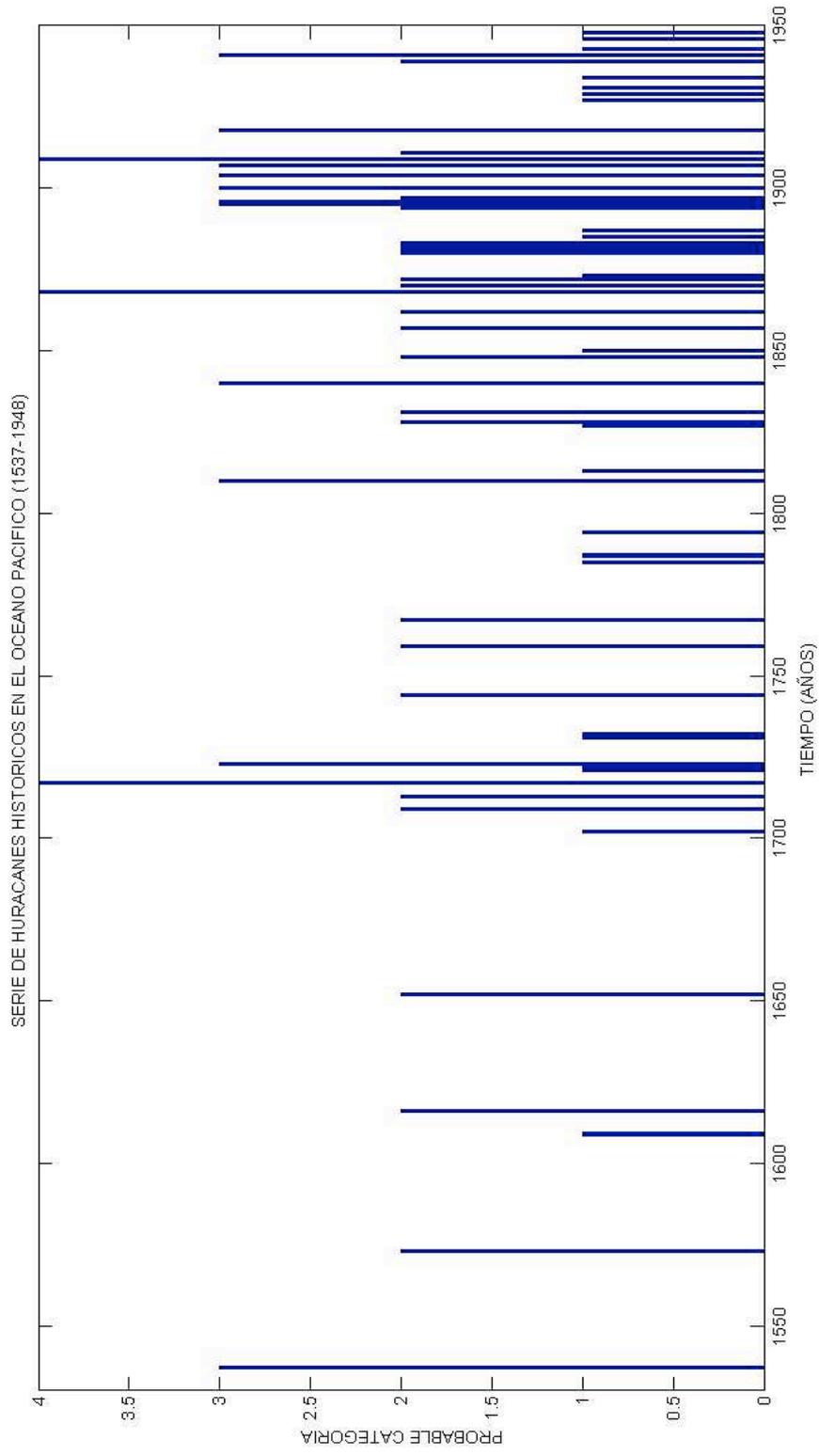


Figura 4.4: Gráfica de los datos obtenidos de huracanes que tocaron tierra en las costas del Océano Pacífico

Capítulo 5

Análisis, Resultados y Discusión

5.1. Análisis de Ondeletas

Una vez obtenidas las series de huracanes se procedió a realizar un análisis de ondeletas.

Las ondeletas son funciones matemáticas que cortan los datos de interés en diferentes componentes de frecuencia, estudiando cada componente por separado con una resolución apropiada para su escala y de esta manera se pueda tener más información sobre las diferentes componetes en la frecuencia. Para cortar la señal se utiliza una ventana completamente escalable que se mueve a lo largo de la señal y para cada posición donde se calcula el espectro. Este proceso se repite varias veces con una ventana ligeramente más larga o más corta para cada nuevo ciclo. Al final, el resultado será una colección de representaciones tiempo-frecuencia de la señal, todas con diferentes resoluciones (Valens, 2004). De esta manera se obtienen todas las periodicidades de la serie de datos manejados en este trabajo. Una explicación más detallada de este análisis se encuentra en el apéndice A. El paquete que se utilizó, fue desarrollado por investigadores del Laboratorio Oceanográfico Proudman en el Reino Unido. Es una rutina programada para utilizarse en Matlab, la cual obtiene la periodicidad de una serie de tiempo. Este paquete se descargó del sitio de internet: <http://www.pol.ac.uk/home/research/waveletcoherence/>, copyright (C) 2002-2004, Aslak Grinsted.

La serie de datos de huracanes fue dividida en huracanes históricos hasta 1900 y en recientes de 1901 al 2007. Los resultados se resumen en la tabla 5.1. Las Figuras 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, que se encuentran al final del capítulo, muestran éste análisis para cada serie de tiempo de huracanes históricos y modernos para los Océanos Atlántico y Pacífico respectivamente. En cada figura, en la parte superior se muestra la serie de tiempo de huracanes, en la parte inferior se encuentra el cono de influencia, donde se muestra el análisis de ondeletas en el tiempo y a la derecha se encuentra la gráfica del espectro global. Lo que está por arriba de la línea punteada de ruido rojo, tiene el 95 % de confiabilidad. El ruido rojo es un espectro de comparación que se utiliza para determinar el nivel de significancia de los resultados.

5.2. Resultados

5.2.1. Océano Atlántico

Para el Océano Atlántico, el espectro de Ondeletas se muestra en las Figuras 5.1 y 5.2. En la Figura 5.1, se representa el análisis realizado para huracanes históricos que tocaron tierra en las costas de México de 1464 a 1900. En la gráfica del espectro global, los picos que se encuentran sobre la línea de ruido rojo tienen el 75 % de confiabilidad. El primero tiene un valor máximo en $1 \pm 0,5$ años, y el siguiente en 7 ± 2 años. Los otros picos como están muy por debajo del nivel de confianza, no se tomaron en cuenta.

La Figura 5.2, muestra la serie de huracanes que tocaron tierra de 1901 a 2007. Las periodicidades que se encontraron con el 95 % de confiabilidad son: $2 \pm 1,5$ años y 6 ± 1 año.

5.2.2. Océano Pacífico

Las Figuras 5.3 y 5.4, corresponden al espectro de Ondeletas de los huracanes que tocaron tierra en las costas del Océano Pacífico mexicano. La serie histórica comprende el período de 1537 a 1900. En la Figura 5.3, las periodicidades que muestra la gráfica del espectro global son: 1.5 ± 1 año, $5 \pm 1,5$ años, con el 95 % de nivel de confianza y $7 \pm 1,5$ años ligeramente por debajo del 95 % de confiabilidad. En el 80 u 85 % de confianza se encuentra una periodicidad de 13 ± 4 años. En la Figura 5.4 se muestra el análisis para la serie de huracanes recientes en el período de 1901 a 2007. Las periodicidades que se encontraron en el nivel de confianza son de $1 \pm 0,5$ años y 5 ± 1 años. Un poco por debajo del nivel de confianza se encuentra una de 10 ± 2 años.

Tabla 5.1: Principales periodicidades de huracanes

	Periodicidades de huracanes :
Océano Atlántico Históricos	$1 \pm 0,5$ años, 7 ± 2 años.
Océano Atlántico Recientes	$2 \pm 1,5$ años y 6 ± 1 años.
Océano Pacífico Históricos	1.5 ± 1 año, $5 \pm 1,5$ años, $7 \pm 1,5$ años, 13 ± 4 años.
Océano Pacífico Recientes	$1 \pm 0,5$ años, 5 ± 1 años, 10 ± 2 años.

5.3. Discusión

Las periodicidades de la Actividad Solar, que coinciden con las periodicidades obtenidas del análisis aplicado a la serie de huracanes, son: 3, 5.5, 7, 11 años. De esto, se puede observar que todas las que se encontraron para los huracanes en ambos océanos, tomando en cuenta las incertidumbres, coinciden con algunas de la Actividad Solar. La de 3 años está presente en el huracanes del Atlántico recientes. La de 5.5 años está presente en los cuatro tipos y podría ser un armónico de la de 11 años. La de 7 años está presente en las dos del Atlántico

y en los históricos del Pacífico. La de 11 años está presente solo para el Océano Pacífico con el 85 % de confianza.

El Océano Pacífico presenta más periodicidades que el Océano Atlántico. El número de huracanes registrados en el Pacífico es mayor que en el Atlántico. En el caso de los huracanes históricos, se encontraron 41 en el Atlántico y 45 en el Pacífico. En el caso de los huracanes modernos, se encontraron 45 en el Océano Atlántico y 74 en el Pacífico. Por lo tanto, el número total de huracanes que tocaron tierra en las costas del Atlántico mexicano son 86 y en las del Pacífico, 119.

Comparando las periodicidades de huracanes históricos con los modernos, se observa una tendencia en ambos océanos, de que los huracanes modernos se presenten más frecuentemente. Sin embargo, esto puede deberse a que para los huracanes modernos hay más facilidades de identificación que los históricos.

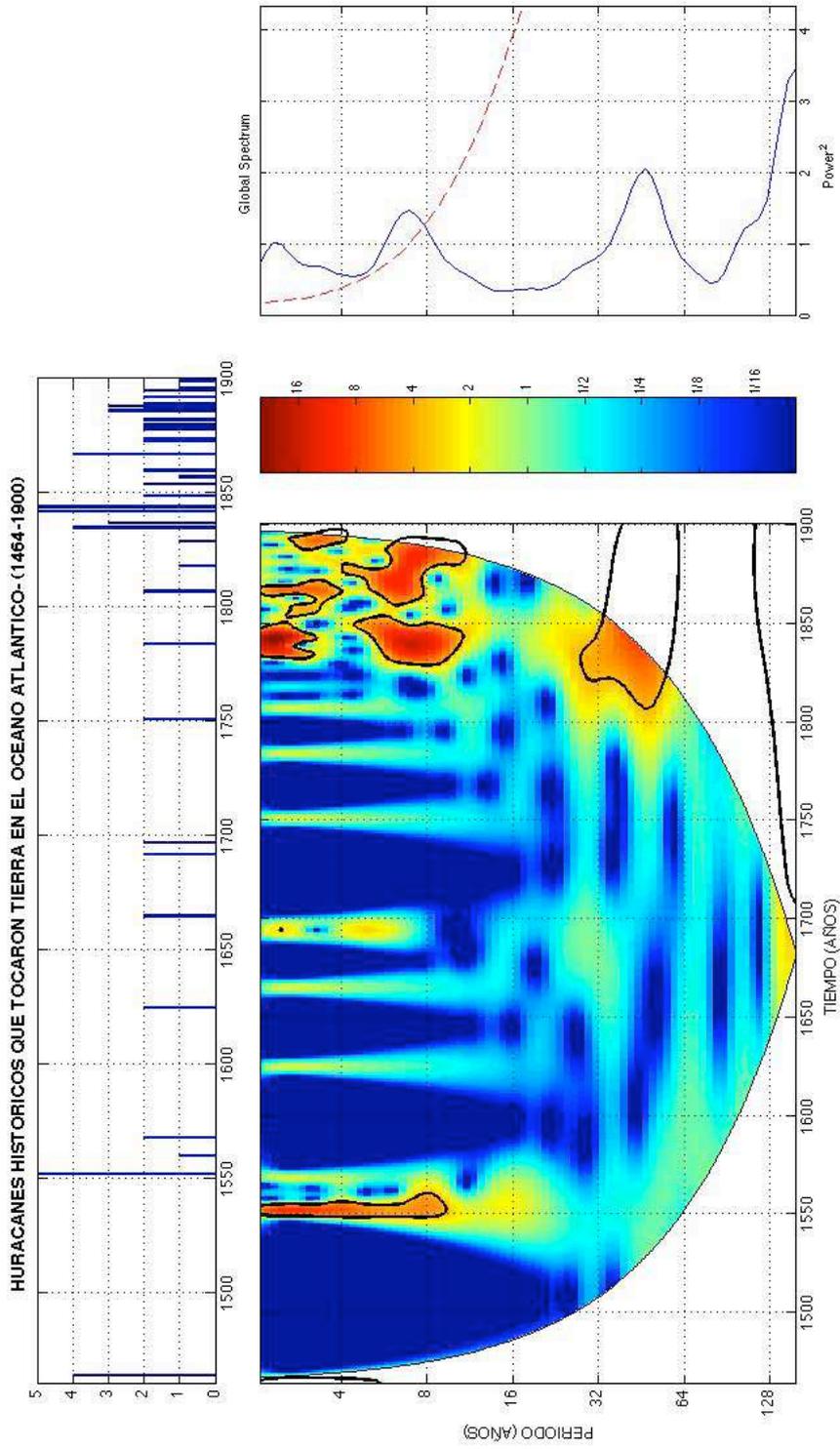


Figura 5.1: Espectro obtenido en el Análisis de Ondeletras para los huracanes históricos que tocaron tierra en el Océano Atlántico (1464-1900). La gráfica en la parte superior muestra los datos de influencia se observan las zonas en color rojo encerradas por la línea negra que representan las periodicidades de la serie con un 95 % de confianza. La gráfica en el lado derecho muestra el espectro global con las periodicidades, las que se encuentran por arriba de la línea punteada son las que globalmente representan el 95 % de confiabilidad.

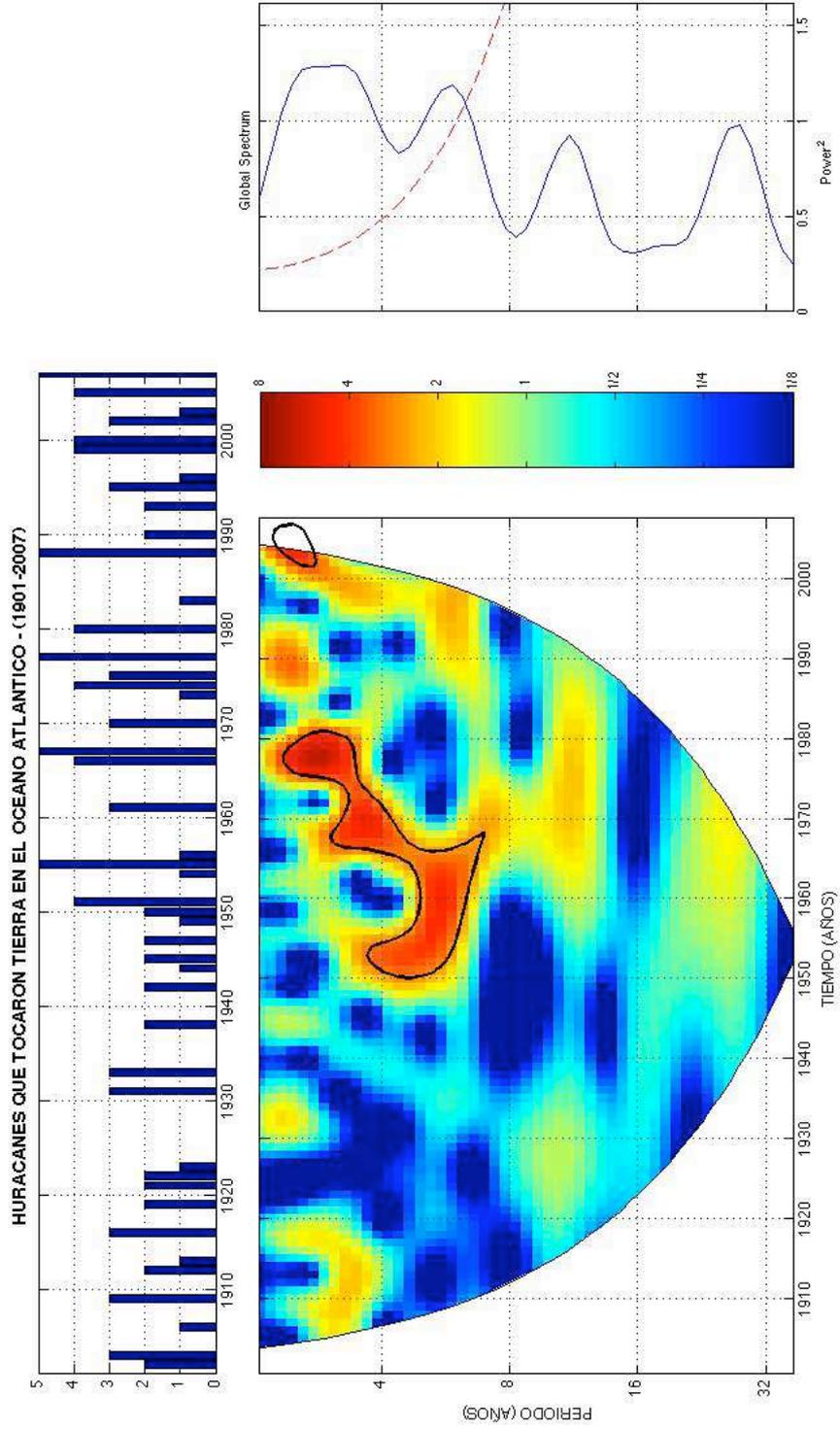


Figura 5.2: Espectro de Ondeleletas para huracanes recientes en el Océano Atlántico (1901-2007)

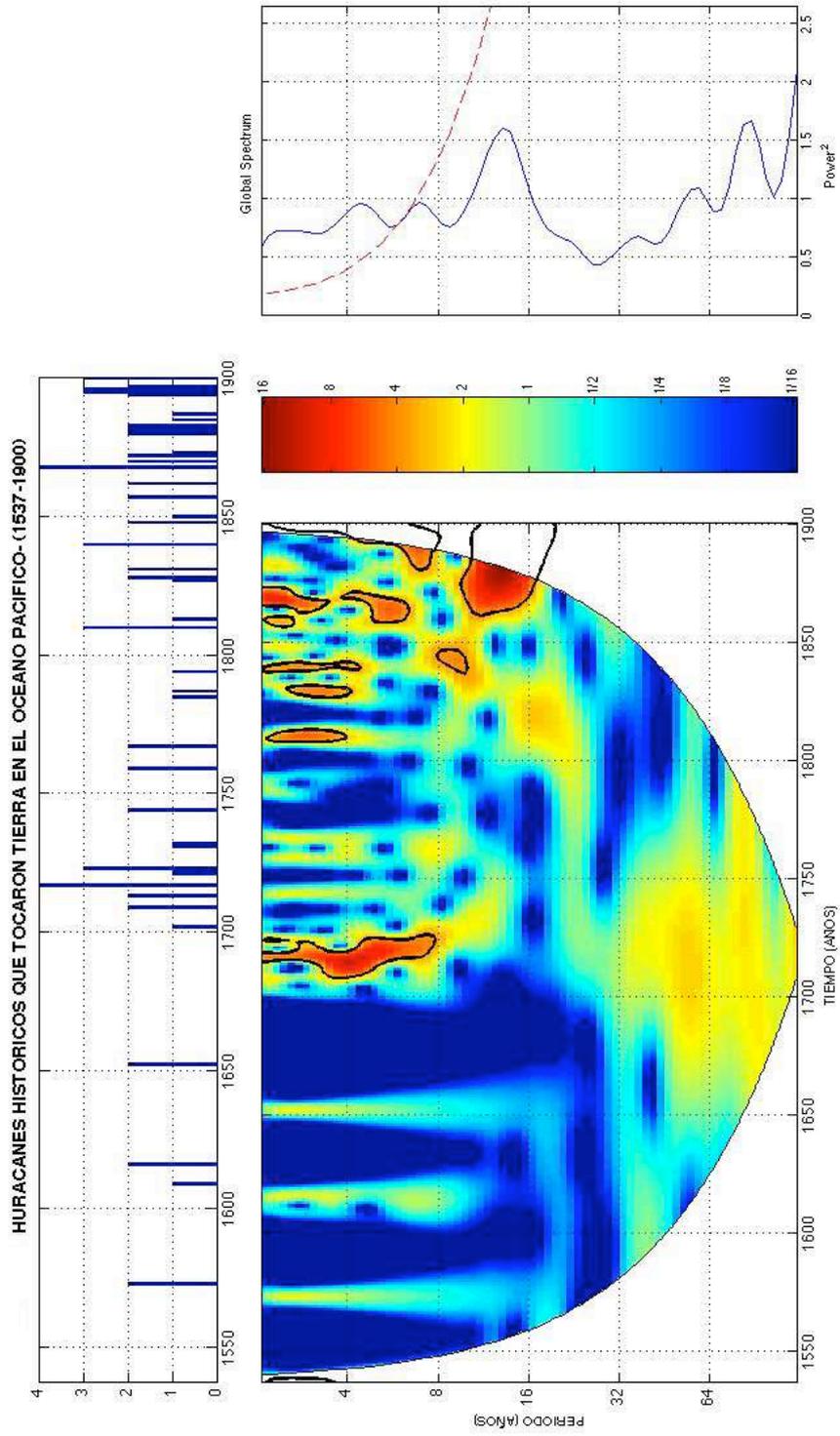


Figura 5.3: Espectro de Ondeletas para los huracanes históricos en el Océano Pacífico (1537-1900)

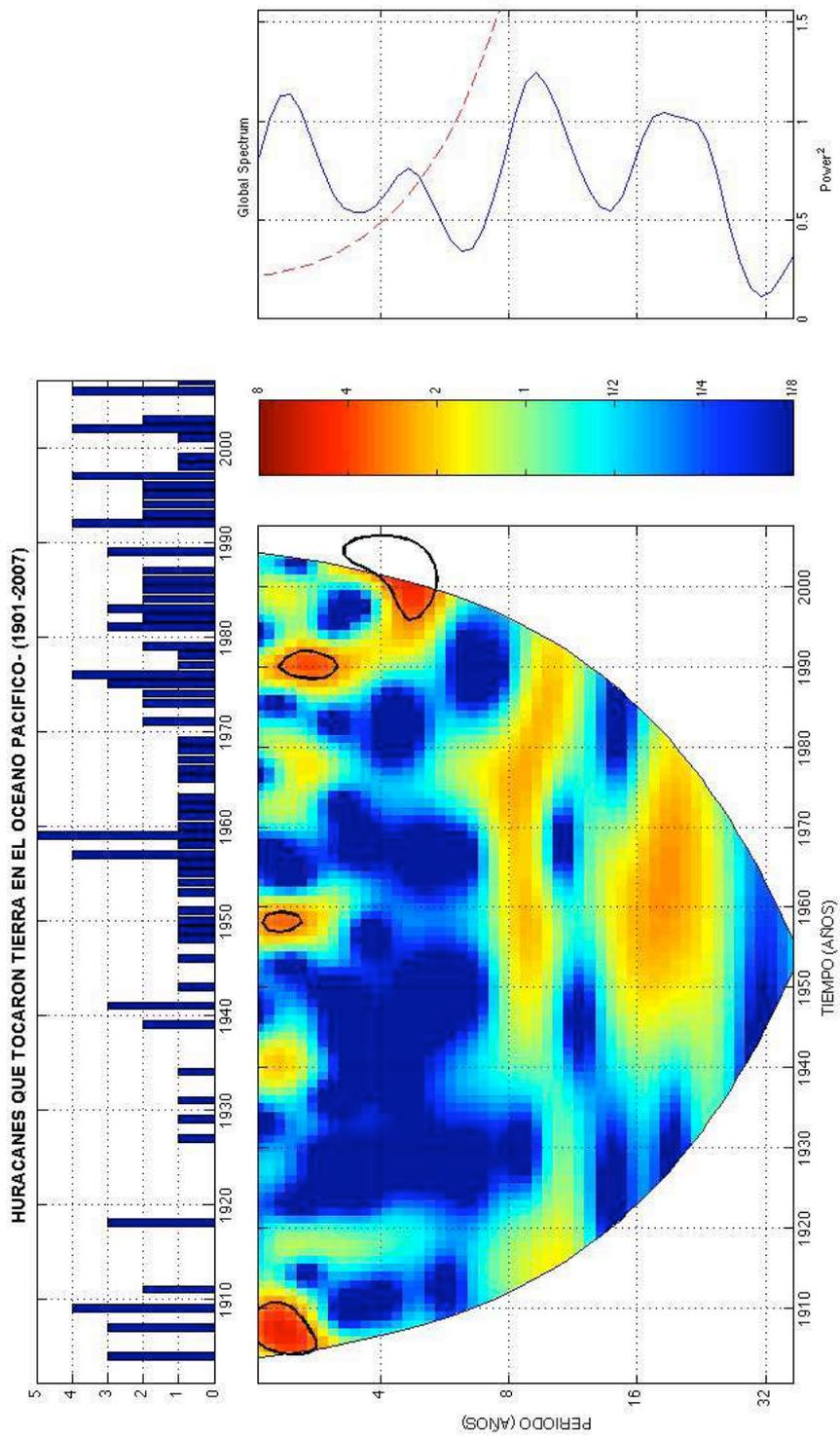


Figura 5.4: Espectro de Ondeletas para los huracanes recientes en el Océano Pacífico (1901-2007)

Capítulo 6

Conclusiones

- El análisis muestra, que el número de huracanes que han tocado tierra en las costas del Océano Pacífico, es mayor que en el Océano Atlántico. Este resultado, coincide con estudios previos [1].
- Las periodicidades encontradas, aun cuando coinciden con las de la actividad solar, no implican una relación causal.
- Es necesario tener una serie de datos aun más completa para poder corroborar los resultados. Esto es particularmente relevante para el Océano Pacífico, que es donde se requiere aun más información. Para realizar esto, se puede recurrir a la misma metodología de investigación de campo empleada para esta tesis.
- De confirmarse que tanto la actividad solar como la frecuencia de huracanes están relacionadas, es necesario proponer el, o los mecanismos que relacionen ambos fenómenos.
- Comparando las periodicidades de huracanes históricos con los modernos, se observa una tendencia en ambos océanos, de que los huracanes modernos se presenten más frecuentemente. Sin embargo, esto puede deberse a que para los huracanes modernos hay más facilidades de identificación que los históricos.

Apéndice A

El Análisis de Ondeletas (wavelet)

El método de ondeletas proporciona un análisis de potencia en frecuencia y tiempo, bastante aceptable para series de datos no estacionarias; esa es la razón, por la cual, no se puede emplear la transformada de Fourier; la transformada de Fourier por ventana, podría ser una opción, entonces se tendrían que dividir la señal en pequeños segmentos que puedan ser considerados estacionarios, la problemática es la anchura de la ventana, que solo puede ser la misma durante todo el intervalo de tiempo, de esta manera, una ventana estrecha proporciona buena resolución en el tiempo y pobre resolución en el dominio de la frecuencia, mientras que una ventana ancha tiene buena resolución en el dominio de la frecuencia y pobre resolución en el dominio del tiempo.

En resumen, se puede decir que el problema de la transformada de Fourier por ventana radica en la elección adecuada de la función ventana, la cual es única en todo el análisis. Encontrar esta función es fácil, si las frecuencias de la señal están bien separadas entre sí, entonces se puede sacrificar resolución en frecuencia y preferir una buena resolución temporal, en caso contrario, si la señal no presenta ésta característica, la elección de una buena ventana se complica.

El problema de la resolución tiempo-frecuencia, podría compararse al principio de incertidumbre de Heisenberg, debido a que no se puede tener buena resolución en temporal y en frecuencia al mismo tiempo. Sin embargo, es posible analizar cualquier señal empleando una técnica alternativa llamada análisis de multiresolución, la cual consiste en analizar la señal para diferentes frecuencias con diferentes resoluciones. Este análisis es el que emplea la transformada de ondeletas.

El método de ondeletas proporciona buena resolución temporal y pobre resolución en frecuencia para las altas frecuencias y buena resolución en frecuencia y baja en tiempo para las bajas frecuencias. Este tratamiento es ideal para analizar datos geofísicos, debido a que se tienen componentes de alta frecuencia de corta duración y componentes de baja frecuencia de larga duración.

A.1. Antecedentes

El análisis de ondeletas se ha convertido en una herramienta muy común, para localizar variaciones de potencia en una serie de tiempo, mediante la descomposición de una serie

de tiempo dentro del espacio frecuencia-tiempo, la cual es capaz de determinar, los modos dominantes de variabilidad y como estos modos varían en el tiempo. La transformada ondeleta se ha utilizado en numerosos estudios de geofísica, incluyendo la convección tropical, los frentes fríos atmosféricos, la temperatura central de Inglaterra, la dispersión de ondas oceánicas, y estructuras coherentes en flujos turbulentos.

Desafortunadamente, muchos estudios que emplean el análisis de ondeletas han sufrido de una aparente falta de resultados cuantitativos. La transformada ondeleta es considerada por muchos, como una interesante y divertida forma de producir imágenes coloridas, con resultados puramente cualitativos. Este concepto erróneo, es en cierto por el análisis de ondeletas en sí, ya que esta implica una transformación de una serie de tiempo unidimensional (o espectro de frecuencia), a una imagen difusa bidimensional de frecuencia-tiempo. Esta prolijidad se ha visto agravada por el uso arbitrario de normalizaciones, y la falta de pruebas estadísticas.

A.2. Generalidades de la transformada Ondeleta

La transformada ondeleta se emplea para analizar series de tiempo que contienen potencias no estacionarias con diferentes frecuencias. En el análisis espectral de ondeleta se asume que se tiene una serie de tiempo, x_n , con un espaciado de tiempo δt y $n = 0 \dots N - 1$, además uno tiene una función ondeleta madre, $\Psi_0(\eta)$, que depende de un parámetro η que no tiene dimensiones en tiempo. Para ser aceptable como una ondeleta, esta función debe tener promedio cero y ser localizada en ambos espacios de tiempo y frecuencia. Lo anterior significa lo siguiente:

1. El valor medio de $\Psi_0(\eta)$ es igual a cero.
2. La dispersión de $\Psi_0(\eta)$ es igual a cero.
3. Todos los momentos $\Psi_0(\eta) > 2$ deben ser igual a cero.
4. $\Psi_0(\eta)$ debe converger rápidamente a cero a medida que se aleja del origen.

A.2.1. La Función Ondeleta

El término "Función Madre" se ocupa para hacer referencia tanto a funciones de ondeletas ortogonales como no ortogonales. El término "Base de Ondeletas" se refiere solo a un conjunto de funciones ortogonales. El uso de una base ortogonal implica el uso de transformadas de ondeletas discretas, mientras que una función de ondeletas no ortogonal puede ser usada tanto por la transformada ondeleta discreta como por una continua. La transformada de ondeletas discreta se utiliza para la codificación de señales, mientras que la transformada continua se utiliza para el análisis de señales. Para seleccionar una función ondeleta madre $\Psi_0(\eta)$ hay que considerar ciertos factores (para mayor información ver referencias de [1]).

1. Ortogonal o no-ortogonal. En el análisis de ondeletas no-ortogonal, el número de convoluciones en cada escala es proporcional al ancho de la base ondeleta en esa escala. Esto produce un espectro de ondeleta que contiene bloques discretos de la potencia ondeleta y es útil para el procesamiento de señales mientras dé la representación más

compacta de la señal. Desafortunadamente, para el análisis de la serie de tiempo, un cambio no periódico en la serie de tiempo produce un espectro de ondeleta diferente. Asimismo, un análisis no-ortogonal, es altamente redundante a grandes escalas, donde el espectro de ondeleta en tiempos adyacentes es altamente correlacionado. La transformada no-ortogonal es útil para el análisis de series de tiempo, donde se espera suavizar variaciones continuas en la amplitud ondeleta.

2. Real o Compleja. Una función de ondeleta compleja devolverá información acerca de la amplitud y fase, adaptándose mejor para la captura de una conducta oscilatoria. Una función de ondeleta real devuelve solo una componente y puede ser usada para aislar picos o discontinuidades.
3. Anchura. El ancho de la función ondeleta se define como el tiempo de doblamiento de la amplitud ondeleta. La resolución de la función ondeleta se determina por el balance entre el ancho en el espacio real y el ancho en el espacio de Fourier. Una función angosta en tiempo, tendrá buena resolución temporal pero poca resolución en frecuencia, mientras que una función amplia tendrá poca resolución en temporal, mientras que buena resolución en frecuencia.
4. Forma. La función ondeleta debe reflejar el tipo de características presentes en la serie de tiempo. Para una serie de tiempo con saltos de corte o escalones, uno seleccionaría una función como Harr, mientras que para una serie de tiempo lisa y cambiante, uno seleccionaría una función lisa tal como un coseno amortiguado.

Las funciones ondeletas no-ortogonales más conocidas son: Paul y Morlet, ambas complejas, mientras que la DOG es real. Otros tipos de wavelet existen, tal como la Haar y Daubechies, las cuales son usadas para análisis de ondeletas ortogonales. Para más ejemplos de bases y funciones de Ondeletas, ver referencias de [1].

A.2.2. La Transformada Ondeleta Continua

La transformada ondeleta continua de una señal discreta x_n se define como la convolución de x_n con una versión escalada y trasladada de $\Psi_0(\eta)$:

$$W_n(s) = \sum_{n'=0}^{N-1} X_n \Psi^* \left[\frac{(n' - n)\delta t}{s} \right] \quad (\text{A.1})$$

donde (*) indica el conjugado complejo. Al variar la escala ondeleta s y trasladando a lo largo del índice de tiempo n , uno puede construir una imagen mostrando tanto la amplitud de cualquier característica de la escala y cómo ésta amplitud varía con el tiempo. El subíndice 0 en significa que la función ha sido normalizada.

Por el teorema de convolución, la transformada ondeleta es la transformada inversa de Fourier del producto:

$$W_n(s) = \sum_{k=0}^{N-1} \hat{X}_k \hat{\Psi}^*(s\omega_k) e^{i\omega_k n \delta t} \quad (\text{A.2})$$

donde la frecuencia angular es definida como:

$$\omega_k = \begin{cases} \frac{2\pi k}{N\delta t} & : k \leq \frac{N}{2} \\ -\frac{2\pi k}{N\delta t} & : k > \frac{N}{2} \end{cases} \quad (\text{A.3})$$

Usando (2) y la transformada de Fourier, se puede calcular la transformada ondeleta continua (para obtener s) en todo n de manera simultánea y eficiente

Normalización

La función ondeleta en cada escala s está normalizada para tener energía unitaria, y de esta manera pueda ser comparada con distintas series de tiempo:

$$\hat{\Psi}(sw_k) = \left(\frac{2\pi s}{\delta t}\right)^{1/2} \hat{\Psi}_0(sw_k) \quad (\text{A.4})$$

Espectro de Potencia

La función Ondeleta $\Psi_0(\eta)$ es en general compleja, por lo que la transformada ondeleta $W_n(s)$ es también compleja.

La transformada ondeleta se puede dividir en la parte real $R(W_n(s))$ y parte imaginaria, $I(W_n(s))$, en amplitud, $|W_n(s)|$ o en fase $\tan^{-1}[I(W_n(s))/R(W_n(s))]$. El espectro de potencia ondeleta es definido como $|W_n(s)|^2$. Para funciones Ondeletas reales como la DOG (derivadas de una gaussiana) la parte imaginaria es cero y la fase no está definida.

Para hacer más fácil de comparar diferentes espectros de potencia de ondeletas, es deseable encontrar una normalización común para el espectro ondeleta. Empleando la normalización (4), y usando (2), el valor esperado para $|W_n(s)|^2$ es igual a N veces el valor esperado para $|\hat{x}_k|^2$. Para una serie de tiempo con ruido blanco, este valor esperado es σ^2/N , donde σ^2 es la varianza. Entonces, para un proceso de ruido blanco, el valor esperado para la transformada ondeleta es $|W_n(s)|^2 = \sigma^2$ en todo n y s .

Cono de influencia

Ya que se trata con series de longitud de tiempo finita, habrá errores al principio y al final del espectro de potencia ondeleta, dado que la transformada de Fourier en (2) asume que los datos son cíclicos. Una solución es rellenar el final de la serie de tiempo con ceros para llevar la longitud total N a la siguiente potencia mas alta de dos, limitando los efectos de borde. Para una serie cíclica, no hay necesidad de llenar con ceros y no hay cono de influencia (COI).

Rellenar con ceros introduce discontinuidades en los puntos finales, mientras uno se acerca a escalas más grandes, decrece la amplitud cercana a los bordes, así como muchos ceros entren al análisis. El COI es la región del espectro ondeleta en el cual los efectos de borde llegan a ser importantes y se define aquí el tiempo de doblamiento para la autocorrelación de la potencia ondeleta en cada escala.

El tamaño del COI en cada escala también da una medida del tiempo de decorrelación para un solo pico en la serie de tiempo. Al comparar el ancho de un pico en el espectro de potencia ondeleta con este tiempo de decorrelación, uno puede distinguir entre un pico en

la información (posiblemente debido a ruido aleatorio) y una componente armónica en la frecuencia de Fourier equivalente.

Espectro Teórico y Niveles de Significancia

Para determinar los niveles de significancia para el espectro ondeleta, es necesario un espectro de comparación. Entonces se asume que las diferentes realizaciones del proceso geofísico serán aleatoriamente distribuidas entorno a este promedio o espectro de comparación y el espectro actual puede ser comparado contra esta distribución. Para muchos fenómenos geofísicos, un espectro apropiado es tanto ruido blanco (con un espectro de Fourier plano) como el ruido rojo (incrementando la potencia con la frecuencia decreciente).

Espectro de fourier de ruido rojo

Muchas series de tiempo geofísicas pueden ser modeladas tanto por ruido rojo (Ruido Markoviano) como ruido blanco. Un simple modelo para el ruido rojo es el proceso autoregresivo de primer orden (lag-1):

$$x_n = \alpha x_{n-1} + z_n \quad (\text{A.5})$$

donde α es la autocorrelacion lag-1 asumida, $x_0 = 0$, y z_n es obtenida a partir del ruido blanco gaussiano de (5), después de la normalización, es

$$P_k = \frac{1 - \alpha^2}{1 + \alpha^2 - 2\alpha \cos\left(\frac{2\pi k}{N}\right)} \quad (\text{A.6})$$

donde $k = 0 \dots N/2$ es el índice de frecuencia. Por lo tanto, al seleccionar una apropiada autocorrelación lag-1, uno puede usar (6) para modelar el espectro de ruido. Para $\alpha = 0$ en (6) obtenemos un espectro de ruido blanco.

Niveles de Significancia

La hipótesis nula para el espectro de potencia ondeleta se define como sigue: se asume que la serie de tiempo tiene un espectro de potencia promedio, posiblemente obtenido por (6); si un pico en el espectro de potencia ondeleta está significativamente arriba de este espectro anterior, entonces se puede asumir que es una característica verdadera con un cierto porcentaje de confianza. Para definiciones, *nivel de significancia a un 5 %* es equivalente a *95 % de nivel de confianza* e implica una prueba contra un cierto nivel anterior, mientras que *el intervalo de confianza de 95 %* se refiere al rango de confianza de un valor dado.

Espectro Global Ondeleta

Un corte vertical en el espectro ondeleta es una medida del espectro local, entonces el espectro ondeleta de tiempo promediado sobre un cierto periodo es:

$$\bar{W}_n^2(s) = \frac{1}{n_a} \sum_{n=n_1}^{n_2} |W_n(s)|^2 \quad (\text{A.7})$$

donde el índice n es asignado arbitrariamente al punto medio de n_1 y n_2 y $n_a = n_2 - n_1 + 1$, este es el número de puntos que están en el promedio. Al repetir (7) en cada paso de tiempo, uno crea un gráfico de ondeleta suavizado por una cierta ventana.

El caso extremo de (8) es cuando el promedio está sobre todo el espectro local ondeleta, lo cual da el espectro global ondeleta.

$$\bar{W}_n^2(s) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} |W_n(s)|^2 \quad (\text{A.8})$$

Gráfico

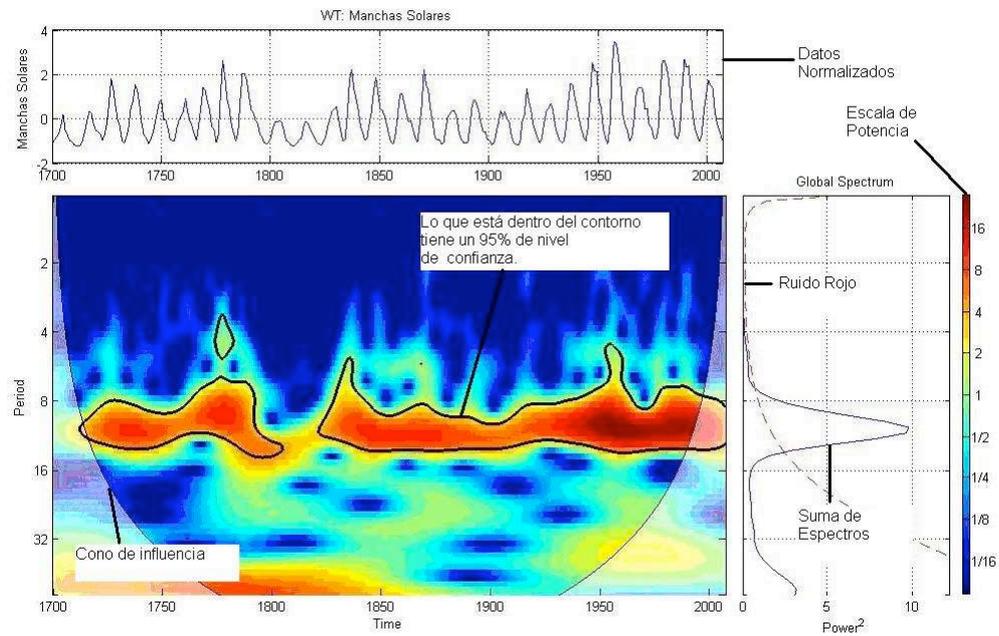


Figura A.1: Descripción de un gráfico resultante de un análisis de ondaleta

Bibliografía

- [1] Torrence C. and Compo G.P., A Practical Guide to Wavelet Analysis, Bulletin of the American Meteorological Society, Vol. 79. No. 1, 1998, pp. 61-78.

Apéndice B

Catálogo de Datos de Huracanes

Datos del Catálogo Histórico de Desastres Agrícolas en México, tomos I y II de Garfía Acosta, V. y otros.
Vol. I: 79, 96, 108-110, 114.

FECHA	LUGAR	DESCRIPCION	Daños principales	PROBABLE CATEGORIA
1464	Yucatán	Una noche, por invierno, vino un aire...y haciéndose huracán de cuatro vientos...derribó las casas...y tan sin árboles quedó ... mirando la tierra desde algunas partes altas, parece que está cortada con una tijera	Daños a construcciones	4
1537	Tlapa, Guerrero	Siendo misionero en Tlapa y Chilapa("Tierra Caliente"), fray Juan Bautista Moya fue protagonista de una tormenta prodigiosa: "Quiso el Señor confirmar la predicación de su misionero con hecho prodigiosos, a fin que hiciese mayor fruto entre aquellos indígenas algo refractarios a la nueva religión. Fue primero un milagro en que mostró su dominio sobre la naturaleza. Una tempestad aterradora se desató sobre el poblado de Tlapa. El huracán azotaba los campos y las cabañas como un látigo gigantesco; los árboles caían arrancados de cuajo y arrastrados por la furia del vendaval; el granizo destrozaba sin piedad los sembrados de maíz... los cielos llovían rayos por gotas de agua; para mayor espanto, los terremotos se sucedían por pequeños intervalos"	Pérdida de cosechas, Árboles arrancados	2, 3
1552	Veracruz	"Corría sin contratiempos el año del Señor de 1552, cuando en la noche viernes de dicho año, comenzó a soplar un fuerte viento del norte, tan fuerte e impetuoso que ya al amanecer era huracanado; arrancaba de cuajo los árboles y acababa con los sembradíos y sementeras de los alrededores de la ciudad. Torrenciales aguaceros comenzaron a caer desde la mañana del sábado lo cual determinó que el río creciera extraordinariamente de nivel y se derramara con estrépito y fuerza sobre la ciudad, cuyas calles y plazas se anegaron, muchas casas y bodegas vinieron por tierra y las mercaderías que tenían en depósito fueron arrastradas por la acuática corriente."	Inundaciones, daño a cosechas, daño en construcciones, árboles derribados	2, 3
1552	Pánuco, Veracruz	"Llegué a esta provincia de Pánuco que los naturales padecen tan gran hambre, que por no tener maíz comen raíces, porque además de los excesivos tributos que les llevan, sepa vuestra alteza que los huracanes que este año y el pasado ha habido le ha hecho muy gran daño y llevado casi todas sus sementeras"	Daño a cosechas Nota: Por lo menos en 1552 hubo más de un huracán en la región y se infiere que en 1551 también hubo huracanes.	1
1552	Yucatán, Veracruz	"Vino un huracán el 1 de septiembre, en toda aquella costa y en la de Veracruz que... derribó infinidad de árboles y acotó y echó por tierra todos los maíces, de suerte que hubo necesidad de tomarse a sembrar aquel año"	Daño a cosechas, derribo de árboles	
1552	Veracruz	Carta enviada por el escribano mayor de la real audiencia Antonio	Inundaciones, pérdidas humanas	4 o 5

		<p>Turcios el 5 de noviembre con las declaraciones hechas por don García de Escalante sobre la tormenta y el huracán del 2 de septiembre: "Que por cuanto desde dos hasta cuatro deste presente año de 1552 años hubo en el puerto de San Juan de Ulúa y en esta ciudad muy grandísima tormenta e huracán en que perdió en el puerto de San Juan de Ulúa cinco naos y las barcas del descargo y otras carabelas de Tabasco y derrocó la parte de casas de la isla y la destrozó e hizo mucho daño y se ahogaron ciertas personas y así mismo derrocó las casas y atarazas que se hacían en tierra firme para el descargo de navíos. Y en esta ciudad salió el río en tanta cantidad que anegó toda esta ciudad que derrocó muchas casas y bodegas y se perdieron muchas haciendas y mercaderes y vecinos e hizo mucho daño en mucha cantidad en suma de pesos y fue tan grande la dicha tormenta e huracán y salida del río que en memoria de gentes no ha visto en mucho tiempo a esta parte. Y porque al servicio de Su majestad y bien de esta tierra conviene que el dicho gran destroz y perdimento que la dicha tormenta e huracán y salida del río hizo para que sea servido proveer en ello lo que más convenga a su real servicio."</p>	<p>humanas, Daño a construcciones, daño a la navegación. NOTA: En cada una de las referencias se habla del mismo huracán del 2 de septiembre. Es el mismo que el anterior</p>	
1561	Yucatán	<p>Los testigos indígenas presentados en el juicio de Maní contra indios idólatras declararon que poco más o menos, que fue cuando el huracán, vieron como se hicieron sacrificios de jóvenes en los pueblos de Sotuta, en el pueblo de Kanchunup, Mopilán, Sahcaba, Usil y Tibolón. Los sacerdotes de estos pueblos, señalaron la posible llegada de una gran tempestad y ofrecieron sacrificios a sus dioses ante la inminente catástrofe, para que se aplacasen y no hubiese mortandad.</p>	No hace referencia	6
1568	Yucatán	<p>Pág. 116 "En el verano de 1568, la flota de Hawkins, después de cambiar sus esclavos negros y telas por oro y perlas en Venezuela, enfiló hacia el estrecho de Yucatán pues se avecinaba la estación peligrosa, pero los ciclones fueron precoces en ese septiembre y durante cuatro días sopló una tormenta sin piedad. Las naves comenzaron a hacer agua amenazando con volverse astillas."</p>	<p>Tormenta por 4 días. Daño a la navegación</p>	2
?1573	Colima	<p>Pág. 117 "El año de 73, hubo en Colima un huracán el día 14 de noviembre que duró 3 horas; y al mismo tiempo tembló la tierra, de suerte que cayeron muchas casas y las iglesias"</p>	El daño fue originado por el terremoto	
1609	Huaynamota, Jalisco	<p>"En el año del Señor de 1609 se presentó un huracán que arrancó la cubierta de la iglesia y arruinó muchas casas del pueblo" Pág. 151</p>	Daños a construcciones	2
1616	Xicayan, Guerrero.	<p>Pág. 155 "El 27 de julio el virrey marqués de Guadalcázar mandó al contador</p>	Daño a construcciones, inundaciones, daño a las	2

		Gaspar Bello de Acuña informar sobre el estado de caminos: "Es imposible enviar indios a la dicha fábrica, por haber 11 ríos caudalosos y no poderse pasar en ninguna manera, me pidió mandase reservar a los dichos indios del dicho servicio así por las razones dichas como por estar perdidos con el huracán que les destruyó sus casas y tierras y por la ida al dicho puerto que dejaron de sembrar y perecen de hambre, por tanto, por el presente mando al contador Gaspar Bello de Acuña, justicia mayor y cabo del dicho puerto que constándote que hay ríos que cómodamente no se puedan pasar por el camino que estos indios han de hacer desde la dicha provincia de Xicayan a él, cómo se alivie la obligación de su servicio lo que fuere posible conforme al estado de la obra de las dichas fortificaciones tuviere."	cosechas	
1619	Puebla y Tlaxcala	Granizada, vientos fuertes. Siendo gobernador don Gregorio Nacianceno, granizó mucho y hubo huracán Pág. 157	No especifica NOTA: Este reporte no lo tomaré en cuenta ya que por la región no se puede considerar huracán.	--
1621	Ixmiquilpan, Hidalgo	"Habiendo recio huracán arruinando la mitad del techo de la iglesia y concurrido una tropa de vecinos a examinar el estrago, vieron por la reja de la puerta, que la sagrada imagen desprendida de la cruz caminaba por el aire y detrás de ella como a 12 pasos, la santa cruz... Entre tanto por la suma esterilidad de aquel año, determinó el vicario sacar en procesión una imagen...Pág. 158	Daño a construcciones NOTA: Este reporte no lo tomaré en cuenta ya que por la región no se puede considerar huracán. No menciona la presencia de lluvia.	--
1622	Puebla	"En el mismo año hubo un gran huracán de aire que tumbó árboles en Citlaltepec y Malpaís. A continuación en el mismo año hubo una grande enfermedad... "p.159	árboles derribados NOTA: Este reporte no lo tomaré en cuenta ya que por la región no se puede considerar huracán. Solo menciona fuertes vientos.	--
1625	Veracruz	"Semejante desgracia acaeció a uno de nuestros buques la noche siguiente de nuestro desembarco y fue grande fortuna para nosotros el no estar ya abordado, porque el huracán fue tan recio y tan grande la tempestad, que el viento del norte rompió los cables del navío y lo echó a alta mar. Aquella noche se doblaron las vigias al bordo de nuestro buque, y el piloto no quiso abandonar la guardia que hizo con mayor cuidado que nos había hecho hasta entonces. Sin embargo nuestros religiosos se retiraron a descansar como de ordinario, pero su reposo no duró mucho tiempo porque, antes de la medio noche, se cargó el viento al norte, y fue tal su ímpetu que arrancó un grito general y repentin, y causó tumulto general en toda la flota." p 161	Vientos fuertes, daño a la navegación.	2
1652	San Cristóbal de las Casas, Chiapas	"Entre las funciones extraordinarias habidas en tiempos pasado destacan las rogativas en ocasión de las calamidades públicas, como en las pestes e inundaciones, como la que ocurrió en este año, considerada como una de las más terribles. En	Daño a Construcciones, inundaciones	2

		esta inundación las aguas llegaron hasta una cuadra de catedral y cayeron los templos de San Diego, El Calvario e inundó completamente el barrio de Mexicanos-Tlaxcala, derrumbó la espadaña de La Encarnación, deterioró la torre de las campanas de catedral, de suerte que fue menester derribarla y causó mil perjuicios más. El alcalde trabajó entonces con grande energía por el remedio de tamaña catástrofe, en canoas transportó a los inundados a un lugar seguro, procuró que no escasearan los víveres, que los naturales fueran exentos por dos años del pago de tributos, para que repusieran sus pérdidas, que se rehiciera el barrio de San Diego, las aguas llegaron entonces a 150 metros de la plaza mayor." p184, "Cuando la gran inundación ocurrió en 1652, en ciudad Real un huracán se abatió sobre el valle de San Cristóbal y causó enormes estragos en varias regiones de Chiapas; esta ciudad parecía destinada a desaparecer bajo las aguas, los sumideros quedaron totalmente obstruidos." p. 185		
1665	Veracruz	"A mediados del corriente (mes de octubre) hubo en la Veracruz tan gran tempestad, que sumergió un navío de la flota cargado, que fue en el que vinieron las capuchinas llamado Buen suceso, y otros dos vasos; derribó algunas casas el mar saliendo de madre." p. 194	Daño a la navegación Daño a construcciones, inundaciones.	2
1683	Ciudad de México	"El día 13 (de febrero de 1722) a la una de la tarde se levantó un huracán con espeso polvo de color aneado y entoldado todo el cielo, se turbo a luz del sol con tal necesidad, que se tocó rogativa en la catedral y en todas las comunidades, duró esta revolución del tiempo como una hora y después algo templada, se mantuvo hasta las cuatro de la tarde, semejante a otra que hubo en el año de 1683." p.200	Se refiere a vientos muy fuertes. No es huracán.	--
1692	Yucatán	Hambre en Yucatán y la Ciudad de México. "El ciclón trajo una epidemia de fiebre palúdica (Yucatán), sarampión, peste..." pp 205, 206. En octubre: "siendo gobernador el general Juan José de la Bárceña, un ciclón arruinó edificios y sembreros y trajo por consecuencia un hambre general, agravada por una epidemia de fiebre palúdicas que constituyó a la providencia en una situación aciaga y amarguísima." p. 210	No especifica. (Por el brote de enfermedades se puede deducir que hubo grandes inundaciones).	--
1692-1693	Yucatán	Huracán, plaga. P. 210		
1697	Veracruz	Por la noche (del viernes 15 de noviembre) un gran viento septentrional dañó el hospital y otras casas de la ciudad, y los navíos que había en el puerto estuvieron a punto de perdersse; y así la mañana del sábado 16, se supo que la almirante de la flota tenía siete brazas de agua." p. 219	Vientos fuertes, Daños a la navegación Daño a construcciones	2
1702	Ciudad de México	Gobernaba el virrey don Juan de Ortega Montañés, arzobispo de	No especifica. No es huracán.	--

	México	México, en este año hubo temblores y un huracán y se apareció un cometa." P. 225 "Día de santa Ana, después de las tres de la tarde, comenzó un huracán grandísimo de todos cuatro vientos que levantó una grande polvareda, de suerte que oscureció el sol; duró casi hasta las cinco, y se tocó plegaria en todas las iglesias..." P. 225	huracán.	
1722	Nayarit	"Al impulso de un extraordinario huracán que se levantó, salían unas llamas verdinegras que parecía no tener otra materia que de azufre, tanto que movidos todos a admiración, obligó al referido padre Antonio Arias, a estar conjurando mucho tiempo toda aquella tierra." P.234	No especifica	
1722	Ciudad de Méx.	"El día 13 a la una de la tarde se levantó un huracán con espeso polvo de color antracito y entoldado todo el cielo, se turbó a luz del sol con tal necesidad, que se tocó rogativa en la catedral y en todas las comunidades, duró esta revolución del tiempo como una hora y después algo templada, se mantuvo hasta las cuatro de la tarde, semejante a otra que hubo en el año de 1683."	No es huracán	
1731	Zultepec, Oax.	Las cartas de este real dicen: "que aunque en ninguna persona ni casa del vecindario causó notable daño el terrible huracán, que de las seis de la tarde a 11 de la noche se levantó el día 18 de junio, pero que en la iglesia parroquial ejecutó toda su furia, sacudiendo, maltratando y desquiciando su ligera techumbre, con tan desusados vaivenes, que ha quedado incapaz de podeme celebrar en ella, e indubitablemente hubiera quedado del todo arruinada, a no haber ocurrido un devoto párroco y piadoso del pueblo a implorar por..." p 241	Daño a construcciones	
1732	Acapulco, Gro	"Maremoto violento con Huracán y temblor catastrófico." P 241 "En febrero de 1732 se registraron ciclones, tempestades y temporales. Acapulco: catastrófico temblor con huracán y maremoto." p 242	No especifica. Por la fecha podría no ser huracán.	
1732	Ciudad de Mex.	"Se levantó tan horroroso, rápido y violento huracán que a breve rato el mucho muy espeso polvo opacó de tal manera la región..." p242, 243	No es huracán	
1736	Nueva España	"...en 1736 se registran huracanes" p 248	No especifica	
1736	Puebla	Al medio día se levantó tan horroroso huracán que ha sido de los mayores que en esta ciudad de hayan experimentado... p.249	No especifica. No es huracán	
1736	Ciudad de Mex	"Desde este mismo día 27, hasta el 30, se experimentó aquí un huracán tan recio y continuado, que ha sido de los mayores que han visto los ancianos, pues sus violentos soplos fueron tan impetuosos que no solo quebraron vidrietas de las ventanas de los templos, también arrancó muchos árboles, torció algunas cruces de las torres y ejecutó otras cosas memorables..." p 250	Daños a construcciones Árboles derribados. No es huracán NOTA: Aunque provocó muchos daños y presenta fuertes vientos, la lluvia no se menciona.	

1748	Ciudad de Mex	"Después de haber soplado todo el día, poco tiempo después de haber cesado el huracán tembló la tierra..." p 269	Viento fuerte, no es huracán	
1751	Monterrey, NL	"A ello se añadía estar muy demolida en lo material por el huracán de 1751, que derribó sus casas, incluyendo la cárcel." P 274	Daño a construcciones	2
1760	Guanajuato	"Día viernes 4 del corriente... comenzó un aguacero más que regular... hasta que repentina se movió un furioso huracán, y cayó el agua con tanto ruido y furia, como si se cayeran los cielos, con igual estrépito de truenos y centellas que hacía estremecer a la serranía... sobrepujó la caja del río con muchas varas de alto, aun por encima de las azoteas de las casa, de las que arrebató muchas gentes... y se llevó más de 240 casas y haciendas, que en todo quedaron arruinadas con cuanto tenían... El convento de los religiosos dieguinos todo lo más se arruinó por dentro, porque subió el agua hasta el púlpito... El convento de Belén todo se arruinó y lo mismo su iglesia y enfermería... Veintiséis de julio de 1760" pp280, 281	Daños a construcciones, lluvias excesivas, muertes, inundación. Diversos daños pero por la región podría no ser huracán.	
1765-1768	Yucatán	"Hambruna, huracán, sequía, langosta" p 288	No especifica	
1771	Veracruz	Informa de los daños causados al navío Castilla, por un huracán el día 30 de noviembre en el puerto de Veracruz. Nombramiento del navío Begoña para que sea el encargado de conducir las mercancías a España, Treinta de noviembre de 1771. p 302	Daños a la navegación	2
1784	Hidalgo y Veracruz	El alcalde mayor de este partido, don José Antonio de Anís y Ancaya, participa que el 31 del pasado enero a las 11 de la noche, comenzó en el (partido) un furioso huracán, que habiendo durado sin intermisión, hasta las 10 de la mañana del siguiente, derribó varios arbustos, árboles, 10 casas y algunos techos de otras villas, con tanta fuerza que no bajando de siete libras el peso de cada teja de ellos, volaban de unos a otros como si fueran pajas, lo que ha causado notable daño en los campos de siembras de tabaco. Treinta y uno de enero de 1784. p 322	Fuertes vientos, Daños a construcciones Árboles derribados. Daño a las cosechas.	2
1785	Guanajuato	Sopla este día en Guanajuato un terrible huracán. Primero de abril de 1785. p 331	No especifica	
1785	Guadalajara, Jal.	"entre tanto, en 20 de septiembre empezó a llover son cesar en Aztatlán y con tal fuerza, huracán y abundancia que mas de 1000 indios que estaban acostados enfermos, se ahogaron... escribe el padre, todos en sus tiendas y alojamientos, llovió que no solo salieron de aquel río, sino todos de madre, de tal manera que parecía un diluvio, y se llevó todo el campo del ejército y el gobernador se escapó... en más de dos leguas a la redonda no se veía tierra sino un mar... duró seis días y	Fuertes lluvias, Inundaciones Desbordamiento de ríos	Falta inf.

		Fue tanta el hambre que hubo porque no hallaban qué comer... Veinte de septiembre de 1785." P 335		
1787	Guerrero y Oaxaca	"Horrible huracán en Acapulco acompañado de fuertes temblores de tierra; se sale el mar de su centro y causa horribles destrozos en los campos y ganados. En Oaxaca los habitantes abandonan la ciudad." Veintiocho de marzo de 1787. p 375	Inundaciones.	Falta inf.
1791	Chiautla, Puebla	"Informa el justicia haber sido el año en su principio muy variable habiéndose experimentado en el mes de mayo varios huracanes y algunas enfermedades peligrosas." P 391	No especifica	
1794	Escuintla, Chis.	El poblado es arrastrado completamente, por este motivo más tarde se cambiará la cabecera a Tapachula. P 400	Inundación	Falta inf.
1807	Yucatán	"Hambruna(huracán)" p 433	Se puede deducir que se perdieron las cosechas por las fuertes lluvias o inundaciones.	2
1809	San Luis Potosí	"En esta ciudad han sido escasas las lluvias...no permaneció la humedad en las sementeras y esto fue causa para que las que se sembraron se perdieran... y el motivo de haber quedado los campos áridos y sin pastos por las antecedentes heladas y huracán..." p 440	No es huracán	
1810	Acapulco, Gro.	Fortísimo temporal con vientos huracanados destruyen 124 casas." Diecinueve de agosto de 1810. "Fuerte ciclón en Acapulco y toda la costa, que causó grandes daños. Grande inundación en Acapulco. Destrucción a los barcos amarrados. Se destruyen 124 casas." Diecinueve de agosto de 1810. p 448	Fuertes lluvias Daño a construcciones Daños a la navegación Inundación	2 o 3
1813	Acapulco, Gro	Relatando enfrentamientos entre insurgentes y realistas en la toma de la isla roqueta, en Acapulco, dice: "El 13 de junio pelearon los elementos en contra de ellos y favor nuestro: se levantó un huracán tan grande, que les despedazó las dos lanchas, algunas canoas y lo que es más digno de reflexionar, que de dos canoas con gente, a pesar de los esfuerzos redoblados de los remeros, las trajeron las olas hasta encallarlas en la orilla de nuestro campo". P 452	Daños a la navegación pero en pequeñas embarcaciones	1
Tomo II				
1831	Oaxaca	En el departamento de Jamiltepec, los pueblos " padecieron" las mayores desgracias a causa de un violento huracán y temporal de aguas tan abundantes, que desmoronaron a muchos cerros, destruyeron porción de casa y aumentaron los arroyos y ríos porque saliendo de madre arrasaron con ricas sementeras de grana, algodón y simientes, y llenaron de piedras, arenas y fangos la mayor parte de sus terrenos. Hasta ahora ha podido saberse que 115 personas fueron víctimas y otras muchas contrajeron enfermedades; varias familias quedaron sin casas que habitar y pueblos enteros reducidos	Fuertes lluvias, Destrucción de cultivos, Daños a construcciones. Inundaciones.	2

		a la miseria y hambre. ..las aguas destruyeron una porción de las sementeras y frutales que sostenían a muchas familias, descompusieron los mejores terrenos, formaron de ellos inútiles barrancas y se llevaron los puentes de madera. ..cuya falta a perjudicado a los pueblos mixes". P 56		
1840	Guerrero	En esta fecha un huracán provocó que los pueblos de la prefectura de Acapulco perdieran sus cosechas. "En el huracán del 3 de noviembre de 1940, hizo tantos estragos que solo dejó en pie dos pequeñas casas, habiéndose salido de su madre los dos ríos arrasaron las huertas, pereciendo todo el ganado que encontraron a su paso." P 59	Daños a construcciones Daños a las cosechas Daño a la ganadería	2 o 3
1844	Tabasco y Veracruz	"El huracán y la lluvia derribaron caseríos y destruyeron sementeras. ... en Huimanguillo originó el mismo huracán otros perjuicios, singularmente en la iglesia de aquella cabecera. ... pérdida que se estima en cosa de 16,000 pesos. En Jalapa originó la abundancia de las aguas y generalmente a causado pérdidas en las sementeras de todas clases. En Papantla arrancó el huracán las sementeras, en términos, que según se ha mencionado concluyó completamente las siembras de maíz, caña y demás producciones útiles de la naturaleza, incluso el precioso fruto de la vainilla; así que muy pronto principiamos a experimentar carestía." P 66	Daño a Construcciones Daño a cosechas.	2 o 3
1848	Guerrero	Pueblo y hacienda sufrieron "un huracán tan furioso , que quedaron destruidas casi todas las casas y labores." En esta fecha, "se experimentó en el pueblo de Petatlán y sus barrios un fuerte huracán y creciente del río, que derribó casi todos los edificios y destruyó los labores del campo, dejando a los vecinos en situación consiguiente a tan sensible suceso." 20 de mayo. P 67.	Daños a construcciones Daños a las cosechas	2 o 3
1850	Baja California	El 4 de octubre informa el padre José Acosta que se presentó un temporal que duró cinco horas, derrumbando abundantes huertos de olivos. P 69.	Daños a las cosechas	1 o solo pasó cerca.
1854	Veracruz	"Sopló en Córdoba un violento huracán, acompañado de aguaceros y granizos. Quedaron enteramente destruidas las galerías de asolear azúcar en las haciendas de Buenavista y padecieron mucho los sembrados." 10 de julio. pp. 80, 81	Daño a construcciones Daño a las cosechas	2
1854	Ciudad de Mex	Entre tres y cuatro de la tarde sopló un viento fuerte del suroeste que arrojando por grados llegó a ser en pocos instantes un huracán, que ocasionó el derrumbe del arco triunfal."	Viento fuerte. No es huracán.	
1857	Veracruz	En Misantla un norte a destruido la siembra del maíz llamado tonamil. 27 de julio. P 84	Daño a cosechas	TT o 1
1857	Sonora	"En Alamos hubo un fuerte huracán y una copiosa lluvia, los árboles más robustos fueron arrancados." 1 de	Árboles derribados	1 o 2

		octubre. P 84		
1860	Veracruz	"El temporal de agua y viento causó muchos estragos... las milpas se perdieron completamente"	Daño a las cosechas	2
1862	Oaxaca	"Un fuerte huracán y lluvias abundantes han causado la inundación de Tuxtpec. "25 de noviembre. "Algunos nocets y la abundancia de lluvias han hecho que de pierdan algunas milpas en los pueblos de San Lucas Zoquiapan...(y otros)." 22 de noviembre. P 90	Inundaciones Daños a las cosechas	1 o 2
1867	Tamaulipas	Por "un horrible huracán que casi ha hecho desaparecer a las ciudades de Matamoros, Brownsville y Bagdad [se dispuso] que salieran de Veracruz dos buques llevando víveres a Matamoros... En Bagdad suponen que desapareció completamente. Matamoros está casi en ruinas.... familias enteras se dice que han desaparecido bajo las ruinas." Octubre. "...Las propiedades fueron aniquiladas y de muertos se supo de cosa de 26; ocho vapores fueron destrozados."	Daños en construcciones. Daños a la navegación Pérdidas humanas.	4 o 5 (Unysis 2)
1868	Baja California, Sonora y Sinaloa	16-18 de Octubre "El huracán hizo pedazos el pueblo de Mulegé...el arroyo hizo que se desbordara la presa, y ambas molas de agua inundaron los huentos y desembocando en el estero la corriente llevó los buques fondeados... En Álamos la ciudad quedó destruida...se vio completamente inundada...arrastrando la corriente cuanto encontró a su paso, casas, árboles, efectos, etc.muchas personas quedaron sepultadas bajo los escombros....las pérdidas se estiman en más de 50 000 pesos." p 100	Daños en construcciones Inundaciones Pérdidas humanas	4
1870	Guerrero (Acapulco)	El viento hizo volar en la playa el pallebot veloz María y la goleta Esmeralda, que estaban anclados en la bahía; causó además perjuicios en casas" 30 de junio. P 104	Daños a la navegación Daños a construcciones	1
1872	Guerrero (Petatlán)	"Un horrible huracán que duró desde las cinco de la tarde hasta las 10 de la noche....el templo fue aniquilado, hubo 40 casas destruidas, y todas las sementeras por tierra." 6 de diciembre. P 109	Daños a construcciones Daños a las cosechas	2
1873	Tamaulipas	En Matamoros sopló un terrible huracán que derribó la mayor parte de las cercas y varias casas y jacales. Por caer a la sazón una lluvia abundante quedó inundado el barrio de la Laguna y otras poblaciones fronterizas sufrieron perjuicios semejantes. 9 de septiembre. P 110	Daño a construcciones Inundaciones	1
1873	Nuevo León	Fuerte Huracán en Galeana, seguido de aguaceros que duraron desde la noche del mismo lunes 3 hasta el jueves. El río se desbordó sumergiendo las siembras de los terrenos contiguos y arrastrando en su corriente porción de animales. 3 de octubre. P 110	Inundaciones Daño a las cosechas Pérdida de ganado	1
1873	Oaxaca	"Los periódicos de México, dan la noticia de que los últimos días de	Daño a construcciones	1 o 2

		diciembre, Oaxaca fue víctima de un huracán que produjo muchas desgracias y destruyó multitud de casas." En Ixtlán hubo un huracán acompañado de una granizada que destruyó las casas y sementeras... Diciembre. Pp. 110, 111	Daños a cosechas	
1874	Veracruz	En Ozuama, un huracán hizo destrozos, dejando huellas profundas a su paso, derribo 11 casas habitadas en los alrededores de la población y algunas personas quedaron heridas de gravedad. 30 de agosto. P 113	Daños a construcciones	1 o 2
1878	Veracruz	"Huracán en Tántima, el viento arranca árboles, derriba casas, sopla acompañado de fuertes aguaceros que convierten los arroyos en corrientes" 18 de agosto. P 121	Daño a construcciones Árboles derribados Inundaciones	1 o 2
1879	Tabasco	15-19 septiembre. Durante los días 15 a 19 no cesó de llover en Nacajuca; de 400 casas solo quedaron 23, las cosechas se han perdido en su totalidad y una gran parte de los cereales no han podido librarse de la inundación ni en los graneros; los plánticos de cacao perecieron casi en su totalidad. La mortandad de ganado vacuno y caballar se calculó en 14 000 cabezas....El pueblo de Oxotlán desapareció en su totalidad, quedaron pie seis casas y la iglesia. Las pérdidas se calcularon en 4 millones. P 124	Daño a construcciones Inundaciones Daño a las cosechas Pérdida de ganado	2
1880	Tamaulipas	12-13 de agosto En Matamoros hubo pocas desgracias personales pero quedaron destruidas muchas casa y se inundó parte de la población; las pérdidas se calcularon en 200,000 pesos. La situación en Allende de Bravo y Bagdad fue semejante... los más afectados los labradores, "pues el huracán les echó por tierra sus trojes y sembrados, mojándoles todo el maíz cosechado." P 127	Daño a las cosechas Daños en construcciones	2
1880	Nayarit	18 de agosto "Muchos jacales echó al suelo y las milpas quedaron tendidas sobre la tierra" p. 127	Daño a construcciones Daño a las cosechas	2
	Guerrero	20 de agosto. Huracán en Acapulco, un vapor quedó varado. P 127	Daños a la navegación	1 falta inf.
1881	Colima	Una tempestad en Colima causó grandes estragos, principalmente en el puerto de Manzanillo en donde destruyó muchas fincas (y haciendas)...se perdieron los palmares de aceite y los cafetales. También ocasionó pérdida en el ganado. La ciudad de Tamaulipas Camargo quedó inundada. 26-27 octubre. P 135	Daños a construcciones Daños a las cosechas Inundaciones Pérdida de ganado	2
1882	Veracruz	En San Nicolás, un huracán derribó casas y árboles, aunque no duró mucho. 14 de junio. P 139	Daño a construcciones Árboles derribados	2
1882	Baja California	A las seis de la tarde se desata un fuerte ciclón en el puerto de Cabo San Lucas, que cesa a las cinco y media de la mañana siguiente. Vuela el corredor de la aduana, la mayor parte de las casas del pueblo quedan	Daños a Construcciones	2

		destruidas; lo mismo el monte en radio de 15 millas. Ninguna desgracia personal que lamentar. La pérdidas se calculan en 18, 000 pesos. 18-19 octubre. P 141		
1883	Jalisco	Espantoso huracán en Mascota y algunos pueblos del cantón causó grandes pérdidas a los propietarios de fincas rústicas y urbanas. 12-14 de marzo. P 144	Daño a construcciones	2
1883	Michoacán (Apatzingán)	El huracán se llevó las casas de madera de los ranchos que encontró a su paso y destruyó igualmente las huertas de sandía y otros frutos, causando a los propietarios de éstas, lo mismo que a los ganados, pérdidas considerables. 1 de mayo. P 144	Daños a construcciones Daños a las cosechas Pérdida de ganado	2
1883	Sinaloa	A consecuencia de un fuerte ciclón en la becha y Amole fueron destruidas más de las dos terceras partes de la población, en el rancho del Chino los animales se ahogaron y los sembrados se perdieron... "En Mazatlán y contornos un fuerte ciclón causa la pérdida de 2 embarcaciones; en Culiacán se pierden los sembrados." 2-3 octubre. Pág. 147	Daños a construcciones Daños a las cosechas Daños a la navegación	2
1883	Oaxaca	6-8 octubre Los caminos de la región cafetera quedaron totalmente intransitables, por los grandes derrumbes de montañas. Las plantaciones de café sufrieron mucho. La cosecha ha perdido bastante pues el viento arrancó todo el café que estaba listo para recolección. P 147	Derrumbes Daño a las cosechas	2
1883	Oaxaca	Noviembre. "Un fuerte huracán destruyó en Pochulla los sembrados de maíz y después cayó una lluvia torrencial que tuvo una duración de dos días y dos noches." p 148	Daños a las cosechas.	1
1885	Nayarit	Después de una lluvia de 3 días, hubo pérdidas de consideración en las labores del maíz. 29 de octubre Pág. 159.	Daños en las cosechas	1
1886	Tamaulipas	22 de septiembre Fuertes inundaciones en Matamoros, las líneas telefónicas son destruidas. "En Matamoros se cayeron 300 casas de las cuales eran de ladrillo y quedaron lastimadas centenares de personas. Parte de aquella ciudad se inundó, quedando debajo del agua unas 30 cuadras. La lluvia fue tremenda pues cayeron unas 26 pulgadas de agua en cinco días. Todo el campo está inundado..." p 164	Inundaciones Daños a construcciones Daños a las comunicaciones	2
1887	Nuevo León y Tamaulipas	9 de mayo La noche de ese día, "se desató un terrible huracán en la zona comprendida de Laredo a Lampazos. Además del destrozo de las sementeras, causó grandes males a los plantíos de árboles y en algunas casas de techo de paja." Pág. 166	Daños a las cosechas Daños a construcciones débiles	1
1887	Campeche, Yucatán, Tabasco,	6-8 octubre.	Inundaciones Daños a construcciones Daños a las cosechas	TT

	Veracruz		Daños a la navegación	
1888	Campeche, Tabasco, Veracruz, Yucatán.	7 de septiembre	Inundaciones Pérdida de ganado Daños a construcciones Daños a las cosechas	3
1889	Tabasco	18-20 septiembre	Daños a las construcciones	2
1892	Veracruz	25-26 septiembre	Daños a las construcciones	2
1895	Tamaulipas	2-3 septiembre	Daños a construcciones Pérdida de ganado Daños a las cosechas	2
1895	Baja California, Colima y Nayarit	El puerto quedó destruido, se perdió la siembra.	Daños a construcciones Daños a las cosechas Pérdidas humanas	4
1896	Veracruz	Junio		
1896	Jalisco, Sinaloa y Oaxaca	Las sementeras destruidas, el nivel del agua alcanzó hasta 5 metros en algunos lugares	Inundaciones (5 metros) Daños a las cosechas	2
1897	Sinaloa, Baja California y Sonora	Inundación en toda la región Agosto y septiembre.	Inundaciones	2
1899	Veracruz	Junio		
1900	Yucatán			
1900	Sinaloa	Septiembre Postes fueron arrancados y varias casuchas derribadas	Daños en construcciones Daños en los servicios (luz)	3

THE GULF COASTS: 1815-1870

1818 Sept 12-14 N.E. Texas	The Lafitte Hurricane.
1819 July 27-28 La.-Ala.	The Bay St. Louis Hurricane of 1819.
1821 Sept 15-17 La.-Ala.-W. Fla.	The September Hurricane of 1821.
1822 July 7-8 Ala.-W. Fla.	The Early Tropical Storm of 1822.
1823 Sept 12-14 La.-Ala.	<i>La. Courier</i> (New Orleans). 15 Sept 1823.
1829 July 9 Rio Grande	<i>N.Y. Ship List</i> . 15 Aug, 16 Sept 1829
1831 Aug 14-18 Key West-La.	The Barbados to Louisiana Hurricane of 1831.
1831 Aug 28-29 W. La.	<i>La. Adv.</i> 31 Aug 1831.
1833 Sept 4-5 W. La.	Redfield: Record of Storms.
1834 Sept 6 W. La.	<i>La. Courier</i> . 18 Sept 1834.
1834 Sept 29 W. La.	<i>La. Sentinel</i> . 25 Oct 1834.
1835 Aug 15-18 Key West-Rio Grande	The Antigua-Gulf of Mexico-Rio Grande Hurricane.
1835 Sept 12-15 Apalachicola	<i>N. Y. Ship List</i> , 30 Sept 1835.
1837 Aug 3 Fla. West Coast	1837 -- No. 2 -- Barbados-Florida.
1837 Aug 6-7 St. Marks-Pensacola	1837 -- No. 3A -- Middle and West Florida.
1837 Aug 30-31 Middle Florida	1837 -- No. 6 -- The Apalachee Bay Storm.
1837 Oct 3-7 Texas-La.-Fla.	1837 -- No. 10 -- Racer's Storm.
1841 Sept 14-15 Middle Fla.	The Late Gale at St. Joseph
1841 Oct 19 Key West	<i>N.Y. Ship List</i> . 17 Nov 1841.
1842 Sept 4-8 Key West-Rio Grande	Antje's Hurricane.
1842 Sept 18-19 Galveston	<i>Pensacola Gaz.</i> 1 Oct 1842.
1842 Oct 4-6 Middle Fla.	The Gulf-to-Berumda Hurricane of 1842.
1843 Sept 13-14 Middle Fla.	Great Storm -- Port Leon -- 1843.
1844 Aug 4-6 Rio Grande	Matamoros -- 1844.
1844 Sept 8 Middle Fla.	Apalachicola -- 1844.
1844 Oct 4-5 Key West	The Cuban and Florida Straits Hurricane of 1844.
1845 Sept 20-21 Tampa Bay	Ft. Brooke: SG.
1846 Oct 11-12 Key West and Fla. Peninsula	The Great Hurricane of 1846.
1848 Sept 25 Fla. West Coast	The Tampa Bay Hurricane of 1848.
1849 Sept 13-14 Rio Grande	Gale at Brazos Santiago in 1849.
1850 Aug 23 Middle Fla.	Severe Storm at Apalachicola -- August 1850.
1851 Aug 23-24 Middle Fla.	The Great Middle Florida Hurricane of August 1851.
1852 Aug 25 Ala.-W. Fla.	The Great Mobile Hurricane of 1852.
1852 Sept 11 Fla. West Coast	Ft. Brooke: SG.
1852 Oct 9 Apalachee Bay	The Middle Florida Storm of October 1852.
1854 Sept 17-18 Central Texas	The Matagorda Hurricane of 1854.
1855 Sept 15-16 Ala.-Miss.-La.	The Middle Gulf Shore Hurricane of 1855.
1856 Aug 10-11 Louisiana	The Last Island Disaster.
1856 Aug 30 Ala.-W. Fla.	The Southeastern States Hurricane of 1856.
1859 Sept 15 Mobile	<i>Mercury</i> (Mobile), 16 Sept 1859.
1860 Aug 11 Ala.-Miss.-La.	1860 -- Hurricane I.
1860 Sept 14-15 Ala.-Miss.-La.	1860 -- Hurricane II.
1860 Oct 2-3 Miss.-La.	1860 -- Hurricane III.
1861 Aug 14-16 Key West	The Key West Hurricane of 1861.
1865 Sept 13 West La.-N.E. Texas	The Sabine River-Lake Calcasieu Storm of 1865.
1865 Oct 22 Key West	"Severe hurricane," SG.
1867 Oct 3 Texas	The Galveston Hurricane of 1867.
1869 Aug 16 S. Texas	The Corpus Christi Area Storm of 1869.
1870 July 30 Mobile	The Mobile Storm of July 1870.
1870 Oct 8-11 Key West	The Twin Key West Hurricanes in 1870.
1870 Oct 19-20 Key West	The Twin Key West Hurricanes in 1870.

Figura B.1: Registro de Huracanes Históricos en las Costas del Golfo de México del libro “Early American Hurricanes”

HURACANES HISTORICOS EN EL OCEANO PACIFICO ESTE.

Huracanes que tocaron tierra en Baja California Sur
(Datos del catálogo del Archivo Histórico Pablo L. Martínez)

AÑO	DESCRIPCION	CATEGORIA
1882	24 Oct. Destrucción de viviendas y otras construcciones, vientos fuertes	2
1887	Temporal Destrucción de viviendas	1
1895	17 noviembre destrucción de viviendas daños en las coseñas inundación	2
1896	Temporal Inundación Pérdida de cosechas Muerte de animales Destrucción de viviendas	3
1897	22 agosto Lluvias y vientos fuertes Daños en construcciones	2
1900	Molinos y cercos caídos Techos y enramadas dañados Inundación	2
1904	3 septiembre Destrucción de viviendas frágiles (jacales) Techos de una hacienda y viviendas derribados Alumbrado público derribado Árboles frutales derribados	3
1907	13-15 octubre Torres telegráficas derribadas Destrucción de viviendas Destrucción de embarcaciones Inundación Pérdida de cosechas 22 diciembre Fuerte temporal	3 1

1909	<p>5 septiembre Torres telegráficas derribadas Destrucción de viviendas y comercios Inundación Pérdida de cosechas Destrucción de huertos y árboles (Según testimonios fue mayor que el de 1907)</p> <p>Ciclón en Guerrero</p>	<p>4</p> <p>1</p>
1911	<p>3-4 octubre Destrucción de viviendas Destrucción de los aparatos de la estación meteorológica en La Paz</p>	2
1918	<p>15 septiembre Destrucción de embarcaciones Daños a la agricultura Árboles derribados Inundaciones Destrucción de viviendas Daño severo a construcciones grandes (Torre del reloj) Jardines públicos destruidos Bodegas derrumbadas Daños en las comunicaciones (torre de telégrafo)</p>	3

Baja California Sur		Cuadro Pluviométrico		799 de California, 1901/1902	
Estación	Latitud	Longitud	Descripción	Altitud en pies	Observaciones
Colonia	10 45' N.	105 30' W.	En la boca del Mar de Cortés		Temperatura
"	11 15' N.	105 30' W.	San Juan de los Rios, San Juan y San Juanito		Temperatura y humedad
"	14 30' N.	105 30' W.	En la boca del Mar de Cortés		Temperatura
Colonia	17 15' N.	105 30' W.	En la boca del Mar de Cortés		Temperatura
"	18 15' N.	105 30' W.	En la boca del Mar de Cortés		Temperatura
"	19 15' N.	105 30' W.	En la boca del Mar de Cortés		Temperatura
"	20 15' N.	105 30' W.	En la boca del Mar de Cortés		Temperatura
"	21 15' N.	105 30' W.	En la boca del Mar de Cortés		Temperatura
"	22 15' N.	105 30' W.	En la boca del Mar de Cortés		Temperatura
"	23 15' N.	105 30' W.	En la boca del Mar de Cortés		Temperatura
"	24 15' N.	105 30' W.	En la boca del Mar de Cortés		Temperatura
"	25 15' N.	105 30' W.	En la boca del Mar de Cortés		Temperatura
"	26 15' N.	105 30' W.	En la boca del Mar de Cortés		Temperatura
"	27 15' N.	105 30' W.	En la boca del Mar de Cortés		Temperatura
"	28 15' N.	105 30' W.	En la boca del Mar de Cortés		Temperatura
"	29 15' N.	105 30' W.	En la boca del Mar de Cortés		Temperatura
"	30 15' N.	105 30' W.	En la boca del Mar de Cortés		Temperatura

Figura B.2: Cuadro Pluviométrico donde se reporta la actividad meteorológica por regiones en Baja California Sur

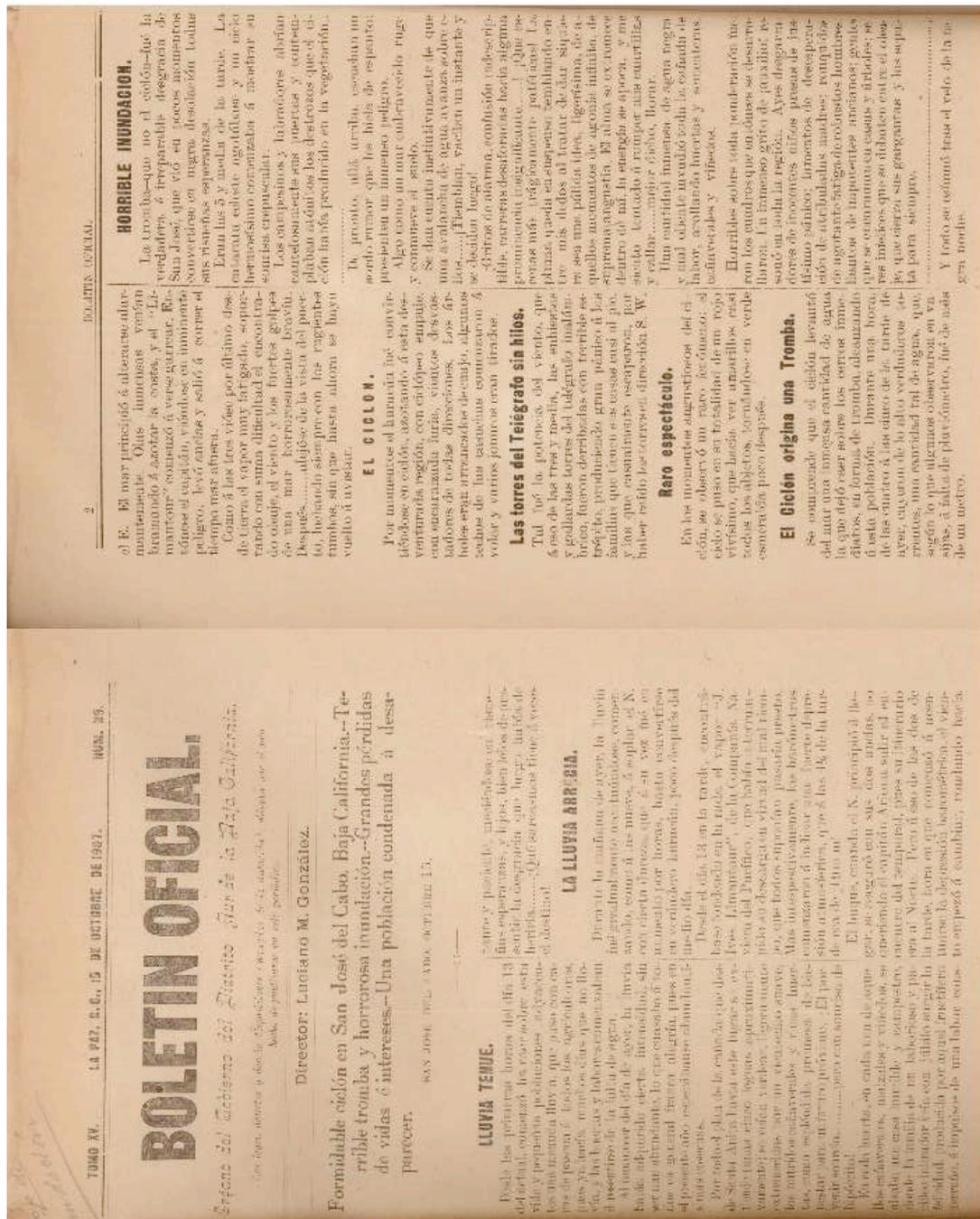


Figura B.3: Boletin Informativo por la presencia de un huracán en Baja California Sur

Referencias

- [1] Jauregui, E., Climatology of lanfalling hurricanes and Tropical Storms in Mexico., *Atmósfera*193-204, 2003.
- [2] Stix, M., The Sun: an Introduction, *Springer*, Berlin,1989 .
- [3] Kippenhahn, R., Discovering the Secrets of the Sun, *J. Wiley*,1994.
- [4] Zirin, H., Astrophysics of the Sun, *Cambridge University Press*, Melbourne,1989.
- [5] Wilson, P., Solar and Stellar Activity Cycles. *Cambridge Astriphysics Series*, USA, 1994.
- [6] Lang, K., The Sun from Space. *Springer*(2000).
- [7] Hanslmeier, A., The Sun and Space Weather. *Kluwer Academic Publishers*,USA,2004.
- [8] Harra, L. K., Space Sciences. *World Scientific Publishing*, USA, 2004.
- [9] Benestad, R., Solar Activity and Earth's Climtate,*Springer-Praxis*, UK, 2006.
- [10] Tobias, S. M., The Solar Dynamo, *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*,2002.
- [11] Proctor, M. Dynamo Action And the Sun, *EDP Sciences*, 2006.
- [12] Akasofu, S., Exploring the Secrets of the Aurora, *Astrophysics and Space Science Li-brary*, USA, 2002
- [13] O'Dell, C. R., Aurora, *World Book Online Reference Center*.World Book, Inc. <http://www.worldbookonline.com/wb/Article?id=ar038160.2005>.
- [14] Sugiura, M., On Dst index, *IAGA Bulletin No. 40*, 1991.
- [15] Russell, C. T., Introduction to Space Physics. *Cambridge University Press*, USA,1995.
- [16] Parks. G., Physics of space plasmas: an introduction, *Addison Wesley Publishing Com-pany*, 1991.
- [17] Fitzpatrick, P. , Hurricanes, Second Edition *Contemporary World Issues*, USA, 2006.
- [18] Landsea, C. W, Climate variability of tropical cyclones: Past, Present and Future. Storms, Hurricane Research Division, NOAA, 2000.

- [19] W2010, Department of Atmospheric Sciences (DAS). "Hurricanes". University of Illinois at Urbana-Champaign, 1996.
- [20] IUPAC Compendium of Chemical Terminology, Electronic version, <http://goldbook.iupac.org/A00144.html>.
- [21] Emanuel, K. A., The Theory of Hurricanes, *Annu. Rev. Fluid Mech.* 23 : 179-96, 1991.
- [22] Sharkov, E., Global Tropical Cyclogenesis. *Springer Praxis Books in Environmental Sciences*, USA, 2000.
- [23] National Hurricane Center <http://www.nhc.noaa.gov/aboutsshs.shtml>, 2007.
- [24] National Hurricane Center <http://www.nhc.noaa.gov/aboutnames.shtml>, 2008.
- [25] Gray, W. M., The Formation of Tropical Cyclones, *Meteorol. Atmos. Phys.* 67, 37-69, 1998.
- [26] Gray, W. M., Predicting Atlantic Basin Seasonal Tropical Cyclone Activity by June 1, *AMS*, 1994.
- [27] Molinari, J., Vollaro., Planetary and Synoptic Scale Influences on Eastern Pacific Tropical Cyclogenesis., *AMS*, 2000.
- [28] Maloney, E., Hartmann, D., The Madden Julian Oscillation, Barotropic Dynamics, and North Pacific Tropical Cyclone Formation. Part I: Observations, *AMS*, 2001.
- [29] Lombardo, K., Influence of Equatorial Rossby Waves on Tropical Cyclogenesis in the Western Pacific, *State University of New York at Albany*, 2006.
- [30] Emanuel, K., Mann, M., Atlantic Hurricane Trends Linked to Climate Change. *EOS, AGU*, vol. 87, num. 24, 2006.
- [31] Nyberg, J., et al., Reconstruction of Major Hurricane Activity., *American Geophysical Union*, 2006.
- [32] Chan, J. C., The physics of Tropical Cyclone Motion, *Annu. Rev. Fluid Mech.*, 799-128, 2005, 3.
- [33] Haigh, J., Climate Variability and the Influence of the Sun, *Science*, Diciembre, 2001.
- [34] Bond, G. et al., Persistent Solar Influence on North Atlantic Climate During the Holocene, *Science*, Diciembre, 2001.
- [35] Marsh N. et al, Solar Influence on Earth's Climate, Danish Space Research Institute, *Space Science Reviews* 107:317-325, 2003.
- [36] Kodera, K., Possible solar modulation of the ENSO cycle. *Pap. Met. Geophys.*, 55, 21-32, 2005.

- [37] Cahalan, R., Satellite Observations of Solar Irradiance and Sun-Climate Impacts, *Nature* 443, 161-166, 14 September 2006.
- [38] Foukal, P., Variations in solar luminosity and their effect on the Earth's climate, *Nature* 443, 161-166, 14 September 2006.
- [39] Georgieva, K. et al., Long-term Change in the Sun, and its effects in the Heliosphere and Planet Earth, *Advances in Space Research - a special issue with the proceedings of The Second International Symposium on Space Climate.*, Sinaia, Romania, September 13-16, 2006.
- [40] Haigh, J. D., The Sun and the Earth's Climate, *Living Rev. Solar Phys.* 4, 2007.
- [41] Saraf N.; Beig G., Solar response in the vertical structure of ozone and temperature in the tropical stratosphere, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, Volume 65, Number 11, pp. 1235-1243, July 2003.
- [42] Shindell, D., Solar Forcing of Regional Climate Change During the Maunder Minimum, *Science* Vol. 294. no. 5549, pp. 2149 - 2152.7 December 2001
- [43] Zherebtsov, G.A. et al., The physical mechanism of the solar variability influence on electrical and climatic characteristics of the troposphere. *Advances in Space Research*, Volume 35, Issue 8, p. 1472-1479.
- [44] Influence Of Solar Activity Cycles on Earth's Climate <http://www.isac-esa.org/index.htm>
- [45] Acosta, V., Catálogo Histórico de Desastres Agrícolas en México, *FCE* 2003.
- [46] Clavijero, F. Historia de la Antigua o Baja California, *Porrua*, México, 1970.
- [47] Ludlum, D., Early American Hurricanes, *AMS*, Boston, 1963.
- [48] Villanueva, E., Presencia de Huracanes en Baja California Sur, el caso del ciclón Liza, *U. A. B. C. S.*, Septiembre de 2001.
- [49] Archivo Histórico "Pablo L. Martínez", La Paz, B.C.S. Vol. 351BIS, 367BIS, 563BIS, 553, Régimen Porfiriato, Revolución, Reforma.
- [50] Graps, A., An Introduction to Wavelets, *IEEE*, vol 2, no. 2 1995 USA.
- [51] <http://pagesperso-orange.fr/polyvalens/clemens/wavelets/wavelets.html>

IMÁGENES

- [52] http://www.nasa.gov/images/content/171927/main_heliolayers_lg.jpg
- [53] <http://solarscience.msfc.nasa.gov/images/granules.jpg>
- [54] <http://nsosp.nso.edu/esf/images/ha-spicules1.jpg>

- [55] <http://download.hao.ucar.edu/d5/eclipses/HAOeclipse1980.gif>
- [56] <http://science.msfc.nasa.gov/ssl/pad/solar/images/sunspot1.jpg>
- [57] <http://solarscience.msfc.nasa.gov/images/bfly.gif>
- [58] <http://solarscience.msfc.nasa.gov/images/zurich.gif>
- [59] <http://ircamera.as.arizona.edu/NatSci102/images/solarcycle.jpg>
- [60] <http://solarscience.msfc.nasa.gov/images/omega.gif>
- [61] <http://solarscience.msfc.nasa.gov/images/alpha.gif>
- [62] ESA & Lofti Ben Jaffel (Institut d'Astrophysique de Paris (CNRS-INSU)), Martin Kornmesser, Lars Lindberg Christensen (Space Telescope-European Coordination Facility)
- [63] <http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/dstdir/dst2/onDstindex.html>