2012: la hora última

C. Guillermo Giménez de Castro
Profesor de la Universidade Presbiteriana Mackenzie
São Paulo, Brasil
guigue@gcastro.net
http://www.guigue.gcastro.net

30 de noviembre de 2011

La presente obra es distribuida bajo licencia **Creative Commons** de reconocimiento no comercial sin obras derivativas 3.0. Mas informaciones: `http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/`.

Doomsday

Será cuando la trompeta resuene, como escribe San Juan el teólogo.
Ha sido en 1757, según el testimonio de Swedenborg.
Fue en Israel cuando la loba clavó en la cruz la carne de Cristo, pero
no sólo entonces.
Ocurre en cada pulsación de tu sangre.
No hay un instante que no pueda ser el cráter del Infierno.
No hay un instante que no pueda ser el agua del Paraiso.
No hay un instante que no esté cargado como un arma.
En cada instante puedes ser Caín o Siddharta, la máscara o el rostro.
En cada instante puede revelarte su amor Helena de Troya.
En cada instante el gallo puede haber cantado tres veces.
En cada instante la clepsidra deja caer la última gota.

Jorge Luis Borges

Índice general

I Los mayas y las profecias **1**

1. 2012: Apocalipsis *New Age* **3**

2. Para donde fueron los Mayas? **7**
2.1. Introducción 8
2.2. Geografia e Historia maya antigua 9
2.2.1. Preclásico [2000 AC - 250 DC] 9
2.2.2. Clásico [250 - 1100] 9
2.2.3. Posclásico [1100 - Conquista] 11
2.2.4. La Conquista 12
2.2.5. La desaparición de los mayas 12
2.2.6. Epílogo 14
2.3. Bibliografia 14

3. El Calendario Maya **17**
3.1. Calendarios: por qué, para qué, cómo? 18
3.2. Ciclos, ciclos, ciclos 21
3.2.1. El Tzol'kin 21
3.2.2. El Haab 22
3.2.3. La Rueda Calendárica 23
3.2.4. La Cuenta Larga 23
3.2.5. La Madre de todos los Calendarios 25
3.2.6. La Precisión del Calendario Maya 27
3.3. Bibliografia 28

4. Las *Profecias* de 2012 **29**
4.1. Introducción 30
4.2. Alineación Galáctica 30
4.3. Mega Explosión Solar 41
4.4. Inversión de los polos Magnéticos 44
4.5. Bibliografia 46

II A la luz de las ciencias **49**

5. El misterioso chorro galáctico **51**
5.1. Qué es una galaxia? 54
5.2. Estrellas 57

5.3. Gas 59
5.4. Distribucion de la materia 61
5.5. Galaxias de Núcleo Activo (AGN) 63
5.6. La Vía Láctea 64
5.7. Bibliografía 66

6. Nada nuevo bajo el Sol 67
6.1. El *calmo* Sol 68
6.2. El ciclo solar 70
6.3. La Atmósfera solar 72
6.3.1. Fotósfera 72
6.3.2. Cromósfera 75
6.3.3. Corona 77
6.3.4. Tempestades, explosiones y eyecciones 80
6.3.5. Influencia de la Actividad Solar en la Tierra: Clima espacial 82

7. El magnetismo terrestre 87
7.1. El Dínamo Terrestre 88
7.2. Inversiones Magnéticas 89
7.3. El escudo magnético 90
7.4. Bibliografia 90

III Después de 2012 93

8. Epílogo 95
8.1. El interés por cuestiones científicas e históricas 96
8.2. El Apocalípsis **que nunca llega** 96
8.3. El Fin del Fin 100

A. Notación Científica 101

B. Distancias Astronómicas 105
B.1. Introducción 106
B.2. Medidas por Ecos 106
B.3. Paralaje 107
B.4. Estrellas Variables 108
B.5. Distancias Cosmológicas 108
B.5.1. Teoría Atómica 109
B.5.2. Efecto Doppler 109

C. Radiación de Cuerpo Negro 111

Parte I

Los mayas y las profecias

Capítulo 1

2012: Apocalipsis *New Age*

Áspero es el rostro de Dios este día y ásperas las cosas que trae.
(Registro maya para el día **5 Ahau**.)

En el Calendario Gregoriano será 21 de diciembre de 2012, en el Calendario Maya 13,0,0,0,0 y en Día Juliano 2.456.283. Esta es la **cifra** de la nueva **Bestia**, aquella que vendrá para acabar con la humanidad. No será un monstruo de 7 cabezas y 10 cuernos esta vez. Dicen que tres conjunciones nos aguardan cuando lleguemos al fin de la **Cuenta Larga** del calendario maya: durante el solsticio habrá un alineamiento del Sol con el plano galáctico, el Sol tendrá una actividad desconocida hasta ahora capaz de destruir todos nuestros sofisticados sistemas de navegación y comunicaciones y el campo magnético de la Tierra sufrirá una inversión súbita dando origen a inmensas tensiones en la Tierra. En síntesis, un caos. Que ocurrirá después de ese día, el Fin o un Nuevo Comienzo?

Desde que soy pequeño leo sobre presagios de Fin de Mundo. Crecí con el temor de que una guerra nuclear acabara con la civilización. Y confieso que durante mi infancia y juventud nunca hice planes para más allá del año 2000. Era intituivo, no había nada racional.

En cierta forma es razonable la preocupación con el Fin del Mundo. Somos mortales, nuestra única certeza es la de nuestra propia muerte. A lo largo de la vida vamos, primero acostumbrándonos a la idea de morir, después, preparándonos de alguna forma para nuestro último acto. Preverlo, pensarlo, es una forma de vencerlo, tal vez. Así también actuamos en relación al Mundo. Anticipar su fin nos da alguna forma de tranquilidad.

Y ahora estamos siendo colocados frente a un nuevo hito. Después de haber vencido el pasaje del milenio con cierta entereza, nos espera otra fecha magna en pocos años. Que hay de particular en ella? Bueno, simplemente que una hoja del calendario maya debe ser descartada, y comienza una especie de *Año Nuevo*. Un año de 1.872.000 días que, según arqueólogos modernos, habría comenzado el 13 de agosto de 3114 A.C. Como todo Año Nuevo, seguramente los mayas temieron lo que viniese después. Dejaron presagios, fórmulas para esperar un acontecimiento tan importante. Promesas para mejorar nuestra sociedad, y votos para terminar con los miedos y las enfermedades. Tal vez pensaron seriamente que vendría un *Fin de Mundo*. De todas formas, más de 1000 años los separaba de la fecha temida. **2012 era para ellos tan lejano como el Big Bang lo es para nosotros**.

La cultura que generó esta tradición hoy no existe más (aunque los mayas **sí** continuan existiendo, como podemos comprobarlo viajando a México, Guatemala o Belize), pero nuestra sociedad neurótica de temores, reflotó sus mitos. Quien sabe si los interpretamos correctamente. Las creencias sólo tienen sentido dentro del ambiente en que fueron creadas. **Hoy por hoy, 2012 se ha convertido en un ícono *New Age* alejado de la cultura maya.** Mientras tanto Google me informa que más de **1 millón** de páginas de Internet contienen las palabras 2012 y apocalipsis (busqué en español, inglés y portugués). Contadores regresivos nos informan cuantos días, horas, minutos y segundos faltan para el *fin*. Diferentes intérpretes se pelean por dar la versión más estremecedora del último acto de nuestra sociedad.

Al mirar este cuadro un tanto desolador me pregunté como evitar tanta ansiedad innecesaria... La respuesta es este libro, que pretende algo más aún: aprovechar el interés en temas tan científicos como la física solar, la astronomía galática o la geofísica para colocar estos temas de forma clara y sencilla para cualquier persona. Aunque no soy un arqueólogo ni un historiador, también doy informaciones sobre la historia maya. Aquí, el lector podrá encontrar juntos, una descripción y análisis de las profecías de 2012 a la luz de la ciencia, una historia de los mayas, de su célebre calendario, que es la pieza clave de este fenómeno, y una introducción a los elementos mas importantes alrededor de las profecías: el Sol, el Geomagnetismo y las Galaxias, por último hay una síntesis del *fenómeno 2012* extrayendo las últimas conclusiones.

Intenté hacer el texto lo mas atractivo que pude y al mismo tiempo me basé en las referencias mas actualizadas de cada tema. Los textos consultados son libros escritos por científicos del área o artículos científicos publicados en revistas especializadas. Como consulta externa escogí siempre la Wikipedia por dos motivos, en primer lugar porque soy al mismo tiempo un usuario y un contribuyente de la misma y en segundo lugar porque ella es accesible para todo el mundo.

Como en todo proyecto debo algunos agradecimientos: a Santiago Giménez de Castro y Marcela Claudia Marciani por las correcciones del texto. Si tuviera que dedicar a alguien este proyecto, debería comenzar por mi padre que me introdujo en el interés por la cultura precolombina cuando apenas era un niño. En su biblioteca había (ahora está en la mía) un libro sobre los mayas. Su dedicatoria era singular: a los *americanos* y su afición por la goma de mascar, que impulsaron la exploración de la selva mesoamericana que llevó al *re*-descubrimiento de los mayas. En cierta medida, esta nueva adhesión a la cultura maya tiene el mismo origen. Entonces a ellos va también dedicado mi libro.

Los invito a todos a recorrer el camino hacia el 2012 que, definitivamente, no será nuestra **última hora**.

Capítulo 2

Para donde fueron los Mayas?

2.1. Introducción

Después que los conquistadores españoles acabaron con su resistencia, casi a fines del siglo XVII, el pueblo maya *desapareció* de la historia hasta que a mediados del siglo XIX, los arqueólogos los *re-descubrieron* y se interesaron por su cultura e historia. Era tarde ya, los españoles habían destruido una buena parte de su legado, principalmente los **códices**, libros pintados con pincel sobre papel hecho de corteza de árboles, de los cuales hemos recuperado apenas tres: uno guardado en la Biblioteca de Dresde, otro en la Biblioteca Nacional de Paris, y el tercero en el Museo Arequeológico de Madrid. El resto lo hizo el tiempo que fue royendo las construcciones, monumentos y demás restos de la cultura; los saqueadores de restos arqueológicos y, últimamente, la *globalización* que permea por todos lados y comenzó un proceso de sustitución de tradicionales vasijas y vestimentas, por productos *Made in China*.

Tal vez el primer *misterio* que debamos aclarar es que **los mayas no se han extinguido**. Se calcula que unos 6 millones de personas se identifican hoy en día como *mayas* y siguen viviendo en las regiones que ocupaban sus ancestros hace 500 años cuando la Cuarta Expedición de Colón hizo contacto con ellos por primera vez. La confusión sobre el fin de los mayas se extiende al ámbito erudito. Heather Pringle, editora de la revista Archaeology, publicó en la revista Science el artículo A New Look at the Maya's End (*Una nueva mirada sobre el Fin de los Mayas*). Una semana después, varios lectores protestaron por carta frente al título equivocado. Porque lo que ocurrió en realidad, es que los centros rituales y comerciales mayas fueron abandonados en un proceso lento que llevó décadas, probablemente más de 100 años y que comenzó con la decadencia de sus gobiernos, hasta el vaciado completo del lugar. Mientras esto ocurría sus poblaciones iban migrando hacia otros sitios donde pudieran prosperar.

Hay algo más sobre el *fin de los mayas*: este proceso de abandono de los centros urbanizados, no ocurrió una única vez, sino que parece haber sido una *tradición* que realizaron a lo largo de toda su historia, en los diferentes lugares que poblaron.

Los mayas produjeron una cultura magnífica, en gran parte perdida durante la conquista española, que al mismo tiempo permitió la creación del *misterio*. Los mayas post-conquista, perdieron a sus chamanes, sus sacerdotes y sus libros. Fueron dominados y obligados a aceptar otras creencias, incorporaron muchos elementos de la cultura europea y olvidaron una buena cantidad de la propia. Hoy en día ellos mismos desconocen tanto cuanto nosotros. Los arqueólogos, por otra parte, se han esforzado en los últimos 150 años por develar sus secretos, pero en el balance final parece que es más lo que desconocemos que lo que sabemos fehacientemente. En las siguientes líneas comentaré sumariamente los elementos más importantes de la historia y la cultura mayas, sin la pretensión del erudito, pero tratando de mantener siempre la cabeza firme sobre los hechos que tienen una base demostrable.

2.2. Geografia e Historia maya antigua

Los mayas se extendieron por América Central, desde el Sur de México, hasta Honduras y El salvador (ver mapa de la Figura 2.1). Ocuparon un área de poco más de 300.000 km^2 (aproximadamente el tamaño de Alemania), donde había características muy diferentes: desde regiones semi-áridas, de escasas lluvias y difícil acceso al agua (las *tierras bajas del norte* en la península de Yucatán) hasta alturas de difícil acceso (las *tierras altas*), pasando por bosques tropicales muy fértiles. Cada lugar marcó las posibilidades de su economía y los límites de su expansión.

Los arqueólogos dividen la historia maya en tres períodos: preclásico, clásico y posclásico. Los primeros habitantes habrían llegado hacia el 12.000 AC aunque las primeras sociedades preclásicas, los primeros grupos que abandonan el nomadismo y construyen ciudades, son del año 2.000 AC, siendo la región de la costa del Pacífico donde evolucionaron primeramente para después, hacia el final del período preclásico, extenderse más al norte. La sociedad preclásica también sufrió cambios en su estructura de gobierno, pasando de los *jefes* a los reyes que comenzaron a recibir el nombre de *ajaw* y aumentaron el ámbito de poder, llevandólo más allá de su ciudad. De esta forma comenzaron a crearse *ciudades estado*, que fueron la forma más sofisticada de organización política. Al crecer, las ciudades entraron en conflicto entre ellas, hubo muchas guerras. Los mayas eran un pueblo guerrero.

2.2.1. Preclásico [2000 AC - 250 DC]

Entre las ciudades más destacadas del período preclásico están El Mirador, en la región de las tierras bajas de Guatemala, y Kaminaljuyú, cerca de la capital guatemalteca. La primera se benefició con la agricultura y la producción de sal, mientras que la segunda podía controlar el comercio que se realizaba con las culturas de México Central (por ejemplo, Teotihuacán, otra civilización *perdida* de Mesoamérica). Fue en Kaminaljuyú donde los reyes comenzaron a tener un áura superior: sus magníficas tumbas así lo revelan, también la preocupación por mostrar sus orígenes y trazar su ascendencia. El Mirador contó con los mayores templos y una red de caminos que le permitía ejercer su dominio sobre pueblos vecinos. Ambas ciudades fueron mucho mayores que sus rivales y por eso pueden muy bien ganarse el título de *capitales*. Ambas también perecieron muy rapidamente. Muchas ciudades de la época preclásica fueron abandonadas, mientras ocurría la ascención de las ciudades que irían a dominar durante el período clásico. Las razones de la declinación que llevó al abandono son hasta hoy en día desconocidas. Pero como veremos fueron, tan sólo, las primeras.

2.2.2. Clásico [250 - 1100]

Fue en esta época que los mayas alcanzaron el apogeo. La *polis* de Tikal, en las *tierras bajas* guatemaltecas se convierte en una de las ciudades más poderosas. Durante el período preclásico (100) el rey Yax Ehb'Xook inaugura una dinastía que iría a gobernar hasta el fin de los 800. Cada vez más poderosos, los

Figura 2.1: El seguiente mapa muestra la localización de los restos de algunas de las ciudades mas importantes de la antigüedad maya. El mapa tiene aproximadamente las dimensiones del área geográfica sobre la que se extendió la cultura maya antigua, abarcando el sur do México, la península de Yucatán, Belize, Guatemala y parte de Honduras y El salvador. Los primeros asentamientos se formaron en las alturas al sur da Guatemala (Kaminaljuyu). Lentamente fueron migrando para el norte (Copán, Tikal y Calakmul). Durante el final del período clásico florecieron las ciudades de Chichen Itzá y Uxmal, al norte de la península de Yucatán. La isla de Cozumel, cerca de Cancún, tuvo una de las últimas comunidades activas, comerciando hasta con los *méxica* (aztecas).

reyes de Tikal son elevados al rango de dioses (*K'uhul ajaw*), quienes ordenan la construcción de una gigantesca acrópolis donde son enterrados en suntuosas tumbas. El poder de Tikal se extiende por kilómetros a la redonda abarcando ciudades de la región.

En un valle a 700 m de altura, frontera con las *tierras altas* del sur, el rival más importante de Tikal fue la ciudad de Copán, cuya historiografía es conocida desde aproximadamente el 321 AC en la época preclásica y hasta el 822 DC. Copán también tuvo reyes dioses, una acrópolis monumental y poder sobre las ciudades vecinas. Semejante ostentación de poder sólo podía augurar guerras: Tikal se apoderó de Copán hacia el año 420 DC, poco después Calakmul invadió Tikal y le causó enormes daños. La rivalidad continuó y en 695 Tikal consiguió apoderarse de Calakmul. La gloria de Tikal iría a durar pocos años, hacia el 889 la dinastía acabó y la ciudad fue abandonada. De hecho todas las ciudades *clásicas* quedaron abandonadas alrededor del año 900. Sin embargo el ciclo de ascención y decadencia de nuevas ciudades no se agotaría aquí. Durante el fin del clásico, Chichen Itza se destacaría como una de las ciudades mayas más brillantes.

Chichen Itza fue fundada por pobladores no originarios de la península de Yucatán y por ello fueron llamados de *Itza*: *aquellos que hablan nuestra lengua de forma entrecortada*. Chichen Itza representó varias revoluciones en la cultura maya, en primer lugar dejó de considerar a sus reyes seres superiores, y los llamó simplemente *ajaw* (señores), de cierta forma democratizó el gobierno al incluir consejos de consulta. En el campo de la economía, diversificó las fuentes de ingresos y llegó a tener una producción *pre-industrial* con una amplia red de distribución de sus productos. Por último, se diferenció de las otras culturas mayas al introducir el culto a **K'uk'ulkan**, la *serpiente emplumada* conocida por los *méxica* como **Quetzalcoatl**. La cultura Itza dominó la región norte de la península de Yucatán por dos siglos, entre el 850 y el 1100 DC. Y sus descendientes fueron los últimos a rendirse al poder español en 1697.

No podemos olvidar en este período de la historia maya antigua a Palenque, que produjo una de las más largas dinastías y una de las ciudades más fastuosas y densamente pobladas. Sus orígenes se remontan al año 200 AC y, como las demás ciudades del período clásico, brilló hacia el 600 DC para quedar completamente abandonada a fines del año 900.

2.2.3. Posclásico [1100 - Conquista]

La caída de los grandes centros mayas no frenó la aparición de nuevas ciudades durante el llamado período *posclásico*, como Mayapán en la península de Yucatán o los de la isla de Cozumel. También se desarrolló fuertemente la región del lago Petén (Guatemala) extendiéndose sobre Belize. Las tierras altas sufrieron importantes mudanzas, la ciudad de Kaminaljuyu fue completamente abandonada después de 2.000 años de ocupación y nuevos centros fueron fundados, esta vez más protegidos, lo que indicaría un aumento de la violencia. Crónicas mayas como el *Popol Vuh* relatan la llegada a las tierras altas de príncipes provenientes de la mítica ciudad de Tollan, para fundar nuevas di-

nastías. Esto sería una indicación de la expansión hacia el sur de las culturas de la Costa del Golfo. Hacia 1350 los K'iche consiguieron controlar la región central donde fundaron varias ciudades (Iximche, Utlatan, etc). La población volvió a aumentar en número y la economía volvió a florecer incrementando los intercambios comerciales.

2.2.4. La Conquista

Son estas sociedades las que encontraron los conquistadores españoles en 1524. Reyes menos arrogantes y ciudades más humildes, pero un pueblo siempre guerrero que se defendió durante casi 200 años. El mismo Hernán Cortés que subyugó a los aztecas en 1521, enviaría a Pedro de Alvarado en 1524 a dominar los pueblos K'iche en las tierras altas mayas donde tomó y destruyó la ciudad de Utlatán matando a todos sus gobernantes. Hacia 1527 toda la región de las tierras altas había sido dominada y Ciudad Vieja fue fundada. Esto permitió el avance sobre las tierras bajas, liderado por Francisco de Montejo. Tanto tiempo llevó la conquista que fue su hijo quien consiguió dominar completamente las ciudades más poderosas de la península de Yucatán en 1546, 20 años después y fundar la *Muy Noble y Leal Ciudad de Mérida* (1542). Los últimos grupos que se resistieron pertenecían a la etnia Itza, próximos a la región del lago Petén. La ciudad de Tayasal, última capital maya, cayó a principios de 1697, 194 años después que la última expedición de Cristobal Colón hiciera contacto con el pueblo maya por primera vez.

A pesar del reducido número de soldados empleados (nunca pasaban de 500) el éxito español se debió a tres factores: 1) armas explosivas, 2) la aplicación de prácticas de guerra brutales y 3) alianzas. La Malinche no fue una excepción de Cortés sino la regla: *divide et impera*. Los españoles supieron explotar la rivalidad de siglos de guerras internas entre los pueblos mayas, sus deseos de venganza y la sed por recuperar algún poder perdido.

2.2.5. La desaparición de los mayas

Hubo una vez un pueblo en la región central de América Central orgulloso de sus tradiciones y cultura, que realizó suntuosas edificaciones, que supo de astronomía, orfebrería, agricultura, escritura, y otras tecnologías y ciencias. Un pueblo marcial que gustaba de batallas, reales en el campo y simbólicas en estadios. Ese pueblo, que llamamos *maya*, hoy apenas puede ser reconocido en los rostros y actos de sus descendientes que pueblan la misma región geográfica. Los *mayas*, aquellos hijos directos de Yax Ehb'Xook, de Tikal, de Te' K'ab Chaak de Caracol, de Yuknoom Ch'een I de Calakmul y de tantos otros que fundaron centenarias dinastías, desaparecieron cuando el conquistador español plantó sus botas en las selvas centroamericanas castigando con furia divina a los herejes. Desaparecieron sus chamanes, sus escribas, sus reyes. Quemaron sus libros, destruyeron sus artesanías. Fueron obligados a aceptar otras creencias y tradiciones y aunque supieron guardar, *clandestinamente*, las suyas propias, es más lo que se perdió que lo que se rescató del *Apocalípsis* conquistador, de su brutalidad y de sus enfermedades. **Esta es la auténtica desaparición del pueblo maya**,

me animaría a decir que fue también la única.

Y sin embargo hay una *fábula* que dice que los mayas habrían desaparecido antes de la llegada de los españoles, abandonando las ciudades apresuradamente. Por qué es tan persistente este mito? Simplemente porque los arqueólogos han encontrado un sinnúmero de ciudades abandonadas mucho antes de Colón llegar a América. Ciudades abandonadas no significa que el pueblo se haya extinguido. Los mayas abandonaban una ciudad y fundaban otra. Aunque increíble, así es.

En el medio de exuberantes selvas, colosos de piedra de 30 m de altura muestran la otrora gloria de una ciudad vacía. Cómo alguien, un pueblo entero, puede abandonar tanto esfuerzo? Tikal, Copán, Chichen Itza, Palenque, Uxmal, las más fastuosas de todas las ciudades mayas fueron abandonadas antes de que comezara un nuevo milenio cristiano y cuando en Europa sus naciones estaban muy lejos de planear largos viajes marítimos. Las razones para que esto ocurriera son variadas. Tikal y Calakmul, por ejemplo, se agotaron mutuamente en extenuantes guerras por el control de la región. Probablemente sea un caso particular de estas ciudades, causas más generales estarían relacionadas a la superpoblación. Se calcula que en el apogeo del período clásico había unos 10 millones de habitantes mayas. Para poner en perspectiva este dato, vamos a comparar con un país de igual tamaño: Paraguay, con poco más de 400.000 km^2 tiene menos de 7 millones de habitantes hoy en día pero cuenta a su favor con una mejor capacidad de producción de alimentos y bienes en general, y de una mayor red de distribución. Paraguay se beneficia del comercio mundial, lo que le permite comprar a países remotos alimentos que no manufactura. Durante el apogeo maya, el comercio no llegaba más lejos que la meseta central de México, esto reducía las posibilidades. Por descripción de viajeros españoles sabemos que la agricultura maya se basaba en las quemas como forma de abono, lo que obligaba a un período de descanso de dos o tres años antes de volver a sembrar, disminuyendo el área de plantaciones. Podemos imaginar los serios problemas que deben haber atravesado con los medios que contaban en su época para encontrar alimento para tanta gente.

Cuando la población llegó a ese número, el equilibrio se tornó inestable y cualquier factor negativo amplificaba los problemas. Muchos autores afirman que hubo una sobreexplotación de los suelos por la agricultura lo que aceleró la falta de alimentos. Otro factor muchas veces citado es una sequía prolongada de la cual han quedado algunas evidencias. La falta de alimentos habría generado revueltas en la población que dejó de obedecer a sus reyes, a quienes culpó de los males. Que la monarquía cayó en descrédito es atestiguado por la pérdida del adjetivo *divina* (K'uhul), los reyes serán a partir de entonces llamados *señores* como antaño, compartirán las decisiones con un consejo y, más importante, perderán el hábito de crear construcciones fastuosas. Construcciones que eran realizadas por el pueblo como parte de sus obligaciones con el *señor*. Para tener una idea del peso que tenían las *obras públicas* en la economía maya, sólo para construir los templos de Copán durante el reinado de K'inich Yax K'uk Mo' (426 - 437 DC) fueron necesarios unos 175.000 dias-hombre, o, de acuerdo a estimaciones de población, un mes de trabajo anual de cada adulto.

Es toda esta estructura la que se desplomó. Los habitantes abandonaban la

región en busca de lugares donde poder vivir. Los reyes, por su parte, salían en busca de lugares donde fundar nuevas ciudades. Está bastante bien documentada la emigración. El pueblo Itza, por ejemplo, vino del sur para ocupar la región central de las tierras bajas en Yucatán. Y como cuenta el Popol Vuh, el lago Petén fue colonizado por *príncipes* de una ciudad mitológica maya llamada **Tollan**. En la práctica se trataría de reyes venidos de una empobrecida península de Yucatán.

Este insesante movimiento. El desapego a lo material, parece ser una constante maya o, mejor aún, mesoamericana. Ciudades de la era preclásica, como El Mirador, fueron completamente abandonadas entre 100 y 300 DC. Después ocurriría lo mismo con las ciudades del clásico. No sabemos que podría haber ocurrido con los asentamientos del posclásico ya que la historia se interrumpió por la llegada de los invasores europeos. Y esto mismo se observa en otros lugares de Mesoamérica: Teotihuacán es abandonada, no sabemos como hubieran actuado los aztecas si no hubiese llegado Hernán Cortés.

2.2.6. Epílogo

Los mayas fueron la mayor civilización que se irguió en la América precolombina. Sus conocimientos, su organización, su arquitectura, su religión y tradiciones, su arte, fueron los más elevados del continente y están entre los más altos que cualquier nación haya conseguido. Su estudio es fascinante, y aún tenemos un gran número de incógnitas por resolver. La desaparición de sus documentos escritos (los *códices*) creó deformaciones que lleva tiempo para corregir. En el siglo XIX se afirmaba que los mayas eran descendientes de los egipcios, y hasta de los hebreos. Se afirmó por décadas que eran un pueblo *pacífico*, cuando la guerra era parte central de sus actividades. Se los supuso en armonía con el medio ambiente, y hay pruebas fehacientes de la deforestación de sus selvas, para algunos autores (exageradamente, según mi punto de vista) esa deforestación creó un cambio climático que los perjudicó. Por último, exóticas teorías dicen que el origen y destino de esta *civilización perdida* está en las estrellas.

Si hay algo de bueno en la preocupación mundial por el año 2012 y el supuesto *mensaje* maya, es que despertó en muchos el interés por un pueblo que merece todo nuestro respeto y admiración. Pero que precisa ser comprendido como era y como es, sin necesidad de adjudicarles poderes o saberes que nunca tuvieron.

2.3. Bibliografia

Este capítulo está basado casi íntegramente en el extenso libro de Sharer y Traxler.

Pringle, H.,*A New Look at the Mayas' End*, Science, vol 324, p454-456, 24/04/2009

Sharer, R.J & Traxler, L. P., *The Ancient Maya*, 6ta edición, Stanford University Press, 2006

Capítulo 3

El Calendario Maya

La cuestión de los calendarios es esencial en las profecias de 2012: el *Fin de un Ciclo* es esperado con una enorme ansiedad. Entonces, para comprender la razón de estas profecías debemos entender el calendario Maya, y, en general, todos los calendarios. Comenzamos así con una introducción a los diferentes sistemas cronológicos para terminar con el calendario mesoamericano precolombino.

3.1. Calendarios: por qué, para qué, cómo?

Dice el Diccionario de la Lengua Española, elaborado por la **Real Academia Española**, que un **Calendario** es un *sistema de representación del paso de los días, agrupados en unidades superiores, como semanas, meses, años, etc.* Presiento, sin embargo, que esta definición está muy influenciada por el *Calendario gregoriano* que rige actualmente en casi todo el mundo. Considerado de la forma más general posible, creo que un calendario es un *sistema para medir el paso del tiempo.* Como todo sistema de medida debe contar con una unidad, con múltiplos y submúltiplos de esta. Los calendarios existen desde el albor de la humanidad y desconocemos casi completamente el origen de ellos. Los miles de años que transcurrieron desde que fueron concebidos los han ido alterando y hoy todo nos resulta natural, aunque el conjunto de reglas que los rige pueda ser sumamente arbitrario. Parte de la fascinación que tienen los calendarios está en estas arbitrariedades. Por qué hay meses de 30, de 31 y hasta de 28 días? Por qué la semana tiene 7 días? De donde viene el nombre de los meses? Algunas de las preguntas no tienen necesariamente una respuesta lógica o conocida. Parte del *charme* de un calendario viene también de su dimensión simbólica: *Domingo es el Día del Señor*, *Shabbatt es el día del descanso*, etc, etc.

Pero no todo es o puede ser arbitrario en un calendario. Si uno intentara trazar una línea lógica, considerando las herramientas disponibles cuando aparecieron los primeros, podríamos decir que la unidad de medida debe ser el día, o sea, el intervalo de tiempo entre dos apariciones del Sol por el Oriente (amanecer). El calendario más simple sería entonces aquel que sólo contabilizara el paso de los días, en la forma de una cuenta interminable a la manera de un náufrago en una isla abandonada. Pero el hecho de que sea el *día* nuestra unidad de medida, nos revela que estamos interesados en los fenómenos astronómicos. Además del Sol, vemos pasar por encima de nuestras cabezas un sinnúmero de astros, desde la Luna, hasta pequeñas estrellas y pálidas regiones *nebulosas.* La curiosidad, la necesidad o ambas pueden llevarnos a cuestionar si existe alguna relación entre el *día* y el lapso que demora la Luna en pasar de su forma redonda hasta desaparecer completamente. También el Sol parece poseer un ciclo que se repite y que se relaciona con el clima, con la duración relativa del período nocturno y diurno y otros fenómenos más. Entonces es natural buscar los *múltiplos* de la unidad *día*, que en nuestro calendario se llaman: *semana*, *mes* y *año.* Esta elección, aunque útil, no es necesaria. Muchas otras podrían haberse considerado.

Y cuales son los submúltiplos de nuestro calendario? Aún a riesgo de ser calificado de incorrecto, en mi concepción de calendario, la división del día en

intervalos menores, es parte de él. En nuestra sociedad moderna, se trata de las *horas*, *minutos* y *segundos*. Pero en el pasado remoto podía ser algo tan simple y vago como *Mañana*, *Tarde* y *Noche*. Según Umberto Eco (en *El Nombre de la Rosa* y citando a E. Schneider en *Les heures bénédictines*) en la Edad media el día era dividido en *Maitines*, *Laudes*, *Prima*, *Tercia*, *Sexta*, *Nona*, *Vísperas* y *Completas*.

Volvamos por ahora a los múltiplos del día. El sistema métrico fue creado para facilitar los cálculos de las medidas de distancia, peso, etc. Por ese motivo, después de elegirse un patrón de unidad, los múltiplos y submúltiplos son derivados a partir de éste, multiplicando o diviendo por 10. Nada impide entonces crear una semana de 10 días, un mes de 100 un año de 1000. Sin embargo por motivos que apenas podemos sospechar, desde el origen se buscó armonizar (o encontrar la armonía) entre períodos de diferentes astros.

No es acaso el día un ciclo? El Sol sale por el Este, marcha hacia el Norte (en el hemisferio sur) y se esconde por el Oeste en una repetición sin fin. Pero el Sol no sale *exactamente* por el mismo punto cada día. Lentamente, cada mañana, su lugar de aparición irá corriéndose hacia el Sur, hasta que un día, que relacionaremos con la temporada de clima cálido y noches breves (en el hemisferio Sur), detendrá esta marcha y la revertirá. El período diurno irá tornándose cada vez más corto, volverá el frío, y el Sol saldrá desde un punto cada vez más próximo del Norte. También percibiremos que no se eleva tanto en el cielo. La marcha del Orto hacia el Norte se detendrá también un día, aquel cuya noche es la más prolongada, y comenzará a andar en el sentido inverso, hacia el Sur. Si contamos los días transcurridos entre dos aproximaciones al Sur (hoy reciben el nombre de solsticios) obtendremos 365 y a este lapso llamamos de *año*. Y aquí encontramos un problema, 365 es divisible sólo por 5 y 73 que es un número primo. El segundo problema es que, medidas más precisas (para ello necesitamos de muchos años de observación o instrumentos especializados) nos muestran que el número 365 no es completamente correcto, y que debemos agregarle una fracción. Hoy en día el valor promedio del año trópico es **365,2422** días.

De la misma forma podemos contar el intervalo de tiempo que demora la Luna en presentar las diferentes *caras* (fases) y nuevamente descubrimos que es *casi* 30 días, más precisamente **29,53059**. Siendo el Sol y la Luna los astros más brillantes, podemos intentar armonizar en un único calendario ambos ciclos. Podemos, por ejemplo, considerar que el año tiene 365 días y el ciclo lunar 30. Pero 365 no es múltiplo de 30 y por eso debemos encontrar alguna solución *ad hoc*, como agregar 5 días al final del año. También podemos distribuirlos a lo largo del año, solución del calendario gregoriano. (Cinco meses de 31 días, los otros dos corresponden a los dos días *robados* de febrero, compensado a medias con el *bisiesto*.)

El calendario gregoriano deriva de una tradición de calendarios que prestó mayor atención a los movimientos solares, de forma tal que el pasaje del Sol por ciertas zonas del cielo se diera aproximadamente en los mismos períodos calendáricos. Como división intermedia entre año y día, adoptó las fases de la Luna de una manera bastante irregular al punto que nuestro *mes* de 30,41 días en promedio está completamente desfasado de los movimientos lunares. La *semana*

parece un pálido recuerdo de que cada *fase* lunar dura unos 7 días, aunque otras razones pueden estar por detrás de esta elección.

Por qué el Sol es tan importante en el calendario gregoriano? La respuesta que parece más lógica es que con ese calendario se buscaba un dominio de la agricultura y ganaderia, o sea del clima, que depende de las estaciones anuales definidas por la posición del Sol en el cielo. Dentro de esta tradición agrícola la precisión necesaria de un calendario muy bien puede ser de una semana, por lo tanto si definimos un calendario con precisión de un día, podremos sentirnos más que satisfechos. Un calendario de 365 ya tiene precisión de un día. El problema es que el error se acumula si no es corregido y al cabo de 4 años suma un día. Es decir, en 400 años habrá acumulado una diferencia de 100 días, y las estaciones (verano, otoño, invierno, primavera) ocurrirán en un período que previamente correspondía a otra: enero será el mes de la primavera y recién en marzo tendremos el verano (hemisferio sur). El calendario *juliano* (encargado por el emperador romano Julio César) mejoraba drásticamente esta situación, al tener una duración promedio de **365,25** días, acumulando apenas un día de error en 100 años. Serían necesarios 10.000 años para un desfasaje completo de las estaciones. Sin embargo en 1582 el Papa Gregorio XIII estableció el nuevo calendario, con un año de duración media igual a **365,2425** días acumulando una diferencia de 1 día cada 3333 años. Ese es, desde hace más de 400 años, nuestro calendario.

Podemos hacer un calendario más preciso? La respuesta es que **ya tenemos** un calendario más preciso. No es el Gregoriano, el que viene impreso en los almanaques ilustrados con fotos de paisajes. Es el calendario de los relojes de cuarzo, de los GPS, o en el extremo de precisión, de los relojes atómicos. Nuevamente me refiero con calendario a la capacidad de contabilizar el tiempo y prever los hechos astronómicos futuros. Nuestro calendario moderno tiene la precisión de **millonésimos de segundo** y es capaz de calcular la posición de todos los planetas del cielo con anticipación de decenas de años, incluyendo los *temidos* eclipses. En cierta forma ya es parte de nuestro día a día aunque no lo percibamos. Teléfonos celulares utilizan el tiempo determinado por satélites y radiotelescopios. Muchas veces a fin de año, nos enteramos que se ha corregido la hora *en un segundo*. En este calendario no nos preocupamos más por encontrar los ciclos que son múltiplos de otros ciclos, porque desarrollamos una matemática que con enorme precisión y poco esfuerzo, puede encontrar los resultados buscados.

Mientras tanto, el calendario gregoriano de cada día, se ha convertido más en un hábito relacionado con nuestras tareas y obligaciones. Cómo redefinir la semana laboral? Aceptaríamos recibir el salario en un período diferente a 30 días? Y las vacaciones de *un mes*? La arbitrariedad del día de 24 horas, la hora de 60 minutos y el minuto de 60 segundos, ya no espanta a nadie. Cómo sería trabajar 6 horas diarias, en un día de 20 horas en total? La verdad es que ya estamos acostumbrados, y este calendario tiene la exactitud que nuestras actividades diarias precisan. Si no lo hemos cambiado es, simplemente, porque no nos hace falta.

Y por último, no podemos olvidar el costado simbólico, religioso de los ca-

lendarios. Solamente en occidente conviven tres completamente diferentes: el cristiano, el judio y el musulmán. Aunque por cuestiones prácticas en todo el mundo la referencia es el calendario gregoriano, cada grupo étnico, cada cultura o civilización, tiene uno que considera más adecuado a sus creencias.

3.2. Ciclos, ciclos, ciclos

De todos los calendarios de la antigüedad, el Calendario Maya es el más complicado. Por ese motivo y porque sus creadores desaparecieron incluso antes de la llegada de Colón y sus hombres a América, tenemos un conocimiento incompleto de él, los debates se suceden y las interpretaciones libres abundan. En primer lugar no se puede hablar de **un** calendario, sino de varios, cada uno con una dinámica diferente, y probablemente con una función diferente. Sin embargo, estos calendarios estaban integrados. Vamos aver cada uno de ellos por separado.

3.2.1. El Tzol'kin

El calendario básico maya consiste en la sucesión sin fin de un ciclo de apenas 260 días llamado **Tzol'kin**, los *mexicas*, (aztecas en español), lo llamaron **Tonalpohualli**, siendo la primera inscripción que se conoce del año 600 AC, en las ruinas de San José Mogote (cerca de la ciudad de Oaxaca, sur de México). El esquema de este corto calendario es muy curioso. Cada día recibe un número de 1 a 13 y un nombre tomado de la lista siguiente: Imix, Ik, Ak'bal, Kan, Chikchán, Kimi, Manik', Lamat, Muluc, Ok, Chuen, Eb, Ben, Ix, Men, Kib, Kabán, Etz'nab, Kauac, Ahau. La sucesión de los días entonces será así:

1 Imix	2 Ik'	3 Ak'bal	4 K'an	5 Chikchán
6 Kimi	7 Manik'	8 Lamat	9 Muluc	10 Ok
11 Chuen	12 Eb	13 Ben	1 Ix	2 Men
3 Kib	4 Kabán	5 Etz'nab	6 Kauac	7 Ahau
8 Imix	9 Ik	...	...	...
...	...	...	...	...
9 Kib	10 Kaban	11 Etz'nab	12 Kauak	13 Ahau

La secuencia continua hasta que se agoten las combinaciones posibles de los 13 números y 20 nombres. Como 13 y 20 son número *coprimos* (sin divisores comunes), la serie se repite entonces al cabo de

$$20 \times 13 = 260 \text{ dias}$$

siendo **13 Ahau** el último día recomenzando con **1 Imix**.

Los arqueólogos debaten hace décadas el origen de este ciclo. Uno de los motivos sugeridos se relaciona con Venus. La órbita de este planeta queda dividida en dos lapsos de 263 días cada uno, con otros 58 días en que queda *invisible* desde la Tierra. El diagrama de la Figura 3.1 ayuda a entender.

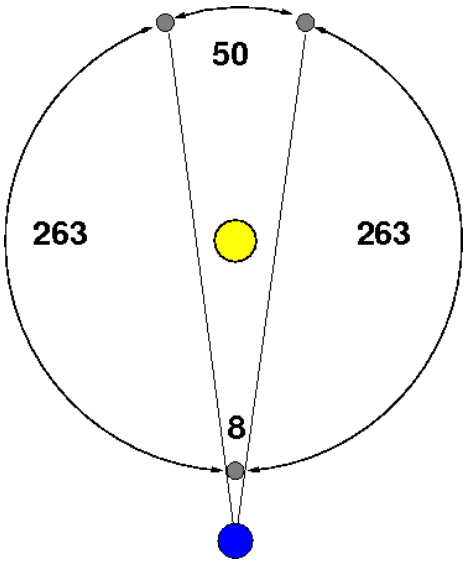


Figura 3.1: Esquema que representa la órbita de Venus (pequeño círculo gris) respecto de la Tierra (círculo azul), aquí colocada en reposo por simplicidad. Los números indican el número de días que demora Venus en recorrer cada trecho. Cuando Venus está muy próximo del Sol (círculo amarillo) no es visible.

Sería sin embargo una falta de respeto a los mayas que fueron tan grandes astrónomos pensar que habrían errado por tres días. Otra idea sugiere que en la latitud de Copán (14°:57' N) la trayectoria del Sol puede dividirse en dos períodos, uno de los cuales, mientras está al Norte del Cénit, tiene una duración de 260 días y el siguiente, mientras el Sol permanece al Sur del Cénit, de 105. Estos dos períoodos tienen relación con las temporadas *larga* y *corta* de siembra que aun son utilizadas por los agricultores de la región. Sin embargo el Tzol'kin fue establecido antes de la fundación de Copán. Por último, una idea muy difundida es que 260 días corresponde aproximadamente al tiempo de gestación del ser humano. En apoyo de esta teoría, se sabe que los mayas elegían el nombre de sus hijos usando el Tzol'kin. Existen muchas otras especulaciones con respecto al calendario, pero más allá de las controversias, me parece importante remarcar que en el Tzol'kin aparecen dos números clave en los calendarios mayas: **20** y **13**. El Tzol'kin continua siendo vigente en algunos lugares de Guatemala. Sabemos que él tiene una carga simbólica muy fuerte, ya que indica los momentos propicios para algunas actividades, como por ejemplo pedir la mano de una mujer.

3.2.2. El Haab

El segundo calendario maya tiene una duración de 365 días, muy parecido con el año trópico solar (365,2422). Está formado por 18 meses de 20 días cada uno (360 días) y al final una semana de 5 días llamados *uayeb* para completar los 365. El nombre de los meses está en la siguiente tabla (de izquierda a derecha, de arriba a abajo)

Pop	Uo	Sip	Sot	Sek
Xul	Yax'kin	Mol	Ch'en	Yax
Sak	Keh	Mak	Kan'kin	Muuan
Pax	K'ayab	Kumk'u		

Este calendario se parece al nuestro porque cada día es nombrado por un número de 0 a 19 y el mes: 0 Pop, 1 Pop, 2 Pop,.... 19 Pop, 1 Uo, 2 Uo, 3 Uo.... A pesar de que la duración del Haab corresponde aproximadamente al año solar, no sabemos que los mayas hayan intentado mantenerlo sincronizado. Recordemos que como el año solar trópico no es un múltiplo exacto de días, la diferencia se va acumulando constantemente. En nuestros calendarios usamos los años bisiestos para corregirla. **No existen evidencias de que los mayas hayan hecho algo parecido**. De esta forma el Haab acaba siendo algo así como para nosotros el mes, cuya duración de 30 días se relaciona con las fases lunares, aunque no mantiene ninguna coherencia con ellas. (El calendario musulmán, por ejemplo, es un calendario lunar, los meses comienzan en luna nueva.)

3.2.3. La Rueda Calendárica

Los mayas combinaron el Tzol'kin y el Haab para crear un nuevo calendario de mayor duración. Tomando la fecha de un día de cada calendario, como por ejemplo: **13 Ahau 18 Kumk'u**, se necesitan 4 símbolos para representar un día. Como el mínimo común múltiplo entre 260 (duración del Tzol'kin) y 365 (duración del Haab) es 18.980, este es el número de días en que los nombres de la Rueda Calendárica son diferentes y después comienzan a repetirse. Este número corresponde exactamente a 52 *años* del Haab, o 51 años y 353 días solares aproximadamente. Los mayas y principalmente los aztezas, daban una importancia trascendental a este período. Creían que cada vez que llegaba a su fin, debían renovar el *contrato* con los Dioses que les permitían (o no) continuar existiendo. Grandes temores afloraban en esa época y luego, con la llegada del *Año Nuevo* inmensas celebraciones y felicidad.

3.2.4. La Cuenta Larga

La Cuenta Larga es un calendario único en su tipo aunque en principio sólo significa la enumeración, uno atrás de otro, del numero cardinal del día, a partir de un día **cero**. Expresado de forma sencilla y en nuestro sistema decimal, si definimos al 1 de enero del año 1 (1/1/1) como el día cero, los días siguientes serán **1, 2, 3, 4, 5,..... 734.053** (éste último representa el día 8 de octubre de 2010, cuando estoy escribiendo estas notas.) Los indios mesoamericanos desarrollaron un sistema de numeración robusto que les permitía escribir números muy grandes. Este sistema tenía una base vigesimal (20) a diferencia del nuestro que es decimal (10). Existen dudas, sin embargo, si el sistema era utilizado también para el comercio. Aunque tenemos suficientes pruebas de que sí fue utilizado en el calendario, con una ligera modificación comentada a seguir.

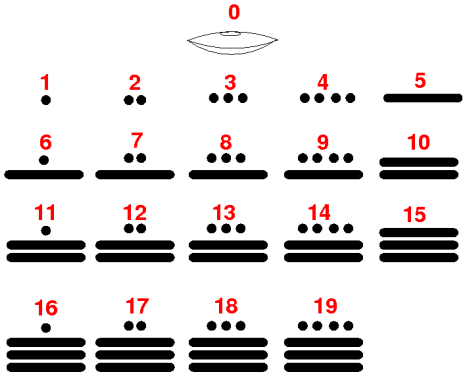


Figura 3.2: Números mayas del 0 al 19. También tuvieron diferentes símbolos, parecidos a rostros humanos o animales, para representar estos números.

La unidad del sistema era, como en todo calendario, el día, que los mayas llamaron **kin**, numerándolos de 0 a 19. Veinte kines formaban un **uinal**. Supongamos que queremos decir el día 45, $45 = 2 \times 20 + 5 = 2$ uinal 5 kin $= 2.5$. La última forma es como abreviamos ahora la numeración maya, el punto debe entenderse como un delimitador. Ellos utilizaban dos tipos de símbolos: puntos, que representan unidades, y rayas, que representan 5 unidades. El cero tenía un símbolo propio parecido a una concha.

Los uinales eran agrupados en conjuntos de 18, rompiendo entonces el esquema vigesimal y este conjunto era llamado **tun**. Por qué 18 y no 20? Porque $1tun = 18$ uinales $= 18 \times 20$ kines $= 360$ kines $= 360$ días, un número muy próximo del año trópico solar y del Haab. La sucesión sigue agrupando 20 tunes para obtener un **katún**. Por último, el conjunto de 20 katunes forma un **baktún**. La tabla de abajo permite ver la sucesión anterior

1	dia	1	kin		
1	uinal	20	kins		
1	tun	18	uinais	360	kins
1	katún	20	tuns	7.200	kins
1	baktún	20	katuns	144.000	kins

Lo más parecido a la Cuenta Larga en nuestra cultura es un sistema calendárico usado por los astrónomos y llamado Día Juliano, inventado por Joseph Scaliger en 1582, representa al número de días transcurridos desde el 1ro de enero de 4713 AC, incorporando decimales para llevar en cuenta la fracción del día. Por ejemplo en el momento de escribir estas líneas **9 de octubre de 2010, 4:54 PM = 2.455.479,2041666512**. Así como nuestro sistema tiene nombres para las potencias de 10 como miles, millones, billones, trillones, etc, el sistema maya podía continuar indefinidamente a condición de que siguieran inventando nombres para las potencias de 20 superiores. De hecho algunos autores afirman que los mayas contaban con potencias superiores al baktun como el **piktun** (20 baktunes), el **kalabtun** (20 piktunes) y el **kinchiltun** (20 kalabtunes). Sin embargo, en lo que se refiere a la Cuenta Larga, ellos decidieron parar en **13 baktunes** o sea, **1.872.000** días, que representan **5.125 años y 133 días**. Y nuevamente, como en el Tzol'kin, encontramos al número trece. Al cabo de ese

lapso el Universo sería destruido y uno nuevo volvería a comenzar. *Y esto, según algunos profetas, ocurrirá en 2012.*

3.2.5. La Madre de todos los Calendarios

Finalmente, la descripción de un día determinado en el calendario Maya era dada simultaneamente por la fecha de la Cuenta Larga, la del Tzol'kin y la del Haab. Por ejemplo, el día de hoy es: **12.19.17.13.14 4 Ix 7 Yax** siendo necesarios 9 símbolos diferentes. Durante el *Período Clásico Tardío* (600 - 800 DC) los mayas comenzaron a adoptar formas abreviadas de datación. A la llegada de los españoles a la península de Yucatán (período *post-clásico*), solamente se registraban las *cuentas de los katunes* (llamada *cuenta corta*), lo que permitía escribir con precisión fechas dentro de un lapso de 256 años. Para poder correlacionar la cuenta larga con el calendario gregoriano debemos encontrar por lo menos una fecha expresada en ambos. Pero por lo dicho antes esto no ocurrió, y entonces se han utilizado fechas de la Cuenta Corta, que son intrinsecamente limitadas en su extensión. El radiocarbono permite también obtener algunas correlaciones más, al datar antiguos monumentos fechados con la cuenta larga, aunque su precisión no es muy grande. Otros autores han intentado usar eventos astronómicos registrados en estelas, como eclipses o posiciones particulares de los planetas. El trabajo es arduo y obliga a combinar una multitud de diferentes resultados para minimizar los posibles errores. **En la práctica no se encuentra una única correlación totalmente coherente, dando siempre margen a diferencias entre distintas fechas**. Actualmente la correlación de *Goodman, Martínez y Thompson*, abreviada con la sigla **GMT**, es la más aceptada. Los mayanistas acostumbran utilizar una constante para correlacionar los calendarios, esta constante es la diferencia en días entre el origen del Día Juliano (que describimos arriba) y el de la Cuenta Larga. En la siguiente tabla resumo las diferentes correlaciones compendiadas a partir del libro de Anthony Aveni (ver en la bibliografía) y el site de Andreas Fuls[1], junto con las fechas de inicio (0.0.0.0.0) y fin (13.0.0.0.0) de la Cuenta Larga que yo mismo calculé utilizando los programas desarrollados por Ivan Van Laningham[2].

Autor	**Valor**	**0.0.0.0.0**	**13.0.0.0.0**
Smiley	482699	26 Jun 3392 AC	5 Nov 1734
Makemson	489138	11 Fev 3374 AC	22 Jun 1752
Spinden	489384	15 Out 3374 AC	23 Feb 1753
*GMT**	*584285*	*13 Ago 3114 AC*	*23 Dic 2012*
Böhm	622261	4 Ago 3010 AC	14 Dic 2116
Kreichgauer	626927	14 Mai 2997 AC	23 Sep 2129
Wells, Fuls	660208	27 Jun 2906 AC	6 Nov 2220
Hochleitner	674625	22 Dez 2868 AC	3 May 2259
Escalona Ramos	679108	27 Mar 2874 AC	5 Ago 2272
Weitzel	774078	3 Abr 2594 AC	12 Ago 2532

* Otro valor frecuentemente citado de GMT é 584283. Con este valor 13.0.0.0.0 cae en el día 21 Diciembre de 2012.

[1] `http://www.archaeoastronomie.de/`
[2] `http://www.pauahtun.org/Calendar/Default.htm`

Puede verse que la dispersión entre posibles fechas para el fin de la Cuenta Larga es de casi **797** años. Aunque GMT es la correlación más aceptada (y ya cuenta con 80 años de antigüedad) ni ella misma está excenta de controversias. En primer lugar los tres autores determinaron independientemente diferentes valores: Thompson dió 584285, Goodman 584280 y Martínez 584281, valores que fueron unificados en **584283**. Con esta correlación se obtiene que 13.0.0.0.0 será el 21 de diciembre de 2012, aunque no es la más aceptada entre los mayanistas.

La contorversia es muy amplia. Y tal vez sea una simplificación suponer que hubo una *única* Cuenta Larga. Hay que entender que los mayas no llegaron a formar un país en el sentido moderno. Podemos decir mejor que se trataba de Ciudades Estado (al estilo griego clásico) que florecieron en diferentes épocas, algunas predominando y hasta imponiéndose a otras (hecho que supo explotar a su favor H. Cortez) y que heredaban un cierto conjunto de valores, tradiciones y conocimientos, pero que los modificaban conforme a reglas locales. Vista así la historia maya, se puede suponer que haya habido diferentes orígenes calendáricos. Hay casos conocidos de cambios a lo largo de la historia. Por ejemplo la escritura. Suponer que el conjunto de símbolos fue siempre el mismo en las distintas etapas de la historia maya atrasó su comprensión que, por otra parte, aún es incompleta: la mayor parte de los grabados de las épocas preclásicas se encuentran sin descifrar.

Podemos explicar el problema colocándolo de una forma más próxima. En Occidente conviven tres calendarios muy diferentes como ya dijimos, lo cual puede crear bastantes complicaciones para un futuro arqueólogo. Pero si nos centramos apenas en el *cristiano*, vemos que este sufrió un cambio importante en octubre de 1582. Normalmente, las fechas anteriores a la reforma gregoriana, se encuentran especificadas en el calendario juliano. Para un historiador del futuro que no conociese las diferencias, esto podría crear algunas inconsistencias. Pero la situación es peor si consideramos que los diferentes países fueron adoptando el calendario gregoriano en diferentes épocas. El Reino Unido en 1752. Los estados que formaron la Unión Soviética, depués de la Revolución Bolchevique. Grecia, a la caída de la monarquía en pleno sigo XX. China también se sumó hace poco. Sin dudas, la co-exitencia de diferentes formas de marcar el tiempo creará mucha confusión a nuestro historiador del futuro.

Y ya que estamos hablando de calendarios pasados, aclaro que las fechas de inicio del calendario maya de la tabla de arriba están escritas en el *Calendario Proléptico Gregoriano*, un calendario puramente académico, nunca usado por la población que es una extensión hacia el pasado del Calendario Gregoriano, antes de su entrada en vigencia el 14 de octubre de 1582. El futuro arqueólogo tendrá muchas complicaciones para entender nuestro sistema, sin ninguna duda. *Mutatis mutandis* no es difícil de comprender los problemas que tenemos para decifrar el Calendario Maya.

3.2.6. La Precisión del Calendario Maya

Un tema recurrente es la precisión del calendario maya. Por lo expuesto antes, no existe ninguna evidencia de que los mayas hubiesen intentado mantener coordinado alguno de sus calendarios con el Sol (tampoco con la Luna ya que sus *meses* eran de 20 días). Sin embargo no es necesario ser un astrónomo experto para darse cuenta que un calendario de 365 días lentamente se va desfasando del calendario *natural*. Con un error de 1 día cada 4 años, en 500 años, una fecha del calendario Haab cambiaría de estación. Los mayas deben haberlo notado, pero no parece que les preocupara.

Por otro lado muchos arqueólogos afirman que hay evidencias de que los mayas midieron el período sinódico de la Luna (*mes lunar*) con una gran precisión. Es lógico pensar que si lo consiguieron con la Luna, debieran haberlo conseguido con el Sol. Pero lo cierto es que aquí entramos en el terreno de las conjeturas y especulaciones. John E. Teeple (1874 - 1931), un ingeniero químico que se dedicó con pasión al estudio de las culturas mesoamericanas y en particular dio un gran impulso al deciframiento de los jeroglíficos que permitió comprender el calendario, utiliza (sin demostrar según H. Thurston) la relación 149 lunaciones $\equiv$ 4.440 días, obtenida en Copán; lo que significa un mes lunar promedio de 29,5302 días. Thurston, por su parte, obtiene una relación un poco diferente en inscripciones de Palenque 81 meses $\equiv$ 2.392 días, o un promedio de 29,5309 días. Según la astronomía moderna, el mes lunar tiene una duración promedio de 29,530588 días. Luego, cualquiera de los dos resultados parece excelente.

De la misma forma, los arqueastrónomos se lanzaron a la búsqueda de la piedra de Rosetta que permita saber la duración del año solar trópico según los mayas. Teeple afirma haber encontrado esta relación en una inscripción de Palenque, y según sus cálculos, un año trópico eqivale a 365,2420 días, muy próximo al valor astronómico actual de 365,2422 y mejor que el del calendario Gregoriano de 365,2425. La afirmación de Teeple, realizada en las primeras décadas del siglo XX desató un frenesí de nuevas búsquedas. La fiebre parece haberse frenado sin que un consenso se haya conseguido.

Resulta en cualquier caso un poco confuso tal grado de precisión cuando sólo se conocen los números enteros, sin fracciones. Qué sentido tiene para los mayas 0,002 días al año de error? Una diferencia que se manifiesta como **un día en 5.000 años**. Y ocurre que en 5.000 años la órbita de la Tierra no será la misma: la Tierra se está frenando por culpa de su interacción con la Luna. En ese mismo período habrá perdido alrededor de un día según hacen constar Gordon Moyer y Charles Kluepffel (ver referencias abajo). Por ese motivo muchos astrónomos han declinado de alterar el calendario Gregorino cuya imprecisión aparece a los 3.333 años. En algún momento del futuro deberemos hacer una corrección *ad hoc*, como a veces se adiciona un segundo (el *leap second*).

Ahora bien, si los mayas sólo podían percibir la acumulación de una diferencia de un día (recuerden que no tenían fracciones, tampoco conocemos que hayan dividido al día en horas), una precisión de 1 día en 5.000 años, creo que sólo puede ocurrir por azar. Hoy me parece claro que muchas de las conclusiones sobre el conocimiento astronómico maya están influidas por nuestros propios co-

nocimientos. Si esta suerte de polución intelectual es aplicable a la arqueología como un todo, es más común en la arqueoastronomía, dsiciplina que floreció en los años 50 a 90 del siglo pasado pero que fue perdiendo poco a poco impulso, viendo que sus especulaciones no encontraban apoyo en nuevos descubrimientos.

A modo de colofón. Por intermedio de un amigo mexicano, supe que algunas comunidades mayas modernas celebran un año bisiesto adicionando un sexto Uayeb cada cuatro años. Aunque la noticia es interesante, debe ser tomada con calma. Aunque aislados, los mayas ya llevan 500 años de alguna convivencia con la cultura europea. Hasta donde pude indagar en la biblografía sobre os mayas, no hay registros escritos del este sexto Uayeb antes de la llegada de los españoles a México.

3.3. Bibliografia

A continuación una lista de libros y artículos que fueron consultados para escribir este capítulo.

Aveni, A. F.,*Observadores del cielo en el México antiguo*, Fondo de Cultura Económica (México), ISBN: 0-2927-7557-1 (1980)

Fuls, A.,*Archästronomie*, `http://www.archaeoastronomie.de`, consultado el 9 de octubre de 2010

Kluepffel, Ch., *How Accurate Is the Gregorian Calendar?*, Sky and Telescope, Nov. 1982, vol 64, N°5.

Moyer, G., *The Gregorian Calendar*, Scientific American, May 1982, p 144-152

Sharer, R.J., Traxler, L. P.,*The ancient Maya, 6th Ed.*, Standford University Press (EEUU), ISBN: 0-8047-4817-9, (2006)

Thurston, H., *Early Astronomy*, Srpinger (New York), ISBN: 0-3879-4107-X, 1994.

van Laningham, I.,*The Mayan Calendar*, `http://www.pauahtun.org/Calendar/Default.htm`, consultado el 9 de octubre de 2010

Capítulo 4

Las *Profecias* de 2012

.

4.1. Introducción

2012 representa un cambio de estado, un abandono de paradigmas, el fin de un ciclo y el comienzo de otro. No se trata de un ciclo cualquiera, sin embargo. Estamos hablando de un ciclo que, por lo menos, debe haber comenzado hace unos 5.100 años, aunque su origen podría estar aún en un pasado más remoto, ya que, dice José Argüelles, este es el último de una serie de 5 que pondrá fin a un período particular de nuestra existencia dentro de la Galaxia Vía Láctea.

Todo cambio augura la muerte de estructuras preexistentes. Todo cambio significa una tensión, una lucha entre lo que ha de ser abolido, demolido, desconstruido, y aquello que podrá continuar existiendo. Es un poco difícil escribir sobre las profecías del 2012 porque diferentes autores han realizado diferentes pronósticos y han entrado en controversia entre ellos. Esto queda muy bien reflejado, por ejemplo, en libros como *The Mystery of 2012* de la Editorial Sounds True, que trae artículos escritos por los más importantes heraldos de **2012**. La sucesión de profecías que sin parar se han lanzado desde que el tema fue instalado en los medios de prensa, se refiere a la forma en que las fuerzas de la Naturaleza habrán de realizar el trabajo de acabar con las viejas estructuras. La lista parece que se va alargando a medida que la fecha se aproxima. En algunos casos se trata sólo de aspectos espirituales (v.g. J.M. Jenkins), en otros de verdaderos desastres naturales (v.g. J. Argüelles). Sin embargo podemos considerar que los elementos más comunes son las siguientes tres catástrofes:

1. Alineación Galáctica
2. Mega Explosión Solar
3. Inversión del Campo Magnético Terrestre

En este capítulo vamos a explicar lo que la ciencia puede decir sobre estos fenómenos naturales. Lo que creemos que puede ocurrir en los próximos años y de que manera pueden afectar nuestras vidas.

4.2. Alineación Galáctica

Dice José Argüelles:

> Toda galaxia tiene un centro. Muchas de las galaxias que vemos son galaxias espirales con puntos centrales. El núcleo galáctico es increiblemente denso y allí se crean *chorros* galácticos e información. Lo que se genera en las galaxias está muy relacionado con lo que ocurre en los quasars y otros fenómenos parecidos. Sabemos que existe una transmisión continua de *ondas de radio* que llamamos *chorros de información*, que emanan y son irradiados por el núcleo galáctico. Las preguntas son: cuál es la naturaleza de estos chorros? Por qué están siendo transmitidos? Es la información de estos chorros la que está creando vida? Es el código del ADN parte de esta

información? Cómo afectan realmente estos chorros otros sistemas planetarios? (*The Mayan Factor. Path beyond Technology*, en *The Mystery of 2012*, Ed. Sounds True, 2007, ISBN: 9781-5917-9674-9)

Precisamos dar un contexto al párrafo anterior: la astronomía ha mostrado que las galaxias tienen un núcleo cuya densidad excede a la del entorno. En su mayoría cuentan con un agujero negro. Incluso la Vía Láctea tiene uno con una masa equivalente a la de millones de soles. Será a este *punto central* que se refiere Argüelles?

Sin embargo sólo las galaxias de núcleo activo (AGN) han mostrado que producen *chorros* (jets) de partículas. Los chorros tienen una dirección **perpendicular** al plano del disco galáctico. La Vía Láctea **no es del tipo AGN**, y hasta el presente no se le ha detectado ningún chorro. Pero aunque produjera uno, de ninguna forma podría alcanzar al Sistema Solar ya que este se encuentra **sobre el disco galáctico**, o sea, en dirección perpendicular a la de los chorros galácticos.

Dice además Argüelles que *ondas de radio* nos envían *chorros de información*. La afirmación es correcta, pero puede confundir a una persona no instruida en la astronomía. Por un lado estas ondas de radio no siempre tienen relación con los chorros (no son los únicos que emiten ondas de radio). Para la mayoría de las personas la palabra *radio* se refiere al sistema de comunicación de masas (aunque tal vez alguien recuerde al elemento químico *radio*, célebre por haber sido el primero en mostrar propiedades *radioactivas*). De esta forma, hablar de ondas de radio, parece indicar que alguien inteligente está queriendo entrar en contacto con nosotros, de ahí los *chorros de información*. Bien, no es de este tipo de ondas que habla la astronomía.

Las ondas de radio forman parte de un fenómeno general llamado **ondas electromagnéticas**. Son las mismas ondas que producen luz, o radiación infraroja. Las ondas se diferencian, entre otras cosas, por su *longitud* o *frecuencia*.

$$\lambda \times \nu = c \ ,$$

donde λ es la longitud de onda, ν es la frecuencia de la onda y c es la velocidad de la luz en el vacío. Llamamos *ondas de radio* aquellas ondas electromagnéticas cuya longitud de onda λ es mayor que 0,1 mm (aproximadamente). El espectro de radio es muy extenso y abarca desde las microondas, hasta las ondas kilométricas.

El segundo concepto que debemos conocer es que **todo cuerpo emite ondas electromagnéticas**, simplemente por tener alguna temperatura. De forma aproximada, sigue una ley llamada de Planck en honor al físico alemán Max Planck que la descubrió. Cuanto más caliente es un cuerpo, el pico de la emisión se encuentra en una frecuencia más alta. El cuerpo astronómico más frio que conocemos es el Universo, cuya temperatura es de alrededor de 3 K. El pico de su espectro está alrededor a $\nu = 300$ GHz o sea $\lambda = 1$ mm.

Esta forma de emisión de radio no es la única que la naturaleza tiene. También ocurre espontaneamente lo que llamamos de *emisión atómica*. En la Tierra

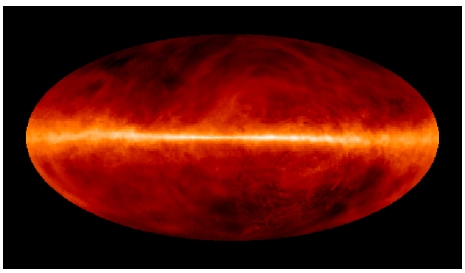


Figura 4.1: Mapa en color falso de la Vía Láctea obtenido por medio de un radio telescopio en 21 cm (Copyright: J. Dickey (UMn, USA) y F. Lockmann (NRAO, USA))

estamos acostumbrados a ver la fluorescencia en substancias naturales, particulamente el fósforo, muy usado en los *tubos fluorescentes*. El principio es el mismo: dentro de los átomos, los electrones ocupan siempre las posiciones de menor energía. Si algún proceso físico les entrega energía, pasan a ocupar una posición más *alta* y el átomo queda *excitado*. Átomos excitados tienen menor estabilidad, y en un intervalo (que puede ser tan breve como millonésimos de segundo o tan prolongado como millones de años) el electrón regresa a su estado de equilibrio, desprendiéndose de la energía sobrante por medio de la emisión de luz. Dado que el Hidrógeno es el elemento más abundante del Universo, su emisión por este tipo de *transiciones atómicas* es una de las formas más comunes de emisión natural. En el caso de objetos poco densos y no muy cálidos, la *división (splitting) hiperfina* del nivel fundamental produce una línea con frecuencia $\nu = 1420$ MHz y longitud de onda $\lambda = 21$ cm.

Sumando la radiación de *cuerpo negro* (Ley de Planck) y la atómica, las emisiones de radio de una galaxia, principalmente de su núcleo, donde se concentra la mayor parte de la masa, pueden ser muy intensas. Tan intensas que equipos no muy sofisticados pueden detectarlas. Ejemplo de esto es que cuando Karl G. Jansky estaba estudiando las interferencias en las comunicaciones de radio, observó por primera vez la emisión del centro galáctico en la longitud de onda $\lambda = 14,6$ m ($\nu = 20,5$ MHz) y la bautizó de *estática cósmica* (*estática* es el término usado para referirse al *ruido* que contamina la señal comunicada).

Como se puede apreciar bien en la imagen de Figura 4.1, no hay ningún *chorro* de partículas apuntando en nuestra dirección. La región central brillante, es el disco galáctico, la zona donde está localizado el Sistema Solar. Este mapa fue realizado utilizando un radio telescopio *sintonizado* en la línea de 21 cm, de manera de eliminar las demás frecuencias. De cualquier forma podríamos preguntarnos si la radiación que proviene del Centro Galáctico (CG), que es sin duda la más intensa de nuestra Galaxia, podría ser peligrosa para nuestra salud de alguna manera. Vamos a hacer algunas cuentas. La unidad de medida de la *densidad de flujo* en radio astronomía se llama Jansky, en honor a Karl Jansky, es abreviada como Jy. Su equivalencia con otras unidades es 1 Jy $= 10^{-26}$ Wm^{-2}Hz^{-1}.

El flujo del CG en 21 cm, debe estar entre 1 y 100 Jy. Para transformarlo en energía debemos multiplicarlo por un ancho de banda, que vamos a fijar

abritrariamente grande, 1 GHz. Como nos interesa saber la influencia sobre el ser humano, vamos a considerar una superficie colectora de 1 m^2 que corresponde aproximadamente a la de un adulto. Luego

$$(1 - 100) \times 10^{-26} \times 10^9 = 10^{-17} - 10^{-15} \text{ W} .$$

Por otra parte la *Federal Communications Commission* (órgano nacional norteamericano que regula las transmisiones de radio) recomienda que la radiación producida por cualquier equipo electrónico sea menor a 1,6 W kg^{-1}. Es decir que una persona de 60 kg, puede recibir casi 100 W de radiación electromagnética. En otras palabras, la Vía Láctea podría muy bien aumentar varias veces la intensidad de sus emisiones que todavía seguirían siendo inofensivas (indetecables, de hecho) para el ser humano. Podríamos exagerar el cálculo suponiendo que el flujo del CG es uniforme en todo el espectro electromagnético (lo que puede ser refutado con argumentos físicos) cuyo ancho podemos considerar igual a 10^{20} Hz. Haciendo el cálculo de nuevo, llegamos a una potencia total máxima que podría absorber el cuerpo de un adulto 10^{-4} W, un millón de veces menor que el límite fijado por las autoridades norteamericanas. Probablemente el horno de microondas que usamos cada día para calentar el café, el teléfono celular inseparable hoy de toda persona, el *router wireless* de las redes informáticas o las ondas emitidas por las compañías de televisión satelital estén produciendo radiación electromagnética miles de veces más intensa a la que jamás nos llegará, producida naturalmente por nuestra Galaxia.

Conclusión: La emisión de radio del Centro Galáctico no puede hacernos ningún daño, a no ser que estemos esperando un aumento impensablemente grande de la actividad galáctica. Tampoco podemos temer un chorro de partículas letal, porque la Vía Láctea no tiene un chorro tal, y si lo tuviera, estaría apuntado en una dirección muy alejada del Sistema Solar.

Todavía no hemos hablado sobre la alineación del Sistema Solar con el Centro Galáctico. Dice John Major Jenkins

> ... el Sol en el solsticio de diciembre se ha ido corriendo lentamente, pareciendo converger con el centro de la Vía Láctea a lo largo de miles de años. De hecho, el Sol en el solsticio de diciembre se alinea con la cruz maya y el Centro Galáctico una vez cada 26.000 años - el ciclo completo de la precesión. (*The Origins of the 2012 Revelation*, en *The Mystery of 2012*, Ed. Sounds True, 2007, ISBN: 9781-5917-9674-9)

Este párrafo tiene muchos elementos que merecen ser explicados en detalle. El primero se refiere a la precesión, el movimiento oscilatorio que es característico de los trompos. La fuerte influencia que crea la Luna sobre la Tierra, hace que el eje terrestre cambie su inclinación respecto al plano de la órbita, llamado *Eclíptica*: este fenómeno es llamado Precesión de los Equinoccios. La oscilación es muy lenta, dura aproximadamente unos 26.000 años. A pesar de esto, muchos pueblos de la antigüedad ya se habían dado cuenta de uno de sus efectos más notables que es el cambio en la posición de las estrellas, relativa a la Eclíptica. Esa lenta variación hace que los signos del Zodíaco se vean empujados a diferentes épocas del año, lo que configura una de las mayores críticas que se

le hace a la Astrología. Y es ese mismo fenómeno el que Jenkins atribuye para justificar la peculiaridad del año 2012, cuando se producirá una alineación que puede ocurrir **sólo cada 26.000 años**.

El segundo elemento para aclarar es el llamado solsticio. Su explicación requiere comprender la visión geocéntrica del cielo. El Sol posee dos movimientos: diriamente se pasea de Este a Oeste y a lo largo de un año, su punto de salida y puesta se corre de Sur a Norte (también cambia la elevación máxima que alcanza) para volver al Sur. El solsticio se relaciona con este movimiento anual. Hay dos solsticios, uno en el mes de diciembre (aproximadamente el 21) y otro en el mes de junio (también aproximadamente el día 21). Casi todos los pueblos conocían estos instantes importantes en el calendario solar, que marcan de cierta forma los cambios climáticos. Los otros dos días importantes del calendario solar son los Equinoccios que ocurren en los meses de marzo y septiembre y también indican cambios de estación.

Jenkins nos dice que en 2012, el 21 de diciembre durante el solsticio, el Sol estará visualmente en la región del Centro Galáctico, *eclipsándolo*. La coincidencia sería muy grande, es verdad, y su predicción sin dudas significa una enorme capacidad de cálculo astronómico. La conclusión es clara entonces, los mayas fueron maestros muy hábiles en la Ciencias del Cielo.

La Figura 4.2 muestra una imagen de como estará el cielo el 21 de diciembre de 2012. La hice usando el programa `kstars`. En el centro de la imagen, el círculo amarillo representa al Sol, embebido en una región gris que representa a la luz difusa de la Via Láctea. La línea anaranjada inclinada es la eclíptica, la curva imaginaria que traza el Sol en su recorrido anual (o dicho de otra forma, el plano de órbita de la Tierra). Siguiendo la línea anaranjada hacia abajo vemos a Mercurio (Venus queda un poco más abajo, fuera del cuadro), y hacia arriba está el destronado Plutón (un poco más arriba aún está Marte). La pequeña cruz roja con las letras GC, indica la posición del Centro Galáctico. Antes de atribuir gran poder de cálculo a los mayas, debemos saber que el Sol *siempre está en esa región, la constelación de Sagitario, en esa época del año*, por lo menos en los últimos 2.000 años. Y allí estará por bastante tiempo más hasta que la precesión de los equinoccios lo empuje hasta Escorpio.

Aún así podría ocurrir que para el 2012 el movimiento del eje de la Tierra crease una situación única. Me di el trabajo de verificar esta predicción. Restringí el cálculo a los solsticios entre 1900 y 2100, 200 años. Utilicé programas públicos, distribuidos con un paquete muy utilizado por los astrónomos solares llamado `Solar Soft`. Calculé la posición del Sol en coordenadas carteasianas, corregidas para el año 2.000 (técnicamente se llama J2000) y después transformé esas coordenadas en el sistema galáctico, cuyo origen de coordenadas es el CG. Por último grafiqué la separación angular del Sol al CG en función del tiempo. En la Figura 4.3 se ven los resultados. En el eje de las abcisas (horizontal) está el año, en el eje de las ordenadas (vertical) la distancia angular en grados. La curva roja indica el valor de la distancia para cada solsticio de diciembre. Se aprecia una lenta disminución con un mínimo hacia el año 2219. Pero en el año 2012, marcado por un pequeño círculo negro y dos ejes grises **no hay ninguna particularidad**. Hay que tener en cuenta además de que el

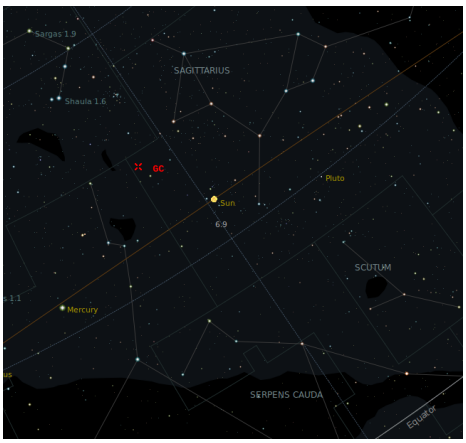


Figura 4.2: Representación del cielo de la ciudad de São Paulo para el día 21 de diciembre de 2012. La pequeña cruz roja indica la posición del Centro Galáctico. El círculo amarillo es el Sol. (Generado con el programa `kstars`).

Sol estará, cuando llegue a su mínima distancia, a más de 5°. No se tratará de ningún *eclipse*, ya que el tamaño de la región del Centro Galáctico causante de la emisión rádio, es de 37 micro segundos de arco, o escrito en grados 0,00000001°. Cinco grados son una distancia infinita para un objeto de ese tamaño.

Conclusión. No habrá ninguna alineación entre el Sol y el Centro Galáctico, ni habrá ninguna situación particularmente destacable durante el solsticio de diciembre de 2012.

Sin embargo, esta no es toda la historia de la alineación, según Jenkins. A continuación, las derivaciones de sus ideas.

La Astrologia Galáctica Axial de J.M. Jenkins

El norteamericano John Major Jenkins, es uno de los pioneros de las profecías mayas de 2012. Autodidacta, sus raíces van desde la arquelogía hasta el misticismo gnóstico, pasando por la astronomía. Esta independencia de orígenes es, según él mismo, su mayor virtud ya que le permite mantener opiniones diferentes sin sentir obligaciones hacia ningún grupo en particular. De esta forma, Jenkins se convirtió en un excéntrico rechazado por la mayoría de las tendencias *proféticas*. Al mismo tiempo se siente decepcionado por no haber sido nunca aceptado en el *Parnaso Científico*.

Jenkins creó (según él *decodificó*) una astrología maya que relaciona la posición del Sol con el ecuador galáctico y que superpone el movimiento anual del Sol a la precesión de los equinoccios, encontrando una concordancia entre un ciclo de 1 año, con otro de 26.000 años. Para ser más precisos, Jenkins cree haber encontrado en iconografías y epigrafías mayas la versión mesoamericana del Ciclo Precesional de la Cruz Sagrada, aunque debió adaptar la versión original cuyos objetos más importantes son el *Polo Norte Celeste* y el *Primer Punto de Aries*, mientras que Jenkins usa el solsticio de diciembre. La idea es

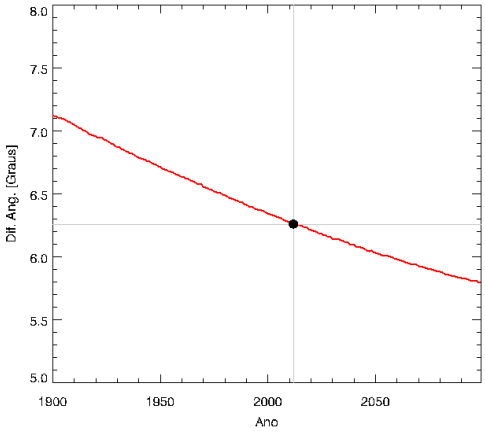


Figura 4.3: Representación de la distancia angular entre el Sol y el Centro Galáctico para el 21 de diciembre desde el año 1900 hasta el 2100. En el eje de las abcisas (horizontal) está el año, en el eje de las ordenadas (vertical) la distancia angular en grados. La curva roja indica el valor de la distancia para cada solsticio de diciembre. Se aprecia una lenta disminución con un mínimo hacia el año 2219. Pero en el año 2012, marcado por un pequeño círculo negro y dos ejes grises no hay ninguna particularidad

.

que la precesión del eje terrestre, cuyo período es un poco menor que 26.000 años, crea una especie de *año*, donde cada *día* (tiempo que lleva al eje girar 1°) dura aproximadamente 72 años terrestres. A medida que el eje va girando, el Sol ocupa diferentes lugares en el cielo durante el solsticio de diciembre. De la misma forma que ocurre con la astrología tradicional, la asociación del Sol con un lugar en el cielo recibe una interpretación particular (los *signos del zodíaco*). Como con la astrología, esta asociación es simbólica y no supone la acción de fenómenos físicos, sino que actúa en un plano espiritual, no-material. En realidad jenkins identificó sólo un *signo* en este zodíaco galáctico axial, al que podríamos llamar del *yacaré* que corresponde a una ancha y larga mancha oscura claramente visible en la Vía Láctea y que él llama de *falla oscura* (dark rift en inglés), próxima al Ecuador Galáctico. Cuando Jenkins se percató de que en 2012, durante el solsticio de verano, el Sol atravesará el ecuador galáctico, creyó encontrar la clave de la Cuenta Larga maya. De forma más precisa, *durante un solsticio de diciembre*, el centro del disco solar estuvo más próximo del ecuador galáctico en 1998 (Resaltamos el hecho de que lo que se busca es ver la coincidencia durante un solsticio). Pero como el Sol tiene una extensión de medio grado, desde 1977 y hasta 2019 estará de alguna forma en contacto con el ecuador. La Figura 4.4 ilustra esta situación.

Jenkins habla entonces de una *Era 2012*, una especie de ventana temporal a lo largo de la cual muchos cambios irán ocurriendo. Su visión no es de ninguna forma catastrófica. Él cree que los cambios se darán en la medida en que la personas quieran aceptarlos, y no espera que tsunamis, terremotos, ríos

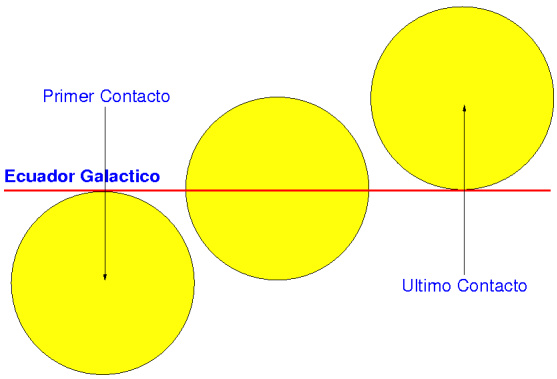


Figura 4.4: Esquema que representa el cruce del Sol durante el solsticio de verano por el Ecuador galáctico. La línea roja horizontal representa al ecuador. Los tres círculos amarillos son tres posiciones del Sol durante el solsticio de diciembre: a la izquierda en su primer contacto con el ecuador, a la derecha en su último contacto, en el centro, cuando el centro del disco solar coincidió con el ecuador.

de lava, tormentas solares o magnéticas, vayan a acabar con la civilización. Su pensamiento es muy simbólico, como toda astrología, y su mensaje reposa en un plano espiritual. Por ese motivo él ha contrariado a los otros profetas del 2012, demostrando que las profecías apocalípticas no tienen base científica.

Sin embargo, el discurso de Jenkins no llegó a conmover a los científicos: ni a los arqueólogos, ni a los astrónomos. Por qué? Sus cálculos no están equivocados. Será por una actitud soberbia y neurótica que teme perder el *poder* que le da el conocimiento, como cita Jenkins en su libro *The 2012 story*[1]. Intentando evitar cualquier actitud egoista, y tratando de ver las cosas en su lado objetivo y materialista (de eso se trata la ciencia) creo que el problema de la teoría de Jenkins es que reposa en bases poco firmes y avanza con pasos muy largos. En los párrafos siguientes voy a contra argumentar los aspectos que, entiendo, son básicos en las ideas de Jenkins.

Astronómicamente, como dije antes, los cálculos de Jenkins son aproximadamente correctos. Me di el trabajo de repetirlos, aunque no utilicé todas las correccciones necesarias, por ese motivo puedo tener discrepancias con sus resultados y con otros más precisos. En la Figura 4.5, la curva roja representa la distancia angular del centro del disco solar al ecuador galáctico durante el solsticio de diciembre. Esta distancia es llamada de *latitud galáctica*. Las bandas grises representan la *era 2012*, el período durante el cual, el Sol estará en contacto con el ecuador galáctico. Según mis cálculos, ésta comenzó en 1977 (primer contacto) y acabará en 2019 (último contacto). El pequeño círculo azul representa la posición del Sol en 2012. En 1998 ourrió el mayor acercamiento del centro del disco solar al ecuador galáctico durante un solsticio.

[1]El trato recibido por Jenkins no tiene nada que ver con su no pertenencia al círculo académico, sino con sus ideas. Quienes pertenecemos a este *círculo áurico* conocemos de casos parecidos con miembros de la propia comunidad.

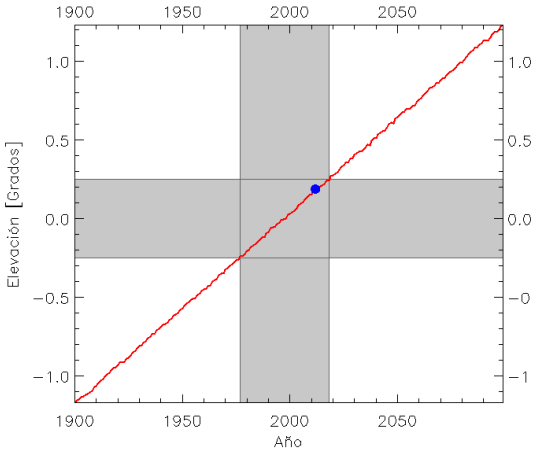


Figura 4.5: Distancia angular del Sol, durante el Solsticio de diciembre, al ecuador galáctico (*latitud galáctica*), para distintos instantes entre 1900 y 2100. El círculo azul representa la posición del centro del disco solar en 2012.

Jenkins dice en un artículo publicado en Internet(*The true alignment zone*, ver Bibliografía), que cálculos más precisos muestran que el fin de la *Era 2012*, será en 2021, y confirman sus cálculos relativos a 1998. Qué tiene que ver el 2012 entonces? Lo lógico habría sido que los mayas hubiesen marcado el instante central de la *conjunción*, que ocurrió en el soslticio de 1998. Según Jenkins, un error de 14 años en un calendario de más de 5.000 puede muy bien ser perdonado. Es más, según él, un error de un centenar de años podría ser considerado aún un gran logro. Concuerdo con él. El problema es *como tener seguridad de que los mayas hayan previsto tal acontecimiento sin una referencia explícita y sin una coincidendia más precisa?* Después de todo **el Ecuador Galáctico no es ningún objeto celeste identificable**. La fotografía de la Figura 4.6 muestra la región central de nuestra Galaxia como se puede apreciar por medio de un telescopio mediano, un poco mejor de como deben haberla visto los mayas.

Como puede apreciarse, el Ecuador Galáctico es una línea abstracta definida por astrónomos modernos. De hecho la definición original fue cambiada, y me atrevo a decir que no es unánime. Apenas representa una convención útil. Podemos suponer que los mayas, si alguna vez tuvieron noción de la Vía Láctea (cuestión que está en duda), hubieran escogido la misma convención? En otros textos, menos astronómicos, Jenkins hace referencia al pasaje del Sol por la *falla oscura* que puede ser observada sin telecopios en vez del Ecuador Galáctico, una región próxima al Ecuador formada por nubes de gas y polvo que absorbe la luz. Pero aquí es muy poco preciso, porque en algunas publicaciones se refiere a la zona más oscura a la izquierda de la imagen, que se extiende hacia el Norte. Esta región, es asociada a representaciones de yacaré encontradas en inscripciones de Izapa, civilización maya pre-clasica, localizada al Sur del actual México, próximo de la frontera con Guatemala. Pero en ese caso, tan sólo para que el Sol alcance esta región, aún faltan más de 1.000 años. El Ecuador, por otra parte, queda sobre una banda relativamente brillante (ver foto de la Figura

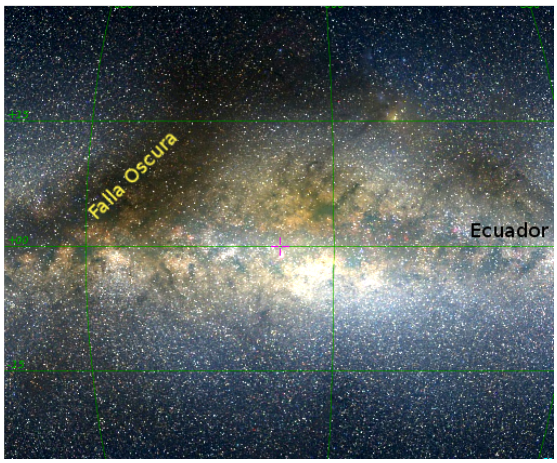


Figura 4.6: Fotografía resaltada de la región central de la Vía Láctea. Las líneas verdes representan las coordenadas galácticas. En el centro de la imagen, la línea horizontal rotulada de **Ecuador** es el Ecuador Galáctico. La cruz magenta indica la posición del Sol durante el solsticio de diciembre de 1998, momento de máxima aproximación. También se identifica la *falla oscura*.

4.6) a la que le sigue una banda oscura. Si Jenkins se refiere a esta nube de polvo y gas cuando habla de la *falla oscura*, aún faltan más de 100 años para que el sol del solsticio se aproxime a ella, y mucho más aún para que la atraviese de forma completa. Por último, aumentando la confusión, el texto antes citado, extraido de un artículo escrito por el propio Jenkins, habla del Centro Galáctico!

Estaban al tanto de la precesión de los equinoccios los mayas? Muchos autores creen que es muy posible aunque no encontraron nunca evidencias al respecto. Para que la teoría de Jenkins funcione, los mayas no sólo deberían haberse percatado del fenómeno, sino que además debían haberla medido, para poder prever cuando se produciría la conjunción de 2012. Recién en su último libro (*2012, the story*), afirma que de forma independiente dos investigadores, Barbara MacLeod y Michael Grofe, habrían mostrado que los mayas no sólo conocían sino también habían calibrado la precesión axial terrestre. Estos descubrimientos, realizados hace pocos años, no creo que sean todavía concluyentes. Se basan en general en el análisis de series numéricas (extraidas por ejemplo del Códice de Dresde) sin ninguna referencia, e interpretadas de manera libre por personas educadas en la astronomía esférica moderna. Es decir, la polución intelectual en la interpretación no puede ser descartada y precisan, necesariamente, de una confirmación independiente que aún es inexistente. **Sin conocimiento de la precesión, la teoría de Jenkins se desvanece**. Recordemos que muchos investigadores estudiosos de los mayas, todavía afirman que ellos consideraban que el año trópico es comprendido por 365 días exactos (es decir, no conocían los *años bisiestos*).

Hay otro aspecto que no puede ser dejado de lado. Después de una larga controversia, Jenkins afirma que la Cuenta Larga termina el 13.0.0.0.0, que

corresponde al 21 de diciembre de 2012 del calendario gregoriano, durante un solsticio. La elección del fin de ciclo no habría sido casual, y para poder hacerla deberían haber sido capaces de prever un solsticio por lo menos 2.100 años antes (antigüedad de la civilización de Izapa, donde se encuentran los primeros registros de la Cuenta Larga). Si esto no fuera suficiente para mostrar la habilidad astronómica maya, Jenkins nota que al mismo tiempo el comienzo de este calendario, 11 de agosto de 3114 A.C. corresponde al día siguiente en que el Sol pasó por el Zénit de Izapa (es decir, al mediodía el Sol *no hizo sombra*). Si una fecha podría ser coincidencia, dos, parece muy improbable. Sin embargo, por culpa de la precesión de los equinoccios, el 12 de agosto de 3114 A.C. el Sol **no pasó por el Zénit de Izapa**, tornando a la fecha en irrelevante. Por otro lado, es un tanto contradictoria la precisión maya para sincronizar su calendario de más de 5.000 años con un error angular menor que un minuto para determinar el solsticio de diciembre de 2012, mientras que la precisión angular del alineamiento galáctico, según el propio Jenkins, es menor que 15 minutos. No se entiende entonces, como la misma civilización es incapaz de conseguir resultados parecidos.

Jenkins agrega una gran cantidad de argumentos derivados de sus análisis simbólicos de las iconografías, epigrafías y arquitecturas mayas, principalmente de la ciudad de Izapa. El relato de Jenkins es convincente, aunque demasiado auto-referenciado. No voy a entrar a analizar aquí estos argumentos que él mismo afirma basar en parte en conocimiento gnóstico, o sea, producto de *revelaciones*. Pero no puedo dejar de destacar que me llama la atención el hecho de que, según Jenkins, los mayas hayan prestado tanta atención al solsticio de diciembre, al que él atribuye la característica de *renacimiento*. Esta intrepretación es usual entre los pueblos nórdicos, donde, después de un largo y crudo invierno que incluye nevadas y bajas temperaturas, el *retorno del Sol* (el solsticio es el momento en que el Sol revierte su movimiento) es el presagio de la primavera. Hay extensa evidencia de que pueblos neolíticos europeos construyeron monumentos orientados hacía el lugar donde nace el Sol en el solsticio, como por ejemplo Stonehenge en Inglaterra. Pero los pueblos de latitudes menores, como por ejemplo los de Medio Oriente, no prestaron tanta atención al solticio, siendo el equinoccio y el *punto vernal* el marco de referencia de la Astrología Occidental. De la misma forma, yo no esperaría que los mayas, pueblo tropical, prestasen tanta atención y diesen tanto simbolismo al solsticio.

Tampoco me resulta muy comprensible la confección de un calendario de más de 5.000 años, sólo para indicar que el último día es importante. Nuestro calendario, cuya relación con el Zodíaco es evidente, consta de divisiones y cada una de ellas tiene alguna importancia. Así, agrupando tres meses, podemos definir las estaciones del año. Sin embargo un ciclo completo de 13 bak'tuns de la Cuenta Larga, no parece tener ninguna relación con el *año axial* de 26.000 años, incluso considerando 5 ciclos sucesivos que arrojan $5 \times 1.872.000$ días $=$ 9.360.000 días $=$ 25.623,83 años, un valor bastante menor que los 26.000 años que le lleva al eje de la Tierra girar 360° y que *el pueblo que tuvo un calendario con precisión de 1 día en 5000 no podría haber dejado pasar.*

Si bien dentro de la constelación de profetas del 2012, Jenkins es quien demuestra mejor formación académica y es también el menos peligroso ya que no

tiene un discurso apocalíptico, sus ideas no terminan de convencer a los escépticos. Los aspectos más científicos o racionales de sus ideas no parecen tener una base coherente. Se le critica también, la obsesión por interpretar astronómicamente la mayor parte de las imágenes y arquitecturas mayas. Por otro lado Jenkins se enoja con aquellos que pedimos cautela para obtener conclusiones. Se enoja con quienes lo mezclan con los apocalípticos de la *Nueva Era*. Se enoja con los científicos materialistas que desdeñan el misticismo. Se compara con Galileo, perseguido por la Iglesia Romana, obligado a abjurar de sus descubrimientos. Se alegra con el reconocimiento a su trabajo de algunos jóvenes *scholars* (como M. Grofe y B. MacLeod). Se felicita por las invitaciones que cada vez más frecuentemente recibe para participar en paneles científicos. Se enoja con José Argüelles y Carl Callemann a quienes acusa de tergiversar y confundir la auténtica tradición y culturas mayas. No cabe la menor duda de que es un personaje atípico en toda esta historia.

4.3. Mega Explosión Solar

Dice Gregg Braden:

> El 10 de marzo de 2006, terminó el ciclo solar de tempestades y comenzó uno nuevo. Está previsto que tenga su máximo en 2012, con una intensidad 30 - 50 % mayor que el anterior. (*Choice Point 2012. Our date with the window of emergence.*, en *The Mystery of 2012*, Ed. Sounds True, 2007, ISBN: 9781-5917-9674-9)

En el capítulo sobre el Sol, mostramos como la variación de su Campo Magnético le altera el comportamiento, cuyos fenómenos más impactantes son las liberaciones de energía y materia, llamadas *explosiones* y *Eyecciones de Masa* respectivamente. El campo magnético solar varía casi periodicamente, de forma que cada 11 años aproximadamente los episodios *violentos* pueden ocurrir varias veces por día, durante el llamado *Máximo de Actividad*. Entre dos máximos consecutivos, ocurre un *Mínimo* durante el cual el Sol aparenta estar en estado muy *calmo*.

La energía de las explosiones y la materia son liberadas en el ambiente interplanetario y, eventualmente, llegan a la Tierra donde interactúan con el medio en general, cambiando las condiciones de la atmósfera en sus capas más altas principalmente, y pudiendo crear algunos problemas en los sistemas de satélites. Menos frecuentemente, los *eventos solares* afectan equipos en la superficie de la Tierra, como las comunicaciones de radio, o la distribución de energía eléctrica o gas.

Braden alerta entonces, que el ciclo anterior (XXIII) acabó en marzo de 2006 y que vamos en dirección de un nuevo ciclo con *máximo* en 2012. La coincidencia de fechas llamó la atención de los *profetas de 13 Baktun* que lo consideran una *señal* de la veracidad de la profecía maya. Sin embargo debemos hacer varias aclaraciones. En primer lugar, el Ciclo XXIII no acabó en marzo de 2006. Si es para dar una fecha diriamos que el 3 de enero de 2008 apareció la primera

mancha de ciclo XXIV, pero el Ciclo XXIII continuó produciendo manchas durante un cierto tiempo más. Por otro lado el *mínimo de actividad* ocurrió en diciembre de 2008.

Por otro lado él afirma que el ciclo XIV será más intenso que el anterior y para apoyar sus afirmaciones, cita a Mausumi Dikpati del *National Center for Atmospheric Research* (Boulder, EEUU). Pero antes de discutir sobre la previsión del ciclo solar, quiero entrar en la cuestión de las consecuencias de las *tempestades* solares sobre la Tierra. En el capítulo 6 hablamos sobre lo que puede ocurrir. En primer lugar: no esperen una lengua de fuego viniendo desde el Sol, carbonizando la Tierra como en la película Presagio (*Knowing* en inglés). Tampoco piensen que Dikpati cree que los neutrinos aumentarán la interacción con el núcleo de la Tierra elevando su temperatura, lo que llevará a un aumento de la intensidad y número de los terremotos, como en la película 2012.

Gregg Braden cree que la inversión magnética del Sol, junto con la de la Tierra podría crear un caos generalizado en los seres vivos que, según él afirma, dependen de una forma intensa y aún no comprendida del campo magnético. Sin embargo me cuesta entender porqué variaciones en el campo magnético terrestre, cuya intensidad es menor que 0,5 G (0,00005 T), podría ocasionar más problemas a la salud humana que los imanes de heladera, por dar el ejemplo más común y menos intenso, cuya intensidad suele ser superior a 50 G (0,005 T), o sea 100 veces mayor. De cualquier forma, voy a posponer la discusión sobre las consecuencias de la variación *repentina* del Campo Magnético Terrestre para el último tópico de este capítulo.

Dejando de lado la cuestión magnética que, a mi entender es la menos problemática del Ciclo de Actividad Solar, se debate mucho sobre las consecuencias que las *tempestades* o *explosiones* solares pueden tener sobre la Tierra. Se escucha decir que en la actual era tecnológico-dependiente, los cortes de energía eléctrica que pueden ocurrir en consecuencia de eventos solares (ver Influencia de la Actividad Solar en la Tierra) llegarían a afectar las comunicaciones, incluyendo Internet y colapsando el sistema bancario. (Así lo deja entender la NOAA norteamericana en el artículo NOAA: *Sunspot is Harbinger of New Solar Cycle, Increasing Risk for Electrical Systems*). Algunas estimaciones catastróficas de los daños que podrían ocurrir se basan en las consecuencias que una explosión del tipo que observó Carrington en 1859 volviera a ocurrir hoy en día. De esta manera muchas previsiones de daños en la Tierra se basan en el pronóstico de la actividad solar, suponiendo que a mayor actividad mayor es la probabilidad de un *evento Carrington* que dañe significativamente tecnología *sensible* en la Tierra. El propio Braden cita a Dikpati para decir que ciclo actual (XXIV) será más intenso que el anterior. Sin embargo el método que usa Dikpati para prever la actividad solar debe aún demostrar su efectividad. De hecho cuando Dikpati publicó su trabajo, la comunidad de científicos solares se encontraba dividida entre aquellos que creían que la actividad aumentaría y los que pensaban que ocurriría lo contrario. Hoy, con más datos, existe un consenso mayor sobre la disminución de la actividad. Métodos basados en la performance de ciclos anteriores o en la intensidad del Campo Magnético Polar han tenido buenos resultados en los años pasados y ellos prevén un ciclo más *calmo*.

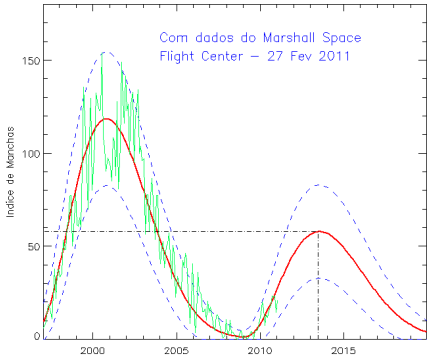


Figura 4.7: Previsión del Ciclo XXIV elaborada por el *Marshall Space Flight Center*. La curva roja es la previsión más probable con sus bandas de tolerancia, arriba y abajo en azul. La curva verde representa el *índice de manchas* elaborado por la NOAA multiplicado por 0,65. La línea punteada indica el máximo de actividad, hacia mayo de 2013.

Otros autores también creen que el ciclo XXIV tendrá escasa actividad y menos aún el próximo ciclo XXV que deberá comenzar hacia 2019 aproximadamente (*The Forthcoming Grand Minimum of Solar Activity*, S. Duhau and C. de Jager, 2010; *Is the Sun Heading for Another Maunder Minimum? Precursors of the Grand Solar Minima*, H.Miyahara *y. col.*, 2010). El Centro Marshall de la NASA elabora su propio *predictor* de actividad solar. Usando datos obtenidos el 27 de febrero de 2011, yo hice el gráfico de la Figura 4.7.

Del gráfico podemos ver dos cosas: *1)* el máximo ocurrirá varios meses después de la fatídica fecha de diciembre de 2012 y *2)* en comparación con el ciclo anterior (XXIII) tendremos un máximo menos activo (mitad del índice de manchas), sino fuera aún menor ya que desde 2008 han reajustado hacia abajo la previsión de máximo. Por otro lado, los eventos solares más intensos se dan después del *máximo*, cuando el campo magnético se encuentra muy *retorcido*. Por ejemplo fue durante octubre/noviembre de 2003, casi tres años después del máximo XXIII, que tuvimos los eventos más energéticos. En otras palabras, de ocurrir algún evento muy intenso, no será antes de 2015 o 2016.

Ahora bien, en toda esta historia hay algo que falta, **existe alguna evidencia de que los mayas hubieran tenido conocimiento del ciclo solar?** Conocían las manchas del Sol? Percibían *cambios* en épocas de *máximo* para poder acompañar su comportamiento? Más allá de deificarlo, y de estudiar su movimiento en el cielo, los mayas deconocían todo sobre él. De su legado escrito y oral, no tenemos ningún motivo para sospechar que alguna vez hubieran tenido al menos alguna inquietud sobre las variaciones cíclicas en la actividad del Sol. De donde entonces, podemos esperar que hayan previsto, 3.000 años atrás, que en el 2012 el Sol tendría una actividad singular capaz de dañar sensiblemente a nuestra civilización? En qué estela o códice, en cual escultura o representación podemos interpretar esta profecía maya para 2012? No es acaso una búsqueda de nuestros *profetas modernos* de elementos que les permitan sostener sus pro-

pias convicciones? La discusión así, se convierte en una cuestión abstracta.

4.4. Inversión de los polos Magnéticos

Según Gregg Braden, estamos a las puertas de una inversión del campo magnético terrestre:

> Sabemos, por ejemplo, que de vez en cuando ocurre algo realmente excitante, algo impensable. Por razones que no están todavía bien comprendidas, nuestros familiares polos norte y sur intercambian sus lugares, el campo magnético de la Tierra hace una inversión repentina y completa. Aunque las inversiones magnéticas son extrañas en la historia de la civilización, los registros geológicos muestran que ellos suceden rutinariamente en términos de la historia de la Tierra. En los últimos 76 millones de años, ocurrieron 171 inversiones magnéticas, de las cuales al menos 14 en los últimos 4,5 millones de años. (*Choice Point 2012. Our date with the window of emergence.*, en *The Mystery of 2012*, Ed. Sounds True, 2007, ISBN: 9781-5917-9674-9)

Braden cita en apoyo a sus preocupaciones un artículo de la sección de Ciencias del New York Times que dice: *El colapso del campo magnético de la Tierra, que al mismo tiempo protege al planeta y guía a muchas de sus criaturas, parece haber comenzado seriamente unos 150 años atrás.* Y agrega Braden: *Hay pocas dudas, al menos en las mentes de los científicos que la inversión ya comenzó.*

Sin embargo el mismo artículo, *Will compasses point South?*, dice algunas otras cosas que Braden no cita. *Una inversión podría inutilizar el servicio de transmisión eléctrica, herir astronautas y dañar satélites, aumentar el Agujero de Ozono, enviar las auroras polares hasta el Ecuador y confundir pájaros, peces y animales migratorios que dependen de la estabilidad del campo magnético para asistirse en la navegación,* comienza diciendo pero inmediatamente agrega: *los expertos dicen que las repercusiones no serán catastróficas, a pesar de algunos pocos augurios fatalistas y evidencias no conclusivas de la relación entre la inversión y extinciones en masa.* El artículo informa después que la Agencia Espacial Europea estaba diseñando una misión espacial para medir con precisión la variación secular del campo magnético porque temía algún impacto sobre sus satélites. Y, por último, termina afirmando: *No importa lo que encuentren estas investigaciones, no debemos temer, dicen los científicos. Aunque una inversión sea inminente,* ***puede tomar 2.000 años*** *para completarse. La última ocurrió hace 780.000 años, cuando el Homo Erectus todavía estaba aprendiendo a usar herramientas de piedra.* (El resaltado es mío.)

Si destaco este artículo es porque es Braden quien le da importancia y lo usa para afirmar después que la inversión magnética está en ciernes y puede ocurrir tan rápido que un animal puede *no llegar a digerir su comida!*

Los modelos teóricos del campo terrestre prevén que la duración del cambio no puede durar menos de 2.000 años. Así lo muestra el modelo 3D del interior

terrestre ideado por Gary Glatzmaier y Paul Roberts de la Universidad de California en Los Angeles, uno de los más precisos realizados hasta el momento. De hecho en la actualidad, las medidas de la variación del campo magnético muestran valores medios anuales de algunos minutos de arco en declinación (dirección a la que apunta la brújula) y de algunas centenas de nano Teslas (nT) en intensidad (el valor medio de la intensidad es de decenas de miles de nT), según el *International Geomagnetic Reference Field*. Aunque los cambios dependen de la región del planeta: con un máximo de 20° en Alaska y practicamente nada en Japón en los últimos 100 años.

No quiero ocultar aquí las investigaciones que dan cuenta de inversiones muy rápidas. En 1995, Coe, Prêvot y Camps, publicaron un trabajo que muestra una deriva magnética de 6°/día, o una inversión completa en un mes. Este trabajo encontró una secuela recientemente que muestra una variación de la declinación magnética de 1°/semana. Demás está decir que ambos trabajos son muy controvertidos. Ya dijimos antes que de los modelos teóricos se espera que la inversión lleve miles de años. Pero además tenemos un ejemplo próximo y muy bien estudiado: el Sol, cuyo ciclo de inversión dura en promedio 11 años. Aunque el volumen de la Tierra es mucho menor y su campo magnético más débil, el interior terrestre es una mezcla de metal líquido y núcleo sólido lo que debe tornar los cambios más lentos que en el interior gaseoso solar.

Y entonces volvemos a tratar las consecuencias de una inversión magnética. A pesar de que, como nota el artículo del New York Times, hay alguna evidencia de relación entre extinciones en masa e inversiones magnéticas, la misma es muy controvertida y escasa, y el sentido común me lleva a pensar de que no debería ocurrir nada catastrófico. Para eso basta ver que el campo magnético varía permanentemente. Tenemos una tendencia a esperar que las características naturales sean estables, *eternas*. Pero no es así, el Universo entero está en permanente cambio. Y en particular las mediciones del campo magnético, como notamos antes, muestran que este está en deriva sin interrupción. Si la vida en la Tierra tiene miles de millones de años, ya debe haberse acostumbrado a estos cambios. Ya dijimos que la última inversión ocurrió hace 780.000 años cuando el hombre todavía estaba en las cavernas. Es más, hoy en día, el ser humano se desplaza miles de km sobre la superficie de la Tierra, llegando a alturas de centenas de kilómetros, en el caso de los astronautas, o de miles de metros en el caso de los pasajeros de avión. En todos esos viajes se ve sometido a variaciones de campo magnético relativamente intensas (con respecto al valor médio del campo terrestre). Que yo sepa hasta ahora no se han reportado daños a la salud de origen magnético.

Para resaltar la importancia de la inversión polar, Braden afirma que cuando esta se produce el campo global se debilita y donde el campo magnético es débil, la humanidad está en *crisis*. Y así concluye que *los lugares en nuestro mundo con las menores intensidades magnéticas, atravesadas por líneas de contorno cero (0 Gauss), corren directamente sobre del canal de Suez e Israel, son precisamente los lugares donde vemos las mayores oportunidades para un cambio*. No sé de que campo magnético 0 habla Braden, porque no hay ningún lugar en la Tierra que tenga un campo nulo. Sin embargo la región con menor campo magnético, del orden de 0,000025 T (25.000 nT o 0,25 G) queda encima de las costas del sur

de Brasil, y se extiende más allá de las fronteras de Paraguay y Argentina. Esta es la llamada Anomalía del Atlántico Sur. En comparación con cualquier otro lugar del planeta, esta región es política y socialmente extremadamente tranquila. Como referencia, y ya que él lo comenta, en Medio oriente, la intensidad total del campo magnético es aproximadamente el doble que en la región de la Anomalía.

Concluyo este capítulo preguntándome nuevamente qué indicios tenemos de que el pueblo maya, tan perspicaz, haya percibido la existencia de un Campo Magnético y hallado su influencia sobre los seres vivos. Ni el propio Braden es capaz de citar un ejemplo. Recordemos que aunque la brújula era conocida por los chinos desde el siglo IV A.C., no es hasta el siglo XVII, con los trabajos de William Gilbert, que las propiedades del Campo Magnético Terrestre son estudiadas.

4.5. Bibliografia

A continuación una lista de libros y artículos que fueron consultados para escribir este capítulo.

Argüelles, J., *The Mayan Factor:Path beyond Technology*, en *The mistery of 2012*, Sounds True, Boulder, EEUU, ISBN: 978-1-59179-674-9 (2009)

Aveni, A. F.,*Observadores del cielo en el México antiguo*, Fondo de Cultura Económica (México), ISBN: 0-2927-7557-1 (1980)

Bogue, S.W., Glen, J.M.G.,Very rapid geomagnetic field change recorded by the partial remagnetization of a lava flow, *Geophys. Res. Lett.*, **37**, *L21308, 5 PP* (2010)

Coe, R.S., Prêvot, M., Camps, P., New evidence for extraordinarily rapid change of the geomagnetic field during a reversal, *Nature*, **374**, *687-692* (1995)

Dikpati, M.,*Predicting Cycle 24, using varios dynamo-based tools*, *Ann. Geophys.*, **26**, 259-267 (2010)

Duhau, S., de Jager, C., The Forthcoming Grand Minimum of Solar Activity, Journal of Cosmology, **8**,(2010), consultado el 08 de marzo de 2011

Fuls, A.,*Archästronomie*, `http://www.archaeoastronomie.de`, consultado el 9 de octubre de 2010.

Jenkins, J. M.,*2012, a historia*, Larousse do Brasil, São Paulo, ISBN: 978-85-7635-718-6 (2010)

Jenkins, J. M., *The origins of the 2012 Revelation*, en *The mistery of 2012*, Sounds True, Boulder, EEUU, ISBN: 978-1-59179-674-9 (2009)

Jenkins, J. M.,*The True Alignment Zone*: http://alignment2012.com/truezone.htm, consultado el 26 de diciembre de 2010

Jenkins, J. M., *The Great Year and the Lost Star* http://www.alignment2012.com/thoughtsoncpak-sent-to-heidi5-24.html, consultado el 26 de diciembre de 2010.

Miyahara, H., Kitazawa, K., Nagaya, K., Yokoyama, Y., Matsuzaki, H., Masuda, K., Nakamura, T., Muraki, Y., Is the Sun Heading for Another Maunder Minimum? Precursors of the Grand Solar Minima, Journal of Cosmology, **8**,(2010), consultado el 08 de marzo de 2011.

Petrovay, K., Solar Cycle Predictions, Living Rev. Solar Phys. **7**, *6*,(2010), consultado el 27 de diciembre de 2011, URL:http://www.livingreviews.org/lrsp-2010-6

Parte II

A la luz de las ciencias

Capítulo 5

El misterioso chorro galáctico

Figura 5.1: Una foto 360° del sitio del telescopio VLT (ESO) en Paranal, Chile. A la derecha de los 5 edificios, se ve la banda *lechosa* entremezclada con manchas oscuras de la Vía Láctea. (Wikimedia Commons)

En la oscuridad del cielo nocturno en una luna nueva, una banda blanquecina cortada por manchas oscuras, atravieza la bóveda profunda repleta de estrellas. Los griegos la llamaron *Galaxias* ($\gamma\alpha\lambda\alpha\xi\iota\alpha\zeta$) y creían que era la leche de Hera, que se desparramaba por el cielo y llegaba hasta Heracles hijo del dios Zeus y la princesa Alcmena, nieta de Perseo. Todas las culturas crearon mitos en torno a esa banda iluminada que hoy llamamos **Vía Láctea**, traducción literal de la palabra griega, y que en España es conocida también con el nombre de *Camino de Santiago*.

Aristóteles dice que Anaxágoras y Demócrito habían propuesto que la Vía Láctea está compuesta por un gran número de estrellas indistinguibles que se funden para formar la banda lechosa. Probablemente fue Galileo Galilei, el primero a observarla con un telescopio, quien comprobó la teoría de los filósofos griegos. Con el aumento de la potencia de los instrumentos, no sólo se verificó esta idea, sino que se descubrieron *nebulosas espirales*, que parecían ser lo mismo que la Vía Láctea, y a los que el astrónomo norteamericano Heber Curtis llamó de *universos islas*. En un debate muy recordado se enfrentaron a principios del siglo XX los astrónomos que pensaban que los *universos islas* de Curtis eran objetos externos a la Galaxia, con aquellos que los suponían pertenecientes a la misma. Fue Edwin Hubble quien finalmente cerró la discusión al poder calibrar la distancia a algunas de estas *nebulosas*, encontrando valores de millones de años luz, incompatibles con el tamaño de nuestra galaxia.

Al estar inmersos en medio de la Vía Lactea, como en un bosque, nos resulta difícil comprender su estructura y tamaño. Por eso estudiamos otras como la que aparece en la foto de la Figura 5.2.

Dentro de las galaxias, las estrellas se organizan y tienen características comunes, ya que comparten un origen común. Las galaxias están compuestas, además de estrellas, de *materia oscura*, mayormente gas y polvo. A partir del gas se forman las estrellas y planetas. A lo largo de su vida activa, una estrella devuelve material al medio donde se formó. Este material se encuentra modificado, y así las nuevas estrellas que se formarán tendrán una composición química diferente. Lentamente la galaxia evoluciona. Sabemos, por ejemplo, que elementos más pesados que el hierro debieron formarse en los hornos violentos

Figura 5.2: Galaxia M81, o NGC3031,sólo observada en el Hemisferio Norte en la constelación de la Osa Mayor, una de las primeras en aparecer en catálogos y que puede ser observada sin necesidad de telescopio. Fotografía del Hubble Space Telescope (Copyright: Space Telescope Science Institute y NASA)

de las *supernovas*, estrellas que al final de su ciclo principal, explotan. El oro que fascinó desde siempre al hombre se formó en alguna supernova de la región donde después se crearía el Sistema Solar.

Probablemente las galaxias sean los primeros *nuevos* objetos estudiados después de creado el telescopio. Algunas pueden ser observadas sin aumento, aunque es muy difícil distinguir la estructura que las caracteriza. Sin embargo conocemos desde tiempos inmemoriales dos galaxias que acompañan las noches del cielo austral, llamadas de *Nubes de Magallanes* por haber sido el navegante portugués Fernando de Magalhães quien las *descubrió* para la cultura europea, durante su larga travesía comenzada en 1519. Las había registrado antes el astrónomo persa Abd Al-Rahman Al Sufi en el año 964 y después Amerigo Vespucci hacia 1503. Las sociedades establecidas en América del Sur antes de la llegada de los españoles, las conocían muy bien. Por ejemplo, los guaraníes llaman *Bebedero del tapir* y *Bebedero del jabalí* a la Gran Nube y Pequeña Nube respectivamente. La foto de la Figura 5.3, tomada por medio de un pequeño telescopio del Observatorio Europeo Austral (ESO), muestra estas dos pequeñas (*enanas*) galaxias irregulares, las más próximas de la Vía Láctea a 175.000 y 200.000 años luz de distancia. Fue en la Gran Nube que ocurrió en 1987 la última supernova que pudo ser vista sin la ayuda de telescopios.

Figura 5.3: Fotografía de las Nubes de Magallanes, bautizadas de *Pequeña* y *Grande* (Observatorio Europeo Austral (ESO))

.

5.1. Qué es una galaxia?

De una forma resumida, las galaxias son mayormente un conjunto de estrellas, gas y polvo unidos por la fuerza gravitatoria. Deberíamos incluir también la materia formada por los objetos sólidos y fríos como los planetas, asteroides, planetoides, y cometas. Sin embargo desconocemos cuál es su proporción respecto del total de materia galáctica, ya que sólo conocemos lo que observamos en el Sistema Solar, donde representa menos del 1 % de la masa total, estando el resto en el Sol. También deberíamos incluir los demás tipos de materia oscura que sospechamos debe existir, sin embargo sólo podemos especular su existencia, ya que su origen y propiedades son materia de debate. Las galaxias, por otra parte, tienden a agruparse entre sí. La mayoría se formó en los primeros 1.000 millones de años del Universo, que hoy tiene unos 13.700 millones de años. Es decir, las galaxias son objetos muy antiguos y numerosos, como lo demuestra la fotografía de la Figura 5.4.

Al observar tantas galaxias que se encuentran a distancias diferentes, aunque tengan aproximadamente la misma edad, estaremos observándolas en momentos diferentes de su evolución. Por ejemplo, galaxias del *Grupo Local* son observadas como eran hace unos pocos millones de años, mientras que la foto de la Figura 5.4 nos muestra un conjunto de galaxias hace 12.000 millones de años. El estudio de las galaxias comienza por una clasificación en base a sus formas, y así surgen tres tipos básicos: (1) elípticas, (2) espirales y (3) irregulares. Las galaxias espirales se subclasifican entre las que tienen barra y las que no tienen barra central. Ejemplos de los tres tipos principales son mostrados en la Figura 5.6.

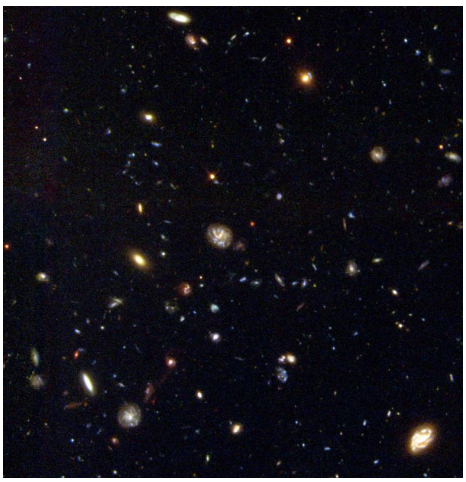


Figura 5.4: Imagen obtenida por el Hubble Space Telescope de un *Campo Profundo* en el Hemisferio Sur (Hubble Deep Field South, en inglés), donde pueden verse miles de objetos difusos de formas variadas, son las galaxias, muchas de ellas observadas como eran hace 12.000 millones de años. (Autores: R. Williams del STScI y el grupo HDF-S de NASA).

A partir de estos tipos Edwin Hubble creó una clasificación morfológica de las galaxias conocida como diagrama diapasón y que mostramos en la Figura 5.6. A pesar de que el dibujo parece mostrar una evolución temporal a partir de galaxias elípticas hacia las espirales (el propio Hubble así lo creyó) hoy la evidencia observacional contradice esta presunción. El diagrama sin embargo sigue siendo muy didáctico porque permite recordar todos los tipos facilmente.

Galaxias del tipo **S0** son conocidas también como *lenticulares*. Se caracterizan por tener un centro elíptico y un disco de estrellas y polvo. La clasificación de la Figura 5.6, por otro lado no es completa. Tenemos todavía a las galaxias irregulares, muchas veces simbolizadas por **Irr**. Más importante todavía, las *galaxias peculiares*. A veces su peculiaridad resulta de la forma, como las llamadas galaxias *antena*, otras veces por tener una emisión sorprendente en su núcleo (y de allí es que son también llamadas de *Galaxias de Núcleo Activo* o *Active Galactic Nuclei*). De este último grupo se destacan los *Quasars*, cuyo nombre deriva de las palabras *quasi stellar object*, objeto casi estelar. Los Quasars fueron descubiertos a fines de la década del 50 y están entre los objetos más distantes que podemos observar. El misterio que rodea el origen de la energia que liberan, las polémicas que han levantado sobre su distancia (ver por ejemplo *Quasars, Redshifts, and Controversies* de H. Arp), los volvieron objetos de culto. Últimamente han encontrado una utilidad inesperada como referencias del sistema de coordinadas de los satélites GPS. Recuerde entonces, cada vez que aterrice sano y salvo, agradéscale a un Quasar.

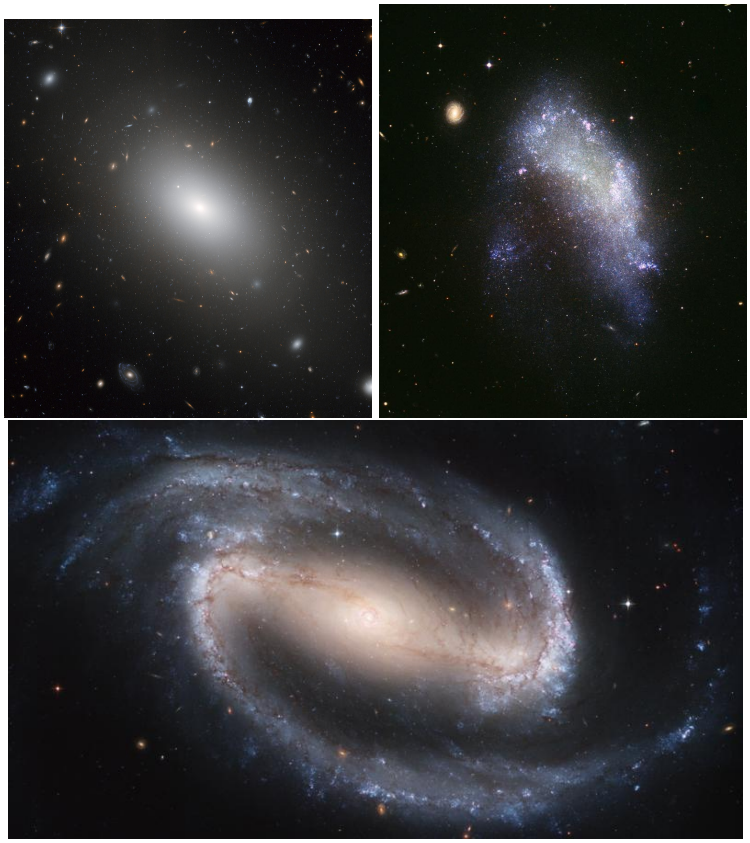


Figura 5.5: Izquierda: Galaxia elíptica NGC 1132 (STScI y NASA), Derecha: Galaxia irregular 1427A (STScI y NASA) Abajo: Galaxia espiral con barra NGC 1300 (STScI e NASA)

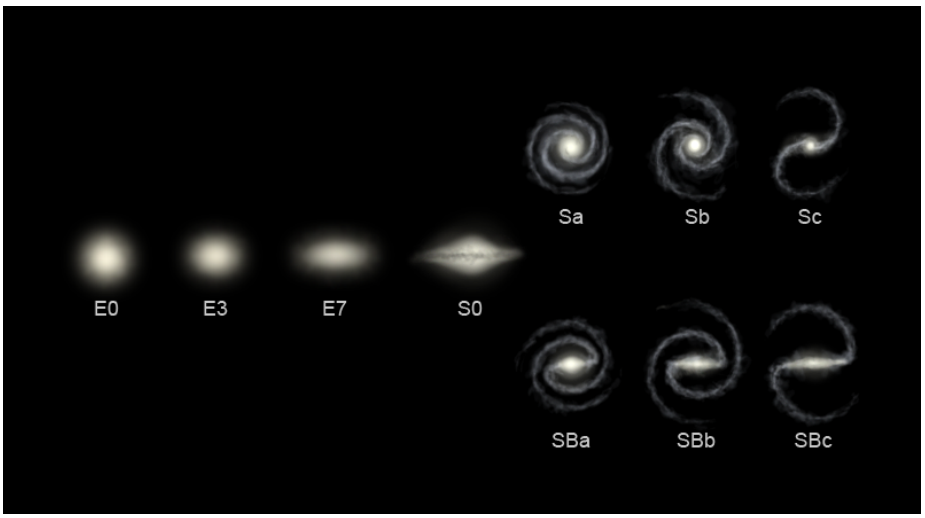


Figura 5.6: Esquema diapasón de la clasificación de galaxias inventado por Edwin Hubble hacia 1929. Las galaxias espirales con barra son llamadas **SB**, las que no tienen barra simplemente **S**, las elípticas **E**. La subclasificación entre las elípticas (0 a 7) corresponde al grado de elipticidad. En el caso de las **SB** y **S**, tres subtipos básicos son definidos **a**,**b** y **c** que indican cualitativamente la abertura de los brazos. (Fuente Wikipedia, consultado el 02/04/2010).

5.2. Estrellas

Los elementos más conspicuos de las galaxias son las estrellas, son también los que marcan los caminos de su evolución. Por eso debemos detenernos un poco en ellas. Vamos a ver en primer lugar la característica de la luz estelar. Las estrellas no emiten igual intensidad para todos los colores. En astrofísica hablamos de *longitud de onda* en vez de color y la representamos por la letra griega lambda: λ. La longitud de onda es un concepto más amplio que el color, de hecho hay muchas longitudes de onda a las que no podemos atribuirle ningún color, ya que este último es un concepto definido por el ojo humano, que sólo detecta un rango pequeño de longitudes de onda.

La luz visible (al ojo humano) tiene λ muy pequeño, aproximadamente entre 400 nm (ultra violeta) y 800 nm (casi infra rojo), algunas personas verán más, otras menos. En la Figura 5.7 de abajo mostramos un esquema del espectro electromagnético (luz) que abarca desde los rayos X hasta las ondas de radio kilométricas. Como puede verse, la ventana visible es bastante pequeña.

Uno diría que lo mejor es observar a las estrellas en ondas de radio ya que allí parece haber más información. Sin embargo las estrellas emiten muy poco de su energía en esta banda, y así es difícil observarlas a distancias lejanas. El espectro global de una estrella es el que corresponde a un Cuerpo Negro, ente teórico que nada tiene de negro ya que puede ser muy luminoso y que para la temperatura de una estrella, tiene su máximo en la región visible del espectro, emitiendo en las bandas de radio una fracción despreciable. La forma más

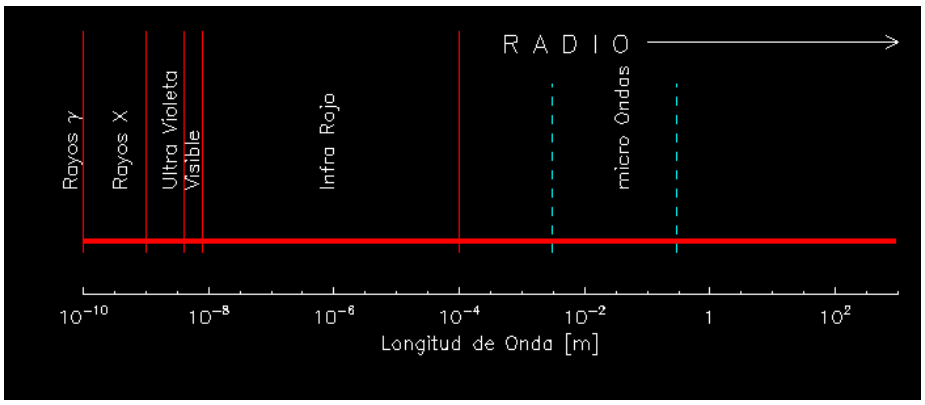


Figura 5.7: Representación del espectro electromagnético (luz).

detallada de estudiar una estrella es por medio de un espectro. Sin embargo se puede obtener información muy útil si usamos filtros *pasabanda*, elementos ópticos diseñados para dejar pasar la luz en un rango determinado del espectro. Con diferentes filtros podemos montar una especie de espectro segmentado. Entre muchos esquemas de filtros, el más famoso es el llamado **UBVRI** que describimos abajo

Símbolo	**Banda**	λ **Central [nm]**
U	Ultra Violeta	396
B	Azul	433
V	Visible	547
R	Rojo	640
I	Infra-vrojo	790

La luminosidad de una estrella, es transformada en un número al que damos el nombre de **magnitud**. Este número puede ser negativo o positivo, lo más importante es que **es menor para luminosidades mayores** lo que a priori parece no tener sentido. El motivo de mantenerlo así es histórico, como muchas otras decisiones en astronomía. La definición precisa de magnitud es

$$m = -2,5 \log(L/L_\circ)$$

donde $L_\circ$ es una luminosidad de referencia. Midiendo la magnitud de una estrella usando filtros resultará un valor diferente para cada uno de ellos porque el brillo de la estrella depende de la longitud de onda como nos muestra la Ley de Planck. Cuando nos referimos a la magnitud de un *color* (obtenida usando un filtro) usamos el símbolo del filtro directamente, por ejemplo, U=2,3 y B=2,6 son las magnitudes de una estrella en el Ultravioleta y el Azul respectivamente. Una estrella *caliente* emite más en el Ultravioleta, su luminosidad es mayor en este rango y así su magnitud será **menor** que la magnitud en el azul. En otras palabras U-B será negativo. Lo contrario ocurre con una estrella *fría*. La diferencia de magnitud entre dos colores consecutivos (U-B, B-V, etc) es llamado *índice de color* y es un parámetro muy usado para clasificar una estrella.

A principios del siglo XX, dos astrónomos confeccionaron uno de los dia-

gramas más importantes para comprender la evolución de las estrellas usando justamente el índice de color. Ejnar Hertzsprung (1873 - 1967) astrónomo danés y Henry Norris Russell (1877 - 1957) de los EEUU, colocaron en un diagrama el índice de color en el eje de las abscisas (horizontal) y la magnitud absoluta en el de las ordenadas (vertical). En otras palabras, realizaron un diagrama de Luminosidad en función de la Temperatura. Un ejemplo de este diagrama puede ser visto en el siguiente link: `http://www.atlasoftheuniverse.com/hr.html`, La curva más larga que corre en diagonal de izquierda a derecha es llamada **secuencia principal**. Una estrella pasa la mayor parte de su vida dentro de ella, *en una ubicación única que no cambia con el tiempo*. Durante este período la estrella consumirá todo el hidrógeno disponible en su núcleo. Una vez que se haya acabado, comenzará la combustión del helio, y saldrá de la secuencia principal. Estrellas *gigantes*, son aquellas cuyo radio es mayor que las de secuencia principal a igual temperatura. Generalmente las estrellas se hinchan al salir de la secuencia principal, lo que las torna más brillantes. Lo contrario ocurre con las *enanas blancas*, que encogen tanto que, a pesar de ser bastante calientes, su brillo es muy débil. Las enanas blancas también representan un estado final de una estrella, que sufrió un colapso, encogió y, mientras conserva una masa semejante a la del Sol, su radio es parecido al de la Tierra.

La evolución de una estrella puede ser sintetizada de la siguiente forma: la estrella se crea junto con muchas otras a partir del colapso de una nube de gas y polvo galáctico. Mientras el gas colapsa la temperatura interna se incrementa hasta que comienzan reacciones de fusión nuclear. Cuando se *encienda* el hidrógeno, la estrella entrará en la secuencia principal donde permanecerá la mayor parte de su vida. Al agotarse el hidrógeno central, comenzará la fusión del helio. La evolución a partir de aquí dependerá mucho del tipo de estrella pudiendo aumentar su radio (convirtiéndose en una gigante), colapsar (pasando a ser una enana blanca) o explotar (supernova) dejando como residuo una estrella de protones, o hasta un agujero negro. Lo importante a recordar aquí es que la estrellas más calientes, de color azul, pasan por estos estados de manera muy rápida, porque el proceso de fusión que realizan (llamado ciclo CNO) es más eficiente que el llevado a cabo en estrellas frías (llamado cilco p-p). Una estrella caliente es por eso llamada *jóven* porque su vida no sobrepasa los 10 millones de años. Las estrellas frías (como el Sol) pueden vivir más de 10 mil millones de años. La estrellas azules (jóvenes, calientes) son las que pueblan en abundancia los cielos, no porque sean muchas, sino porque su brillo es muy intenso. Efectivamente, de la nube de gas original apenas una fracción muy pequeña será destinada a formarlas. Regiones donde hay estrellas azules indican formación estelar reciente; por el contrario, regiones pobladas por estrellas gigante rojas, parecen más a cementerios estelares donde la dinámica está disminuyendo.

5.3. Gas

Además de estrellas, las galaxias están constituidas por gas y polvo. En conjunto son llamados de *Medio Interestelar* o simplemente **MI**. Siendo el hidrógeno el elemento más abundante del Universo, su emisión es la más intensa. El hidrógeno neutro, simbolizado por **H** I, produce una línea espectral en

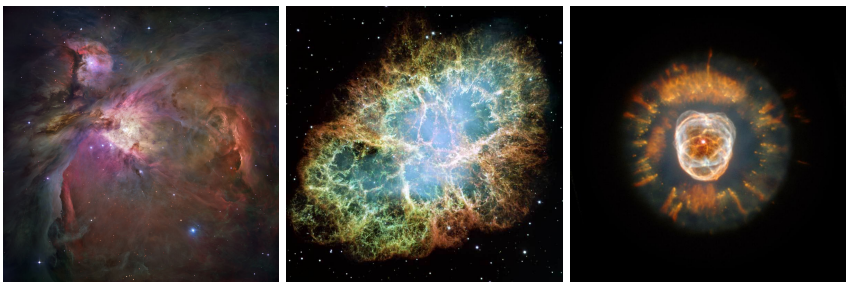


Figura 5.8: Izquierda: Región **H** II: Nebulosa de Orión. (STScI, NASA e ESA), Centro: Remanente de Supernova: Nebulosa del Cangrejo, (NASA e ESA, créditos: J. Hester e A. Loll) Derecha: Nebulosa Planetaria: NGC 2392 *esquimal* (STScI e NASA. Créditos para Andrew Fruchter, Sylvia Baggett, Richard Hook e Zoltan Levay)

la frecuencia de 1420 MHz que es la base de los estudios de la distribución de gas en cualquier galaxia. La línea de 1420 MHz es creada por la transición **up** a **down** (o al revés) del spin del electrón del H. Cuando es paralelo al spin del protón, el estado del átomo es ligeramente más energético, mientras que cuando son antiparalelos, es un estado de menor energía. El átomo de **H** I puede pasar a un nivel excitado por un agente externo, y allí permanecerá por mucho tiempo (medido en millones de años) ya que se trata de un estado *metaestable*. Cuando decae, emite un fotón en la frecuencia de 1420 MHz. La nubes de **H** I tienen temperaturas aproximadas de entre 80 y 100 K y densidades alrededor de 100 cm^{-3} (partículas por centímerto cúbico). Para tener una referencia, a nivel del mar, la atmósfera terrestre tiene 10^{20} cm^{-3}. Por medio de la observación de la línea de 1420 MHz del **H** I, podemos conocer la velocidad *radial* del gas, o sea, la velocidad de aproximación o recesión, usando el efecto Doppler. Algunas nubes de gas pueden ser más frías y estar compuestas de gas molecular, siendo la molécula de Hidrógeno, H_2, la más abundante. Estas moléculas emiten cuando son excitadas a estados rotacionales.

Si hay una fuente de luz ultravioleta intensa, por ejemplo una estrella *caliente*, el hidrógeno puede perder el único electrón y quedar ionizado (también puede ser ionizado por colisiones con otros electrones). En este caso lo simbolizamos así: **H** II o así $\mathbf{H}^+$. Las nubes de **H** II, son llamadas también de Nebulosas gaseosas. Existen diferentes tipos de Nebulosas Gaseosas: (1) las Regiones **H** II propiamente dichas, (2) los Remanentes de Supernova y (3) las Nebulosas Planetarias. Ejemplos de los tres tipos son mostrados en las imágenes de la Figura 5.8.

En las Regiones **H** II hay una intensa formación de estrellas masivas, que tienen una fuerte emisión en el ultravioleta (UV), este es el caso de la Nebulosa de Orión. La luz UV ioniza los átomos de H del gas alrededor de la estrella, cuando el electrón es recapturado (*recombinado*) emite en frecuencias más bajas, como por ejemplo Hα (653.5 nm). Los remanentes de supernovas son nebulosas formadas por el gas de la estrella que explotó mezclado con gas del MI. En este caso no hay una fuente ionizadora, sino la energía mecánica liberada por la explosión, que hace que las partículas, mayormente electrones, vayan ionizando

el ambiente en su desplazamiento. La Nebulosa del Cangrejo, producida por la explosión de una Supernova ocurrida en 1054, es un ejemplo típico. El último ejemplo de nebulosa ionizada está representado por las Nebulosas Planetarias[1]. Se trata del gas expelido por una estrella antes de entrar en la fase de Enana Blanca, mezclado con el gas del MI. Las enanas blancas son estrellas muy calientes, con temperaturas superficiales de alrededor de 10.000 K (pudiendo llegar hasta 150.000 K), por lo que producen muchos fotones UV, que excitan a la nebulosa que la rodea.

5.4. Distribucion de la materia

Ahora que sabemos los elementos que constituyen una galaxia, queremos saber como se distribuyen. Las galaxias están formadas tipicamente por tres regiones diferentes:

El Núcleo es la parte central de toda galaxia. Tiene una forma aproximadamente esférica con una extensión de un 10 a 20 % del radio de la galaxia. En general es de color rojizo, lo que indica que está poblado por gigantes rojas, estrellas *viejas*, también llamadas de *Población II* por el astrónomo alemán Walter Baade. Una gran cantidad de polvo la torna más rojiza aún, al absorber la luz *azul* y re-emitirla en frecuencias del rojo. Estas nubes de polvo impiden también que podamos ver con claridad el centro. Para poder acercarnos más, debemos usar ondas que tengan longitudes mayores, por ejemplo, infrarojo (IR), o radio. Técnicas radioastronómicas como Interferometría de Muy Larga Base (VLBI en inglés) y telescopios en órbita como el Spitzer o el Herschel están ayudando a conocer estas regiones *oscuras*.

El Disco está alrededor del núcleo y puede tener forma circular o elíptica y su espesor es mucho menor que su radio. Para hacerse una idea: en la Vía Láctea, el disco tiene un ancho de 2.000 parsecs (a partir de la distribución de **H** I), mientras que el radio supera los 20.000 parsecs. El disco de las galaxias espirales suele tener color azulado, debido mayormente a las estrellas *jóvenes* que están en constante formación, mezcladas con ellas hay nubes de gas y polvo, de coloración rojiza u oscura. En galaxias espirales, con menor tasa de formación estelar, la coloración suele ser en general rojiza. Estrellas del disco suelen ser llamadas también de *Población I*.

El Halo de una galaxia está conformado por grupos de estrellas (cúmulos) muy antiguos, que se distribuyen en forma esférica en una extensión tan grande como el disco.

A juzgar por las observaciones de estrellas y gas neutro, la mayor parte de la materia se encuentra concentrada en el núcleo de una galaxia. Esta observación se encuentra reñida con las *curvas de rotación* galácticas. Como ya hemos dicho, gas y estrellas giran en torno de un centro común. Su dinámica está regida por la

[1] El nombre de *planetaria* no tiene ninguna relación con planetas, a no ser que las primeras descubiertas daban una impresión de planeta gaseoso como Júpiter.

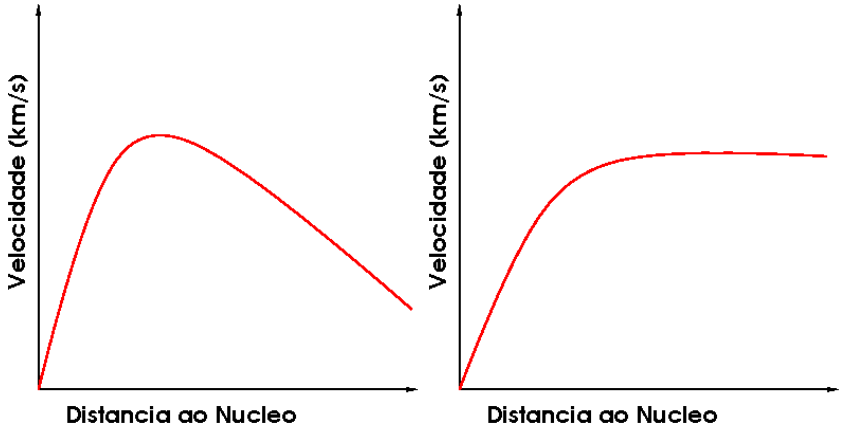


Figura 5.9: Izquierda: Esquema de la relación esperada entre velocidad de rotación y distancia al nucleo si la materia se encuentra concentrada en el centro. Derecha: Esquema de la relación entre velocidad de rotación y distancia al núcleo observada en la mayoría de las galaxias, incluyendo la Vía Láctea.

ley de gravitación, y por ese motivo esperamos que la velocidad aumente desde el centro hasta un cierto punto y después decaiga. El aumento se debe a que el sistema gira como un sólido, con velocidad angular constante y así su velocidad tangencial será proporcional al radio de giro

$$v = \omega \times R$$

donde v es la velocidad tangencial, ω la velocidad angular y R la distancia al centro de rotación. Una figura esquemática puede verse en la Figura 5.9.

La mayoría de las galaxias, sin embargo, muestran una relación diferente, tal como la esquematizada en el panel de la derecha de la Figura 5.9. Dos interpretaciones se imponen: o bien la teoría de gravitación no es completa (por ejemplo a escala galáctica tiene otros términos) o bien existe materia que no podemos ver, que no interactúa con las ondas electromagnéticas: la **materia oscura**. Por varios motivos, se acepta que la solución está en la existencia de la materia ocura: diferente de la que conocemos, sólo la podemos inferir, y sus características completas nos son desconocidas.

Uno de los mayores misterios de las galaxias espirales es el origen de sus brazos. Por la observación, sabemos que las galaxias deben haber completado más de 100 giros desde su formación. Esto debería crear brazos con 100 giros, algo que por simple inspección no es corroborado. El misterio fue resuelto en los años 60 suponiendo que los brazos son *ondas de densidad*. La idea es que el movimiento elíptico no es uniforme, y la *fase* (ángulo) de cada elipse depende de la distancia al centro. Un esquema puede verse en la Figura 5.10.

Muchos astrónomos han concluido que en el núcleo de varias galaxias, incluyendo la nuestra, hay *Agujeros Negros*. A esta conclusión se llega al observar el movimiento del gas y estrellas del entorno. Ahora bien, precisamos desmitificar a los agujeros negros. No son absorbedores de todo, sólo dentro del llamado

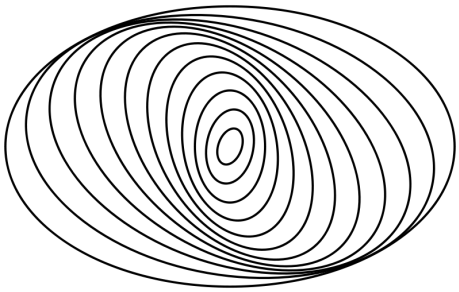


Figura 5.10: Esquema de las ondas de densidad en una galaxia espiral. Las regiones más oscuras (de mayor densidad) es donde se forma un brazo. (Wikipedia Commons).

Radio de Schwarzschild toda la materia y luz es impedida de escapar. De una forma suscinta, son una *singularidad* matemática, producto del colapso de la materia por la atracción gravitatoria. Todas las estrellas se encuentran en un equilibrio entre la atracción gravitatoria y la repulsión creada por la presión termodinámica. Cuando esta última cede, quedan pocos mecanismos para detener el colapso, algunos de ellos puramente cuánticos como el *Principio de Exclusión de Pauli*. Pero si estas últimas barreras no son suficientes, el agujero negro se formará. Muchas veces ocurren después de una explosión de supernova. En ese caso tendrá una masa no mucho mayor que la del Sol. En cambio *los agujeros negros supermasivos del nucleo de las galaxias se habrían formado junto con el núcleo y tendrían una masa de millones de soles.*

5.5. Galaxias de Núcleo Activo (*AGN*)

Algunas galaxias poseen una emisión muy fuerte, mucho mayor que la del resto, principalmente en frecuencias no ópticas como el UV o el IR. Hoy en día creemos que tienen un agujero negro supermasivo que genera un *disco de acreción*, que es el responsable por la radiación observada. Estas galaxias reciben el nombre general de *Galaxias de Nucleo Activo* abreviado por su sigla en inglés **AGN** (*Active Galactic Nuclei*). Miembros de esta clase son las *Radio galaxias*, las galaxias tipo *Seyfert* y *BL-Lac* y los más famosos *Quasars*, así llamados por ser *quasi stellar objects* (objetos casi estelares). El núcleo de los AGN posee también un elevado campo magnético. La interacción de la materia cayendo hacia el agujero negro y el campo magnético produce chorros de partículas perpendiculares al disco de acreción (que es paralelo al Disco galáctico). Ejemplos de AGN, en la Figura 5.11.

Para algunos Quasars, la masa del agujero negro central se estima del orden de 10^9 $M_\odot$ (masas solares), o sea, no muy diferente de la masa de toda la Vía Láctea, que tiene un *modesto* agujero negro de poco más de 10^6 $M_\odot$. De hecho la Vía Láctea está lejos de tener características de AGN. Una visión esquemática de este tipo peculiar de galaxias puede verse en la Figura 5.12. Hoy en día existe la idea de que los AGN son objetos de iguales características, lo único que

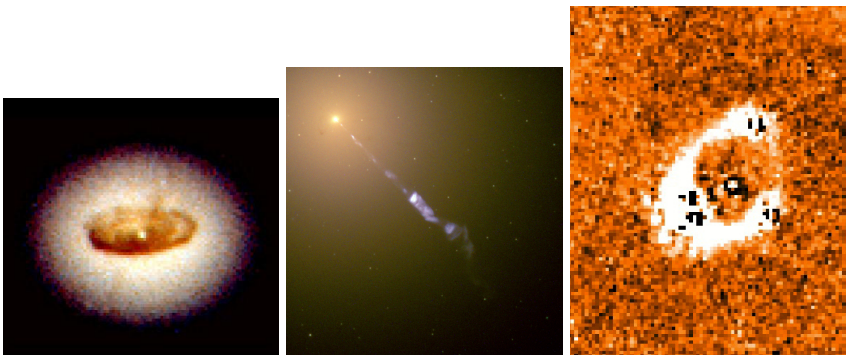


Figura 5.11: Izquierda: Nucleo de NGC4261, com el disco de acreción alrededor del Agujero negro (STScI, NASA, Créditos para Leo Ferrarese) Centro: Chorro de partículas lanzado por el nucleo de la Radio Galaxia M87 (STScI) Derecha: Anillo infra-rojo alrededor del Quasar PG 1115+080. (STScI, Crédito para Christopher D. Impey, University of Arizona)

cambia es la orientación relativa que tienen respecto de nosotros. Por ejemplo, si el jet está apuntando a la Tierra, o si vemos el disco de acreción de costado.

5.6. La Vía Láctea

La galaxia en la que se encuentra el sistema solar, llamada *Vía Láctea*, puede ser clasificada como una espiral con barra (SB). Su diámetro es de unos 30 kpc (kilo parsecs), mientras que el espesor de su disco debe ser menor que 1 kpc. El núcleo de la Galaxia es un elipsoide de unos $3,4 \times 1,8$ kpc. Por último el halo de la Vía Láctea posee unos 200 cúmulos globulares distribuidos esféricamente por fuera del núcleo hasta unos 50 kpc. Las estrellas de la Vía Láctea son divididas en dos grupos, llamados de *población I* y *población II*. En el primer caso se trata de estrellas *jóvenes* formadas en el disco y en el núcleo galácticos. Estrellas de población II se encuentran principalmente en los cúmulos globulares del halo aunque también en las entrañas del núcleo y son los objetos más antiguos de la Galaxia, tan antiguos como la propia Vía Láctea y el Universo en si mismo. Se interpreta que la formación estelar no ha cesado en el disco ni en el núcleo, por ese motivo encontramos estrellas jóvenes. El sistema solar se encuentra sobre el disco a una distancia de 8 kpc del centro galáctico en el llamado *brazo de Orión*. Demora más de 200 millones de años en dar una vuelta entera en torno del centro galáctico.

El Centro Galáctico (CG) se encuentra en la constelación de Sagitario. Es difícil observarlo con telescopios ópticos por culpa del polvo y gas que hay en su dirección y que absorben la mayor parte de la luz visible. Pero puede ser examinado por medio de ondas de radio o en el infra rojo. Por medio de estas longitudes de onda hemos podido aprender que hay una fuente emisora bastante intensa que ha sido bautizada de Sgr A*. A medida que las observaciones se fueron refinando se pudo comprobar que la misma es muy compacta y que la

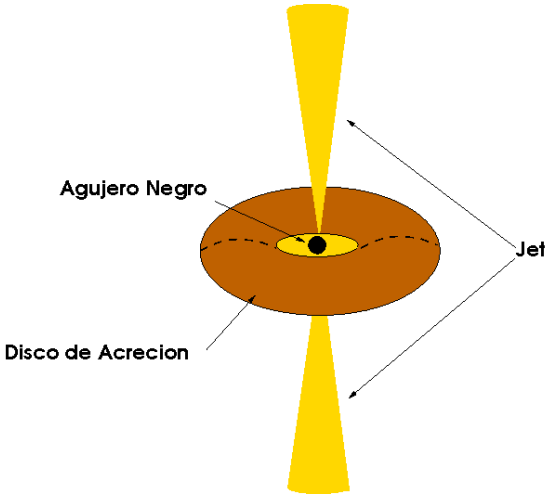


Figura 5.12: Esquema de la región central de un AGN. En su centro el agujero negro supermasivo. Alrededor del mismo, el disco de acreción. Perpendicular al plano de acreción (que es también el plano del disco galáctico) se ven los jets (chorros de partículas).

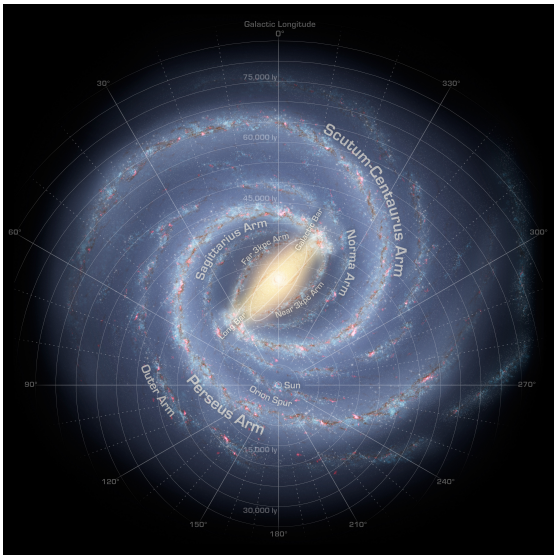


Figura 5.13: Concepción artística de la Vía Láctea con su estructura espiral, sus brazos principales y la barra central. (Fuente: NASA/JPL-Caltech/R. Hurt, 28/08/2011)

emisión proviene de una región de 15 UA (Unidades Astronómicas) de tamaño, semejante a la órbita del planeta Saturno. Se pudo determinar también que en la región del CG debe haber una masa equivalente a 2,5 millones de soles. La conclusión es que Sgr A* es un agujero negro, y el disco de acreción es el origen de la intensa radiación observada. Aunque no se le conoce un chorro, en el año 2001, el satélite de observaciones en rayos X Chandra, detectó una *explosión* (ouburst en inglés) con una duración de unas tres horas, al cabo de lo cual, la radiación volvió a los niveles habituales.

La Vía Láctea forma un sistema binario con la galaxia de Andrómeda, las masas de ambas son semejantes, y tiene dos pequeñas galaxias irregulares orbitando en torno de sí, llamadas de Nubes de Magallanes Mayor y Menor.

5.7. Bibliografía

A continuación damos una lista de libros y artículos que fueron consultados para escribir este capítulo.

Arp, H., *Quasars, Redshifts and Controversies*, Interstellar media, Berkeley (EEUU), ISBN: 0941325008, (1987)

Elmegreen, D. M., *Galaxies & Galatic Structure*, Prentice Hall, New Jersey (EEUU), ISBN: 0137792328 (1998)

Osterbrock, D. E.,*Astrophysics of Gaseous Nebulae and Active Galatic Nuclei*, University Science Books, California (EUA), ISBN: 0935702229, (1989)

Capítulo 6

Nada nuevo bajo el Sol

6.1. El *calmo* Sol

El Sol es una estrella. No debemos olvidar esto al momento de estudiarlo. Su cercanía nos hizo pensar por siglos que se trataba de un objeto único. Todas las sociedades de la antigüedad tuvieron alguna forma de adoración hacia él porque reconocían que era la fuente de energía, bienestar y alimentación. Y no se equivocaron en ello. Por eso me resulta un poco decepcionante la manera en que la contemporaneidad, en cierta forma, le ha vuelto la espalda. De ser el centro del Universo pasó a ser un objeto más del paisaje.

El Sol en números

Distancia	149.597.870 km (1 UA)
Rayo	695.510 km
	(109 rayos terrestres)
Masa	$1,989 \times 10^{30}$ kg
	(332.946 masas terrestres)
Volumen	$1,412 \times 10^{27}$ m^3
	(1,3 millones de Tierras)
Ac. gravedad	274 m s^{-2} (en la superficie)
Densidad	
Central	151.300 kg m^{-3}
	(densidad del água = 1.000 kg m^{-3})
Media	1.409 kg m^{-3}
Presión	
Central	$2,334 \times 10^{14}$ hPa
	(1 atm = 1.013 hPa)
Fotósfera	0,1 hPa
Temperatura	
Central	$1,5 \times 10^{7}$ K
Fotósfera	5.780 K
Corona	$(2-3) \times 10^{6}$ K
Luminosidad	$3,854 \times 10^{26}$ W
Constante Solar	1.368 W m^{-2}
Composición	(en número)
Hidrógeno	92,1 %
Helio	7,8 %
Demás	0,1 %

Bibliografia

Lang, K. , *The Sun*, em *The New Solar System*, Ed.: Beatty, J.K, Petersen, C.C, Chaikin, A., 4ta edición, Sky Publishing Corp., e Cambridge University Press, (1999)

Stix,M., *The Sun, an introduction*, Ed.: Springer, (2002)

Vayamos un poco a los números. En el Sol se concentra más del 99 % de toda la materia del Sistema Solar. Irradia $3,846 \times 10^{26}$ W de energía, una cantidad impensable, incomparable con cualquier parámetro humano. Suponiendo que el arsenal de bombas nucleares es de 10.000 Mega-Tones (equivalentes a 10^{19} J) significa que a cada segundo el Sol libera la energía de **10 millones de arsenales nucleares terrestres!** *A cada segundo...*

Toda la energía que usamos en la Tierra viene de forma directa o indirecta, de la energía liberada por el Sol. Los combustibles fósiles, que representan la forma más importante de generación de energía actualmente, son productos derivados de la fotosíntesis, proceso que usa la energía solar. Sería muy conveniente desde todo punto de vista que pudiésemos aprehender la energía del Sol de forma directa para nuestro uso. Pero hasta ahora no se ha encontrado una forma eficiente de hacerlo.

Nuestro Sol es una estrella común, se ha dicho. En términos *espectrales* se lo clasifica como **G2V**, una estrella *enana* de la secuencia principal. A 10 pc de distancia sería una estrella débil, dificilmente apreciable en las luminosas noches de nuestras ciudades modernas. De ser una estrella *única*, pasó a ser *mediocre*, una más de muchísimas otras. Hoy estamos redescubriendo que tal vez el Sol sea, dentro de su clase, una excepción. En cualquier caso, la *mediocridad* del Sol le ha permitido ser una estrella muy estable en su historia de más de 4.500 millones de años de existencia. No es que siempre haya sido igual (por ejemplo cuando entró en la *secuencia principal* exhalaba 30 % más de energía que ahora) pero los cambios no han sido violentos, lo que favoreció seguramente, la evolución de vida en la Tierra.

Semejante regularidad llevó a creer que el Sol no sufría cambios y era por lo tanto *inmaculado* como el resto de los objetos celestes. La visión aristotélica

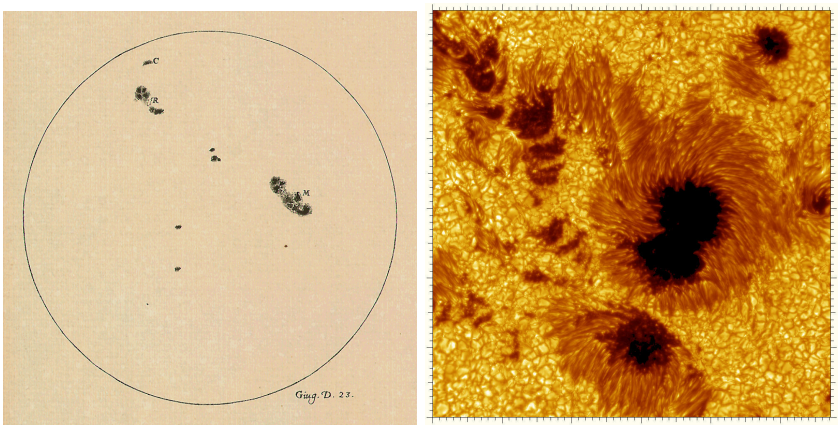


Figura 6.1: Izquierda. Dibujo realizado por Galileo mostrando las manchas sobre la superficie del Sol, extraido de *The Galileo Project*. Derecha, foto de manchas solares observadas con filtro Hα con el telescopio solar sueco.

de un cielo inmaterial, o mejor dicho, formado por una materia inexistente en la Tierra, la *quintaescencia*, se prolongó por casi dos mil años. Hacia 1607 un sistema de lentes ingeniosamente colocados dentro de un tubo, desarrollado por tres holandeses (Hans Lippershey, Zacharias Janssen y Jacob Metius) permitió aumentar el tamaño aparente de los objetos distantes. Dos años después, el sabio Galileo Galilei, (1564 – 1642) natural de Pisa aunque radicado en ese momento en Padua, mejoró el sistema y apuntó a los astros inaugurando la era astronómica moderna. En la primavera de 1610 observó el Sol (para ello proyectó la imagen sobre una pantalla blanca) y presentó sus descubrimientos a unos incrédulos hombres de fé y otros letrados, entre ellos el Padre Fulgenzio Micanzio. Para sopresa de los presentes el Sol no era *inmaculado*, por el contrario mostraba manchas, pequeñas áreas oscuras con formas más o menos circulares, distribuidas en grupos. Aunque existen evidencias de que otras personas ya habían observado las manchas solares, el hecho de que ahora se tratara de Galileo, rodeado por lo más encumbrado de la Iglesia Católica, y que estas observaciones pudieran hacerse de manera rutinaria, le dieron al descubrimiento una trascendencia única. Los cielos tampoco eran *puros*. Pocos meses después Galileo iría a vivir a Florencia, o, más correctamente a Arcetri desde donde continuaría observando el Sol día a día y levantando una estadística de las manchas solares, una actividad de gran trascendencia, como veremos más adelante. La Figura 6.1 a la izquierda es un dibujo del puño de Galileo, a partir de una observación realizada en junio de 1613. Después del telescopio, nunca más los cielos volverían a ser lo que habían sido. Las manchas solares siguen siendo objeto de análisis, como muestra la foto de de la Figura 6.1 a la derecha obtenida con el modernísimo telescopio Swedish Solar telescope.

6.2. El ciclo solar

A pesar de la excitación por el descubrimiento de manchas en el Sol, poco tiempo después, las observaciones rutinarias comenzaron a escasear. El propio Galileo perdió el interés y las abandonó poco después de 1613. Al mismo tiempo el Sol comenzó a dar muestras de *cansancio* y dejó de mostrar manchas en la misma cantidad que lo había hecho durante las primeras observaciones galileanas. Con esporádicos observadores y esporádicas apariciones de manchas transcurrió el siglo XVII. En el albor de la siguiente centuria, el 27 de diciembre de 1705, Stephen Gray de Canterbury (RU), observó un *flash* de luz cerca de una mancha en lo que sería el primer registro de una fulguración (también llamada explosión solar, y en inglés *flare*). Sin embargo sólo en 1859 se le daría suficiente importancia al fenómeno. Poco a poco las manchas fueron retornando al Sol y así también sus observadores. Junto con ellas los investigadores comenzaron a buscar:

1. Periodicidad en la aparición de las manchas
2. Vínculo con otros fenómenos, principalmente terrestres

No fue fácil lo primero, debimos esperar bien entrado el siglo XIX, cuando el alemán Heinrich Schwabe, nacido en Dessau, descubrió que el número de manchas en la superficie del Sol varía en un período de 10 años. A él le tomó 17 años de precisas observaciones, entre 1826 y 1843, y una búsqueda en los relatos de anteriores observadores, llegar a esta conclusión. Esto porque no es un fenómeno tan obvio como podría parecer. Las manchas aparecen en grupos, y es difícil contarlas dentro de estos grupos. Por eso fue importante que el suizo Rudolf Wolf, nacido en Zürich, también observador del Sol por décadas, definiera un índice conocido como *Índice de Manchas Solares*, *de Wolf* o *de Zürich*[1]. Para hallar el valor del índice SN se aplica la siguiente fórmula: $SN = (10G + N) \times k$, donde G es el número de grupos de manchas y N es el número de manchas individuales. El factor k se utiliza para uniformizar las observaciones de diferentes observatorios. El hecho de multiplicar por 10 el número de grupos ayuda a ver la variación del número de manchas y ese fue la gran contribución de Wolf. También se percató Wolf que el valor medio del ciclo es de 11,11 años, corrigiendo la primera estimación de Schwabe, y que hay ciclos con duración de 7 y otros de 14 años.

Con el descubrimiento de Schwabe se comenzó a hablar del **Ciclo Solar** (o de Schwabe). En el siglo XX George Ellery Hale mostraría que en las manchas solares el campo magnético es 1000 veces mayor que el campo medio del Sol, se comprobó además que el campo general del Sol se invierte con cada ciclo solar, o sea que en dos ciclos el polo norte magnético vuelve a coincidir con el polo norte geográfico. Es decir que el **ciclo magnético** tiene el doble de duración que el ciclo de manchas o de Schwabe.

Al tiempo que se descubría el ciclo solar, también se percataron los investigadores que cuando aumentaba el número de manchas, también aumentaba la aparición de *auroras polares*. Esto fue una indicación de que hay una conexión entre la actividad solar y fenómenos atmosféricos terrestres. En mi experiencia

[1] En inglés es llamado de *sunspot number* y muchas veces se traduce como *número de manchas* lo que es un error ya que se trata de un índice

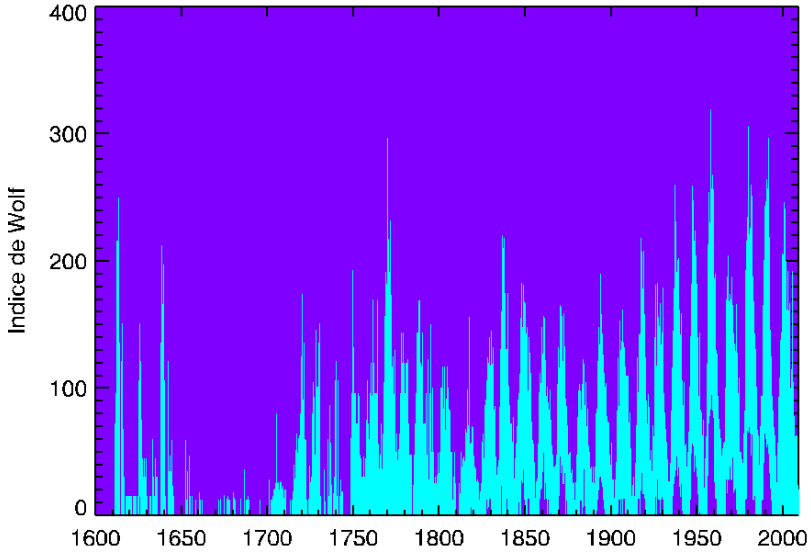


Figura 6.2: Indice de manchas solares o de Wolf *SN* en función del tiempo incluyendo las observaciones de Galileo hasta marzo de 2009.

personal puedo decir que fue en una clase de Economía Política, durante el último año del colegio secundario que escuché hablar por primera vez sobre él. El profesor recordaba el célebre tratado del economista escocés Adam Smith, *La Riqueza de las Naciones* (1776), donde comenta que el precio del trigo aumenta y disminuye en un ciclo de 11 años producido por las variaciones de actividad del Sol que mejoran y empeoran la cosecha. Quien presentó por primera vez estas ideas fue Wilhelm Herschel (1738 – 1822), astrónomo alemán trabajando en Inglaterra. Muchos años después encontré algunos trabajos intentando demostrar esta relación que, de ninguna forma es evidente.

Sin embargo hay un hecho que debe llamarnos la atención. Mirando el gráfico del índice de manchas, se registran valores muy bajos entre 1640 y 1715. Este hecho, que comentamos al comienzo de este capítulo, es conocido como **Mínimo de Maunder**, en honor a Annie y Walter Maunder, astrónomos ingleses aunque quien originalmente se dio cuenta fue el astrónomo alemán Gustav Spörer. Este período coincide parcialmente con la llamada *Pequeña Era de Hielo* cuando las temperaturas globales cayeron hasta $0,8$ °C y convirtió los inviernos de Europa en los más fríos que se recuerde en las últimas centurias, lo que incluyó el congelamiento de ríos como el Sena en París y el Támesis en Londres. En la Figura 6.3 vemos varias reconstrucciones de la temperatura global en el pasado reciente, llamando la atención la variación negativa en el período entre 1500 y 1800 aproximadamente.

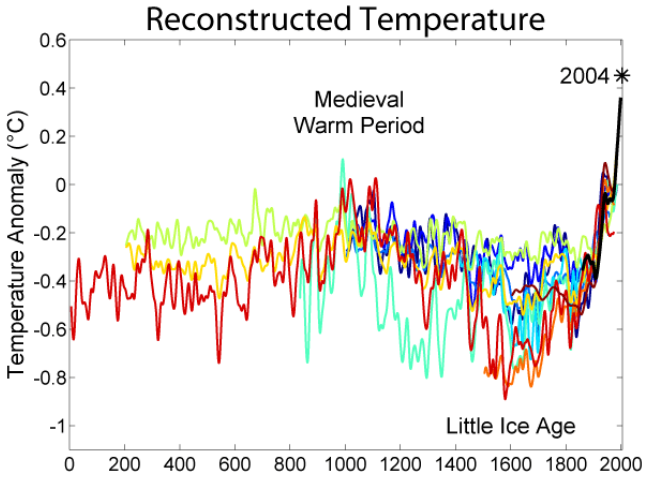


Figura 6.3: Reconstrucciones de la temperatura global en el pasado reciente. Observar la variación negativa de hasta $0,8$ °C coincidente con el Mínimo de Maunder. La explicación completa de esta figura incluyendo el origen de los datos está en Wikipedia Commons: `http://en.wikipedia.org/wiki/File:2000_Year_Temperature_Comparison.png`.

6.3. La Atmósfera solar

Parece un poco extraño de hablar de *atmósfera* cuando sabemos que el Sol es puro gas. Al final de cuentas la palabra atmósfera significa *esfera de vapor o aire*. Sin embargo podemos generalizar el término, pensar que atmósfera se refiere a aquella capa que puede ser atravesada por la luz. Y eso es lo que ocurre en la atmósfera solar, la luz pasa a través de ella y podemos ver los detalles y estucturas. A medida que nos adentramos en ella, llegamos a un lugar cuya luz es completamente absorbida, desde allí, hacia el centro del Sol hablamos de *interior* y su composición y estructura son apenas percibidos por medio de técnicas indirectas como la heliosismología. En la Figura 6.4 vemos las tres zonas en que se divide al interior solar: el núcleo, donde ocurren las reacciones termonucleares que son la fuente de la energía del Sol, la región radiativa y por último la convectiva. Aunque el interior solar es no sólo de enorme importancia sino también de inmenso caudal de información y conocimiento, no nos detendremos aquí en él.

6.3.1. Fotósfera

La energía creada en el núcleo solar recorre un largo trayecto hasta llegar a la superficie. Podemos estimar el tiempo que le lleva salir a la superficie en 10^{11} s o sea, varios miles de años. Allí, en una fina capa de 500 km de espesor, se produce la *luz blanca* que llega hasta nosotros y es por lo tanto la región que vemos al mirar sin utilizar filtros o detectores fuera del rango visible por nuestros ojos. Esta capa recibe el nombre de *Fotósfera*, en su base la temperatura es de unos 8.000 K, y decae hasta los 4.500 K. Dos estructuras se

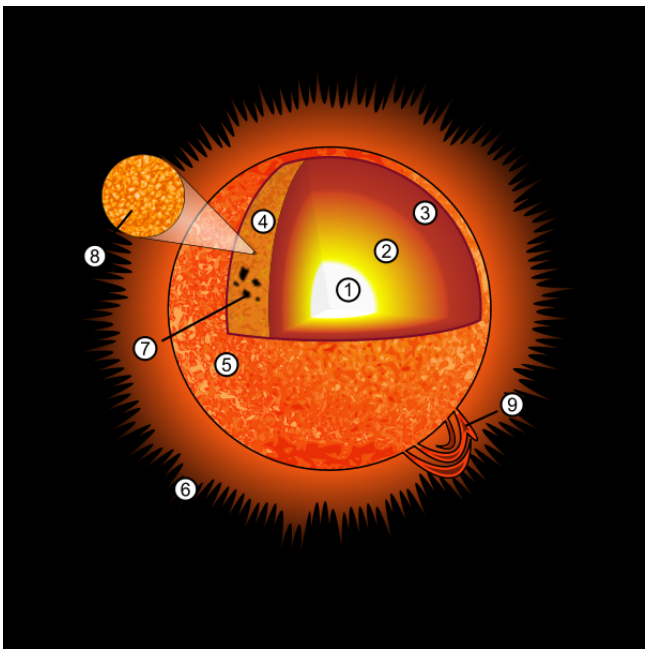


Figura 6.4: Diagrama de la estructura solar. (1) Núcleo, (2) Zona Radiativa, (3) Zona Convectiva, (4) Fotosfera, (5) Cromosfera, (6) Corona. (De Wikimedia Commons bajo licencia Creative Commons 3.0)

destacan en ella, las *manchas*, de las que hemos hablado tanto ya y los *gránulos*.

Los gránulos son una manifestación de la Zona Convectiva. Son pequeñas regiones brillantes rodeadas por contornos oscuros que están interconectados entre sí. Fueron observados por primera vez por Wilhelm Herschel, James Nasmyth y Angelo Secchi en el siglo XIX. La distancia media entre centros de gránulos contiguos es de aproximadamente 1.400 km, sin embargo el diámetro puede ser significativamente menor, tan pequeño como 140 km. Por otro lado, la *granulación* es un proceso *no estacionario*, esto quiere decir que sus promedios temporales no son constantes. La mayoría de los gránulos se forma del material dejado por otros gránulos más viejos. En el centro suele aparecer una mancha oscura que posteriormente se conecta al contorno intergranular. Los gránulos se dividen en varios fragmentos que pueden desaparecer o crecer formando nuevos gránulos y con una vida media que puede ser tan breve como algunos segundos y tan larga como 30 minutos con un promedio de 6 minutos. La granulación es un efecto de la convección que ocurre en las capas internas del Sol, un proceso que se debe, de forma básica, a que el interior es más caliente, el gas aumenta su temperatura y disminuye su densidad, lo que hace que suba, las capas superiores son más frías, y allí el gas se enfría, aumenta su densidad y cae al interior. Los gránulos son las células convectivas por donde sube el gas caliente, mientras que su contorno más oscuro es por donde el material baja. Han sido medidas velocidades de hasta 1 kms^{-1}, mientras que los modelos preven velocidades de hasta 1,6 kms^{-1}. Por otra parte, un exceso de presión al centro del gránulo y sobre la región del contorno, consigue producir un movimiento horizontal que

se frena en el borde. Como consecuencia de esto, el centro, por donde sube el material, es desacelerado, mientras que el borde, por donde baja el material, es acelerado. Esto provoca que al cabo de un tiempo, menos material caliente suba por el centro de la célula, tornándose oscura y finalmente desvanenciéndose. Una animación mostrando la dinámica de los gránulos puede ser visto en el siguiente link: `http://www.horaultima.decoelum.net/images/granulaciones.mpg`

Estructuras mayores han sido observadas. Son las llamadas *mesogranulación*, *supergranulación* y hasta la *granulación gigante*. En el primer caso se trata de células de tamaño aproximado de 7.000 km y velocidades de 400 ms^{-1}. La supergranulación está formada por células de 16.000 km de diámetro separadas por unos 30.000 km de distancia con velocidades horizontales de hasta 400 ms^{-1}. Por último existen evidencias de una granulación gigante, estructuras con tamaños de 10^5 km, o sea que ocupan una parte considerable de la superficie solar y velocidad dedesplazamiento de unos 50 ms^{-1}. Sin embargo la observación de estas últimas es bastante difícil ya que debe primero ser sustraído el movimiento de la rotación diferencial del Sol, de la supergranulación y otras oscilaciones de la superficie solar (*modos p*).

En forma general, las distintas estructuras granulares observadas sobre la Fotósfera, nos permiten conocer de forma indirecta la Región Convectiva, que es donde se originan: cuanto mayor la estructura mas hondo en el interior son creadas.

Las Manchas son, en forma resumida, la región por donde asoma un tubo magnético embebido en el plasma solar. Los lugares por donde estos tubos (o arcos) magnéticos afloran en la superficie es donde se producen las manchas, cuya característica principal es su color oscuro, producto de poseer una temperatura inferior a su entorno. Las manchas pueden tener una región externa semi-clara, llamada *penumbra*, aunque esto no ocurre siempre. Es más, clasicamente las manchas nacen sin penumbra, y pueden evolucionar hasta adquirir una. Además las manchas pueden tener puntos brillantes en la región central más oscura. Todo esto revela que una mancha lejos de ser una estructura sencilla es altamente inhomogenea. Además las manchas normalmente nacen en grupo, dentro del cual normalmente existen dos manchas de mayor tamaño, en una disposición casi paralela al ecuador. La mancha que está al frente (en relación a la rotación solar) es llamada de *precedente* (**p**) , mientras que la que está atrás es la *seguidora* (**s**). Precedente y Seguidora tienen polaridades contrarias resultado de ser los puntos por donde emerge el tubo magnético. Por otro lado, la orientación es contraria entre hemisferios, es decir, si **p** es positiva y **s** es negativa en el hemisferio norte, **p** es negativa y **s** es positiva en el hemisferio sur. Esta disposición se conserva a lo largo de un ciclo solar, al ciclo siguiente las polaridades se invierten. Las manchas además se ubican siempre en las fajas $\pm(5-35)^\circ$ con una evolución temporal que hace que al comienzo del ciclo estén más alejadas del Ecuador, y lentamente se vayan desplazando hacia las latitudes menores. Cuando la latitud de las manchas en función del tiempo es graficada aparece un patrón conocido como Diagrama Mariposa. Por otra parte **no existen manchas con polaridades cruzando el Ecuador.** Un modelo animado de formación de manchas en el siguiente link: `http://www.horaultima.decoelum.net/images/SunspotsForm.mpg`.

Las manchas pueden tener tamaños muy variables, temperaturas entre 3400 K y 5000 K y campos magnéticos de unos 0,3 T (3000 G) a 0,4 T (4000 G). Y otra característica muy importante es que aparecen *hundidas* en la fotósfera, es decir, se ven como una depresión en la superficie. Este hecho ya había sido notado por el astrónomo escosés Alexander Wilson (1714 – 1786) en el año 1769 cuando se dio cuenta que en las manchas la zona penumbral más cercana al limbo se muestra de mayor extensión que aquella más alejada. Por modelos atmosféricos fue determinado que esta depresión es de unos 500 km aproximadamente y ocurre porque la *opacidad* se reduce dentro de una mancha y así vemos más profundo; también disminuye la temperatura. Recuerden que el Sol es puro gas, y por eso los límites de sus regiones son siempre muy variables.

Cuál es el motivo que hace que tubos de campo magnético afloren por la superficie? Cuál es la relación entre este fenómeno y el ciclo solar? Hace mucho ya sabemos que el Sol posee una rotación diferencial. Esto significa que el ecuador tiene una velocidad *angular* mayor que los polos. La rotación diferencial ocurre sólo a partir de la Zona Convectiva, hacia adentro el Sol rota como un sólido rígido. La causa de esta rotación diferencial es el movimiento de convección, unido al de rotación, que crea una fuerza de Corilis que desvía el movimiento de ascenso y así el intercambio de calor. Se produce una ligera diferencia de temperatura entre las latitudes mayores y las menores lo que resulta en un movimiento de materia que altera la velocidad angular local. La rotación diferencial hace que las líneas de campo magnético, originalmente bipolares, se retuerzan, aparecen líneas paralelas al ecuador y finalmente movimientos inestables acaban haciendo emerger arcos magnéticos. (Animación que representa el campo magnético global: `http://www.horaultima.decoelum.net/images/dynamo.mpg`.

El proceso lleva 11 años, lo que hace que se produzca una inversión del campo magnético en ese tiempo. O sea, cada 11 años se organiza un campo bipolar sobre la superficie del Sol, y cada 22 años las polaridades son restablecidas. Por ese motivo el *ciclo magnético solar* es de 22 años. Por supuesto que cuando decimos 11 o 22 años lo hacemos en términos medios, ya que la duración de un ciclo puede ser de hasta 14 años y tan breve como 9 años. Las razones de porqué esto ocurre son aún desconocidas. Es más, las variaciones de duración de cada ciclo parecen ser puramente aleatorias y pueden ocurrir casos *patológicos*, como el llamado mínimo de Maunder, período entre 1645 y 1715 en que casi no hubo manchas. Conocemos también períodos de extraordinaria actividad, de hecho todo indica que hacia 1957 tuvimos el mayor pico de actividad de los últimos 10.000 años. Por ahora son muchas las incógnitas ya que el modelo de campo magnético solar es muy rudimentario y necesitaremos más de 100 años para producir uno suficientemente preciso, si la evolución de la capacidad numérica de las computadoras sigue respetando la Ley de Moore.

6.3.2. Cromósfera

Si la Fotósfera parecía homogena y descubrimos que no es así, la Cromósfera (y las capas que están por encima de esta) contiene aún más elementos variables dentro de ella, al punto de hacernos dudar de la corrección del uso de *esfera* en

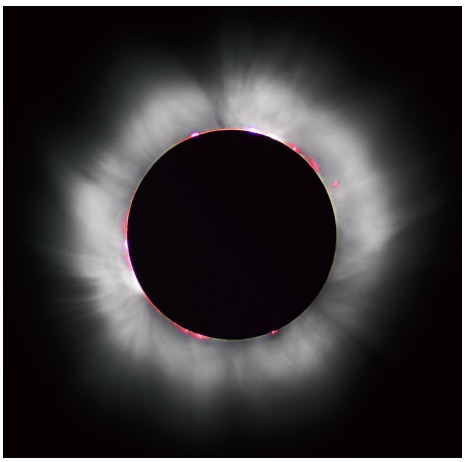


Figura 6.5: Fotografía de un eclipse solar del 11 de agosto de 1999 observado en Francia. La Luna cubre de forma precisa el disco solar, de esa forma podemos observar la emisión más ténue de las capas superiores, como la Cromósfera (manchas rojas) y la Corona (luz blanca difusa). Autor de la fotografía: Luc Viatour.

su nombre. Esta capa emite muy poca energía en el contínuo de luz blanca, por ese motivo no es observada a simple vista, sin embargo la emisión atómica, en determinadas frecuencias, puede ser mucho más intensa que la producida por la Fotósfera. Por ese motivo para observar la Cromósfera se utilizan filtros que sólo transmiten las frecuencias de estas líneas atómicas.

La Cromósfera es conocida desde la antigüedad, su nombre significa *esfera de color*, y es observada durante eclipses solares. Cuando la Luna cubre completamente el disco solar, en los bordes puede verse un arco de color rojo (ver foto arriba). Los astrónomos antiguos consideraron correctamente que el arco se extendería sobre toda la superficie del Sol. Pero fueron necesarios más de 2.000 años hasta que fuimos capaces de construir filtros ópticos capaces de dejar una estrechísima ventanita que deja pasar sólo un color determinado. Estos filtros, junto con un telescopio y una cámara fotográfica fueron los primeros recursos utilizados para estudiar la Cromósfera durante la segunda mitad del siglo XIX. En la Figura 6.6 vemos una fotografía con filtro centrado en la línea espectral cromosférica más conspícua, llamada Hα y con longitud de onda igual a 656,3 nm, fue observada por primera vez en el Sol por el astrónomo alemán Joseph von Fraunhofer y denominada por él con la letra C.

En la Cromósfera ocurren dos fenómenos muy importantes. El primero es un aumento de la temperatura. Vimos que en la Fotósfera la temperatura disminuye a medida que se aleja de la superficie, sin embargo en un punto esta tendencia se revierte. El mínimo de temperatura (4.200 K) indica el inicio de la Cromósfera que se extiende hasta alcanzar una temperatura cercana a los 8.000 K. Todo esto en un espesor de unos 2.000 km, muy estrecho si se piensa en el tamaño del Sol. El segundo fenómeno al que nos referimos son las *espículas*, que podemos describir como *dardos de gas* de 10.000 K de temperatura y velocidad

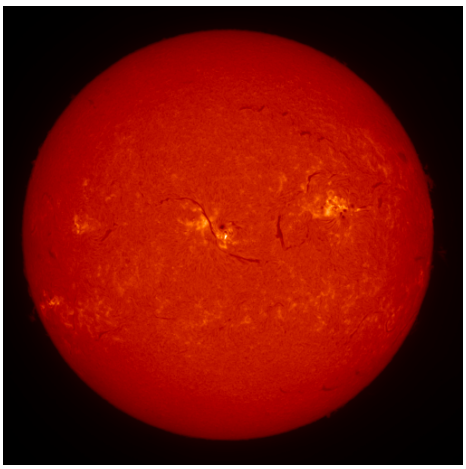


Figura 6.6: Fotografía del Sol usando un filtro centrado en la línea Hα (656,3 nm) producida mayormente en la Cromósfera. Se observa una gran cantidad de estructuras diferentes, como *filamentos*, *manchas*, *plages* y *prominencias*. Foto obtenida por el Telescopio de Big Bear el 2 de Noviembre de 2001.

de 25 kms^{-1} con tamaño de hasta 5.000 km. Las espículas representan varios problemas teóricos: *1)* no sabemos como son aceleradas, *2)* sea el que sea el mecanismo de aceleración, este debe continuar actuando durante su desplazamiento (una *trayectoria balística* no puede explicar la altura que alcanzan) y *3)* la cantidad de materia eyectada por las espículas es superior a la expulsada por el viento solar, es decir, de alguna manera parte de la materia retorna, aunque este movimiento de descenso no fue observado hasta hoy.

6.3.3. Corona

La fotografía del eclipse (Figura 6.5) muestra en toda su grandeza a la Corona, última capa de la atmósfera solar y también la más extensa. A rigor uno puede pensar que la Corona se extiende hasta el fin del Sistema Solar. Sin embargo por su baja densidad emite una luz blanca muy ténue que es difícil de observar a simple vista. Cuando ocurre un eclipse, el disco lunar cubre la mayor parte de la emisión fotosférica, y por eso podemos ver la Corona.

La característica más importante de esta capa es que su temperatura equivale a varios millones de grados. El mecanismo que mantiene la Corona a esta altísima temperatura es **todavía desconocido** a pesar de que varias teorías se han propuesto. Es uno de los misterios cuya solución es más deseada y para la que se han diseñado múltiples instrumentos. Esta alta temperatura crea condiciones para la emisión de Rayos-X y Ultra Violeta (UV), mucho más intensos que los emitidos por las capas inferiores y por este motivo no debemos esperar eclipses para observalos. Sin embargo para detectarlos debemos colocar telescopios en el espacio exterior, ya que la atmósfera terrestre los absorbe en su casi totalidad. Otra forma de observar la Corona es provocando un eclipse. Para esto se construyen telescopios ópticos a los que se les coloca un disco del tamaño del

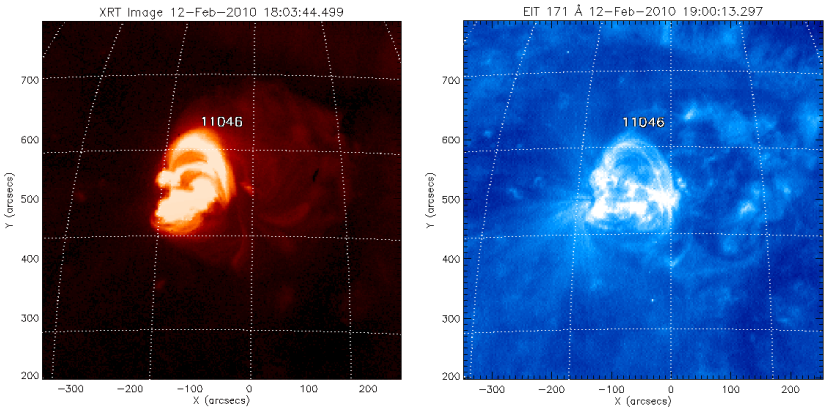


Figura 6.7: Izquierda: Detalle de una Región Activa observada en Rayos-X *blandos* por medio de un satélite de la serie GOES. Derecha: La misma región activa, observada en el UV por el satélite Trace. Los colores son fictícios.

Sol para tapar su disco, siendo llamados de *coronógrafos*. Los coronógrafos, sin embargo, no consiguen reproducir exactamente el efecto de la Luna. El disco de obstáculo debe ser construido más grande que el disco del Sol, para evitar problemas ópticos. En general, el disco tiene por lo menos dos radios solares. Ejemplos de observaciones espaciales y con coronógrafo, en las Figuras 6.7 y 6.8.

Las observaciones de las colas de los cometas llevaron a Lüdwig Biermann a justificar la existencia de una radiación corpuscular que parte del Sol, o, en palabras más llanas, un *viento solar*. Pocos años más tarde, en 1958, Eugene Parker explicaba el origen del viento solar por medio de la expansión de una Corona Solar a millones de grados de temperatura. La hipótesis de una Corona tan caliente fue, en aquel momento, herética y demoró algunos años para ser comprobada experimentalmente. La teoría de Parker es hoy ampliamente aceptada y las ideas básicas de su modelo aún son consideradas correctas.

El viento solar, que puede ser considerado como una extensión de la Corona, está lejos de ser una estructura homogenea. Medidas realizadas por medio de sondas interplanetarias, muestran que este es más rápido en los polos solares (750 kms^{-1}) y también más estable. En la región del ecuador solar, el viento es altamente irregular y su velocidad cae a la mitad. En este proceso el Sol pierde cerca de 4×10^{16} kg por año, un porcentaje muy pequeño de sus 2×10^{30} kg. La presión de este viento se hace sentir más allá de la órbita de Neptuno, último planeta del Sistema Solar y la región de su influencia es llamada de **Heliósfera**. Las sondas Vogayer 1 y 2 se encuentran en el final de esta *burbuja*, a una distancia de 100 UA, en una región llamada de *cobertura* o *vaina* (en inglés *heliosheath*).

La Heliósfera juega un papel crucial en el Clima Espacial y Terrestre que sólo estamos empezando a comprender. Cuanto más intenso es el viento, menos partículas entran en el Sistema Planetario. Estas partículas crean los llamados *rayos cósmicos* que fuera de la Atmósfera terrestre pueden traer problemas a los

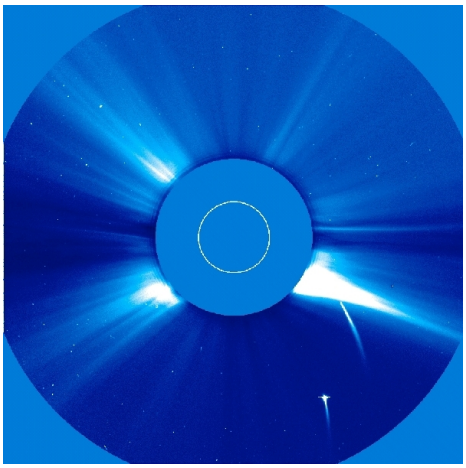


Figura 6.8: Fotografía del Sol en luz blanca obtenida por medio del coronógrafo a bordo del satélite SoHO. La circunferencia blanca en el centro representa el disco solar. El disco azul es el obstáculo colocado en frente al telescopio. Las *plumas* blancas es material abandonando la superficie del Sol. Las dos estelas blancas, en posición casi vertical abajo a la derecha de la foto, son cometas, probablemente cayendo al Sol. Este Coronógrafo se convirtió, sin haber sido para ello diseñado, en un excelente *cazador de cometas*.

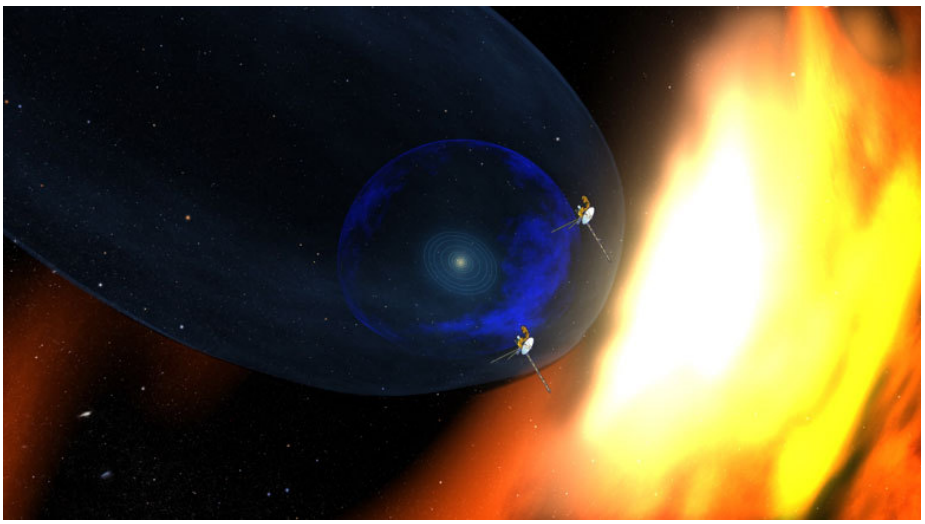


Figura 6.9: Representación de la posición de las Voyager 1 y 2 respecto de la Heliósfera. Al centro de la imagen el Sol, circundado por elipses que representan órbitas de algunos de los planetas. La burbuja azul es la Heliósfera, externamente se encuentra la *vaina* (sheath) En blanco/amarillo se representa la onda de choque provocada por las partículas interestelares contra la Heliósfera. (Fuente: Jet Propulsion laboratory. 14/02/2010.)

equipos electrónicos y a los sers vivos. Su influencia sobre la superficie terrestre es más especulativa, con teorías que los relacionan con la formación de nubes, aumentos de lluvias, y variación de la temperatura global. Así, en períodos de **baja actividad solar**, cuando el viento es menos intenso también, se espera un mayor bombardeo de rayos cósmicos, aumentando la cobertura de nubes y bajando la temperatura. Lo contrario podría ocurrir en los períodos de gran actividad solar.

6.3.4. Tempestades, explosiones y eyecciones

En la atmósfera del Sol ocurren eventos que podemos describir como *explosivos* por su corta duración y gran cantidad de energía liberada. Técnicamente sin embargo están muy lejos de parecerse a las explosiones de bombas que conocemos en la Tierra. La primera fulguración fue observada el primero de septiembre de 1859 por el astrónomo británico Richard Christopher Carrington (1826 – 1875). Carrington venía observando el Sol de manera periódica, y aquel día tuvo la suerte de ver en forma directa la mayor *fulguración en luz blanca* que debe haber ocurrido en los últimos 400 años. Según la descripción de Carrington una pequeña porción del conjunto de manchas más notable de aquel día incrementó su intensidad en luz blanca. El *fenómeno* como lo llama Carrington, duró pocos minutos. Magnetómetros (medidores del campo magnético terrestre) mostraron disturbios pocos minutos después, y unas horas más tarde los mismos equipos observaron una *tempestad* magnética. Carrington concluyó que ambos fenómenos estaban relacionados, inaugurando una rama nueva en las ciencias geofísicas, la de las *Relaciones Sol – Tierra* y dando el primer paso al llamado *Clima Espacial*. No sólo eso, le maravilló a Carrington que después de la *erupción* (*outburst* lo llama él en inglés) el conjunto de manchas mantenía la misma disposición, a pesar de que evidentemente acababa de ser emitida una gran cantidad de energía.

El estudio de las fulguraciones evolucionó rapidamente, sin embargo en luz blanca muy pocas más han sido vistas. Hoy en día entendemos las fulguraciones como un proceso en el cual el campo magnético se reconfigura buscando un estado de menor energía potencial. A lo largo del ciclo solar, el campo magnético se retuerce, creando zonas muy complejas, donde aparecen las manchas solares, y en general, las regiones activas. Es en estos vericuetos donde se acumula la energía, que es subitamente liberada durante una fulguración. Podemos pensar el campo magnético como una banda elástica. Imaginemos que tomamos esta banda y la retorcemos, una, diez, cien veces. Cada vez será más difícil. Hasta que finalmente, la banda escapa de nuestras manos y en un movimiento muy rápido recupera su forma original liberando la energía que acumuló. Este sistema se utiliza en aeromodelismo para proveer de un motor a los pequeños planeadores a hélice. En mi infancia los llamábamos de *goma motor*.

La energía liberada por el campo magnético es absorbida por las partículas del gas: siendo los electrones las mas livianas resultan ser acelerados en mayor número. El movimiento de los electrones es organizado por el campo magnético, algunos se dirigen hacia abajo (la Fotósfera) otros hacia arriba (la Corona). Los electrones acelerados interactúan con el gas ambiente (sea con otros electrones,

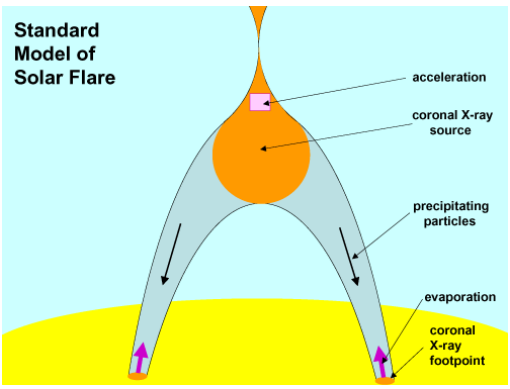


Figura 6.10: Boceto del modelo estándard de una fulguración solar. En la cima del arco magnético, (baja Corona), se produce la reconfiguración magnética (*reconexión*), las partículas son aceleradas (cuadrado rosa) y comienzan a moverse por las líneas magnéticas. Algunas *precipitan* hacia las patas del arco, otras toman un movimiento ascendente. En su interacción con el medio y con el campo magnético van produciendo diferentes formas de radiación. (Figura obtenida de Benz, A., *Flare Observations*, Living Rev. Solar Phys. 5, 2008, 1., consultado el 16/02/2010)

con átomos o con iones). Una enorme cantidad de procesos ocurre en escalas relativamente cortas de tiempo. Cada uno de estos procesos produce un *síntoma* propio, una *firma* como solemos llamarlo, que los distingue de los demás. Podemos rastrear cada proceso por separado y reconstruir el impacto de la erupción magnética, y a partir de esto, podemos comprender como fue el proceso que aceleró las partículas y, en definitva, el de reorganización del campo magnético. Sin embargo las cosas no son tan fáciles. Es como armar un Cubo Mágico de 50 caras y miles de piecitas. Siempre más de una sale del cuadro general. A pesar de estos fabulosos problemas, hoy en día el consenso general es el que se presenta en el boceto de la Figura 6.10.[2]

La variedad de interacciones, y la cantidad de energía hacen que se produzca radiación en todo el espectro electromagnético. Sin embargo estas formas de emisión se restringen a bandas estrechas, en algunos casos se trata de líneas atómicas, en otros son bandas más anchas, pero en muy pocos casos el rango correspondiente al visible es completado. En otras palabras, dificilmente se forme luz blanca, y cuando lo hace, es en regiones muy pequeñas y con una duración muy breve, de algunos pocos segundos. Por ese motivo la observación de Carrington es tan impar.

La cantidad de energía emitida por el Sol durante una fulguración es de alrededor de 10^{23} a 10^{25} J, lo que equivale a un milésimo hasta un décimo de la energía total que emite el Sol cada segundo producto de sus reacciones termonucleares. Es decir que se trata de una energía considerable. Sin embargo, como notó el propio Carrington, después de una fulguración, pocos cambios son

[2]Aunque de indudable utilidad práctica, este tipo de bocetos suelen ser llamados de *cartoons* para no olvidar su simplicidad en comparación con la complejidad del fenómeno.

observados en la configuración magnética. Es decir, la cantidad de energía liberada es un porcentaje muy pequeño de toda la almacenda por la Región Activa. En realidad esta irá perdiendo su energía en procesos mucho más lentos, *difundiéndose* lentamente hasta desaparecer unos 30 días después de formarse. En ese período habrá producido una decena de fulguraciones grandes y una cantidad aún desconocida de *micro*– o *nano*–fulguraciones además de *Eyecciones Coronales de Masa* (ver más abajo). Algunos investigadores creen que en las micro-fulguraciones se encuentra la clave para explicar el calentamiento de la Corona que mencionamos antes. Para terminar con los síntomas y diagnósticos de las fulguraciones, agregamos que estas son observadas por medio de todas las técnicas que la astronomía nos permite: desde radiotelescopios en frecuencias que van desde las centenas de MHz hasta, recientemente, las centenas de GHz , telescopios convencionales con filtros especiales para dejar pasar una faja estrechísima de frecuencias, hasta el extremo de los rayos UV, Rayos-X y los Rayos–γ. Ultimamente se están incorporando el rango Infrarrojo medio (decenas de μm) a lejano (centenas de μm). Sobre las consecuencias de las fulguraciones, sobre todo para la vida en la Tierra, hablamos más abajo.

Otra forma violenta de emisión de energía es la llamada Eyección Coronal de Masa (ECM). En este caso una porción considerable de gas es expulsada de la Corona (de allí su nombre) y entra en el espacio interplanetario. Junto con la energía cinética, el gas lleva también el campo magnético desprendido. Una definición más precisa de una ECM es: *Una alteración visible de la estructura de la Corona que ocurre en algunos minutos a horas y que es vista junto con la aparición de una estructura brillante y blanca en un coronógrafo* (Hundahausen et al, 1984). En el siguiente link una animación que muestra una EMC registrada por el satélite SoHO: `http://www.horaultima.decoelum.net/images/20000227_c23.mpg`.

Este fenómeno libera entre 10^{10} y 10^{13} kg de materia y entre 10^{20} y 10^{26} J de energía. La relación entre ECM y fulguraciones es altamente debatida, a veces ocurren ECMs junto con fulguraciones, a veces cada uno ocurre en un momento diferente. Como en el caso de las fulguraciones, la mayor parte de las preguntas sobre ECMs está aún abierta: sabemos que la energía liberada proviene también de la reconfiguración magnética, pero no sabemos por qué algunas veces ocurren fulguraciones, en otras ECMs y en otros casos ambas.

6.3.5. Influencia de la Actividad Solar en la Tierra: Clima espacial

Ahora que hemos descripto las diferentes formas en que el Sol muestra su actividad, queremos ver de que forma esta afecta a la Tierra, y en particular, a la actividad humana. Para poder hablar de este tema debemos introducir las ideas básicas de lo que llamamos *Magnetósfera*, que es la proyección al espacio del campo magnético terrestre.

No todo planeta tiene un campo magnético. La Tierra es particular en este sentido. Su campo magnético tiene una intensidad de entre 0,3 G en el Ecuador y 0,5 G en los polos, y se distribuye de forma bipolar, como si se tratara

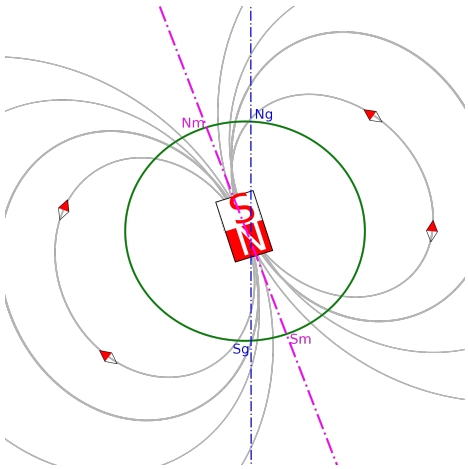


Figura 6.11: Esquema del Campo Magnético Terrestre, mostrando su configuración bipolar. (Fuente: Wikimedia Commons, citado el 28/02/2010)

de un imán de heladera. Es interesante notar que este imán tiene su polo Sur apuntando hacia el polo Norte geográfico y el polo Norte hacia el Sur geográfico. De esta manera el Polo Norte de una brújula se ve atraido hacia el Polo Sur Magnético (y llamamos su dirección de *Polo Norte*) y el Polo Sur de la brújula hacia el Polo Norte magnético (y lo llamamos de Polo Sur). Aunque parecería ser una contradicción, todo se trata de convenciones (que se extienden al ámbito sociológico también). En la Figura 6.11 mostramos una representación de este campo magnético que llamaremos *próximo*

El fuerte viento solar con una densidad de 4 cm^{-3} y velocidad promedio de 400 kms^{-1} altera la forma del campo magnético terrestre. El lado que enfrenta al Sol se ve reducido en tamaño y su radio es modulado por los disturbios desprendidos del Sol. En momentos de *calma* la llamada *magnetopausa*, zona donde la presión magnética del Sol equipara a la presión magnética de la Tierra, se encuentra a $10R_T = 63{,}700$ km. Sin embargo durante *tempestades magnéticas* la distancia puede disminuir hasta menos de 30.000 km. La región opuesta al Sol se ve por el contrario alargada, extendiéndose más allá de la órbita de la Luna (380.000 km) En la *magnetocola* pueden ocurrir interesantes fenómenos que dan origen a las Auroras Polares.

En 1716, Edmund Halley, descubridor del cometa que lleva su nombre, fue el primero en hacer la hipótesis que las auroras eran una consecuencia de la interacción de partículas con el campo magnético terrestre. Después serían Anders Celsius y Olav Hiorter en 1747 los que relacionarían las oscilaciones de una brújula con las auroras, lo que revelaba la naturaleza magnética del fenómeno. Y finalmente Carrington mostró la variación solar de 11 años en el campo magnético terrestre y las auroras.

Hoy en día el estudio de la interacción de la Heliósfera con la Magnetósfera y sus consecuencias para la vida moderna es un campo cada vez más importante

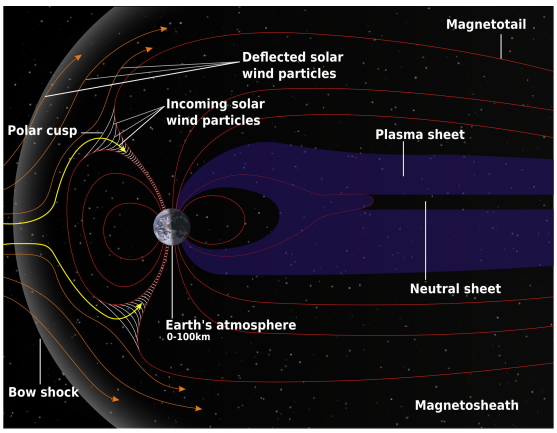


Figura 6.12: Esquema de la Magnetósfera o Campo Magnético Terrestre lejano. La forma bipolar es perdida por la interacción con el Campo Magnético y el Viento Solar (*Heliósfera*). Traducción. *Bow Shock*: frente de choque. *Polar Cusp*: Vértice Polar. *Incoming solar wind Particles*: partículas entrantes del viento solar. *Deflected solar wind Particles*: partículas desviadas del viento solar. *Earth Atmosphere*: atmósfera terrestre. *Magnetosheath*: Magnetofunda. *Neutral Sheet*: hoja neutra. *Plasma Sheet*: Hoja de Plasma. *Magnetotail*: Magnetocola. (Fuente: Wikimedia Commons, citado el 28/02/2010)

que recibe ingentes recursos de los gobiernos. Es fácil comprender por qué, al notar que las alteraciones al espacio exterior próximo son una consecuencia de esta interacción y al contar la gran cantidad de satélites artificiales que sirven a la navegación, la seguridad y la monitorización. Una vez que se produce un evento *explosivo* en el Sol, sea una fulguración o una Eyección Coronal de Masa, en 8 minutos llega la radiación electromagnética a la Tierra. Veinte minutos después, las partículas cargadas más energéticas. Por último, la nube eyectada, en el caso de una ECM, demora 80 horas para llegar. Todos estos valores son promedios (excepto la radiación electromagnética) ya que dependen fuertemente de la energía de cada uno.

Si bien las auroras son los fenómenos más conocidos, la preocupación hoy en día está en la protección de equipos en órbita. Las partículas cargadas (*radiación ionizante*) es capaz de producir daños en los circuitos electrónicos que pueden llevar, desde un mal funcionamiento momentaneo a la inutilización permanente. Dependiendo del equipo dañado, la radiación podrá hacer que el satélite entero quede inútil. Una protección efectiva contra estas partículas significaría un blindaje pesado que implica un costo de puesta en órbita prohibitivo. Hay que tener en cuenta, por otro lado que la gran mayoría de los satélites se ubica por dentro de la Magnetósfera ($< 10R_T$) lo que les garantiza una cierta protección siempre. A pesar de esto el aumento de partículas en el área donde se encuentra el satélite, cambia las características del medio aumentando la fricción, lo que le hace perder energía y tendrá entonces una vida más corta. Está claro que más peligro pueden correr astronautas en el espacio, principalmente cuando se encuentran en una caminata espacial donde pueden ser blanco de radiaciónn α, β o γ.

Cuando se desata una *tormenta magnética*, que implica fuertes variaciones del campo magnético terrestre, también cambian las capas más próximas de la atmósfera por el mayor ingreso de partículas. Como las comunicaciones dependen de la transmisión por o a través de estas capas, los disturbios son muy indeseados. Una *leyenda urbana* (por lo menos nunca leí su confirmación oficial) dice que durante la Primera Guerra el Golfo, (1990, 1991) las comunicaciones entre el Pentágono e Irak, se cortaron durante una tormenta magnética. Esto habría dejado a los militares norteamericanos muy irritados y por eso aumentaron sus contribuciones a la investiagción de las relaciones Sol - Tierra. Verdadera o no, la historia es verosímil. Hoy en día el riesgo es mayor ya que la constelación de satélites que sustentan al Sistema de Posicionamiento Global (GPS) debe permanecer en contacto con Tierra permanentemente para no perder sus referencias y para brindar sus datos a las estaciones receptoras. Los cambios en las capas más altas de la atmósfera terrestre (ionósfera) ocasionan desde atrasos en la comunicación, hasta bloqueos momentaneos. Yo mismo lo pude comprobar en noviembre de 2003 durante uno de los períodos de mayor actividad solar. Nuestros telescopios usan GPS para tener una buena base temporal. Analizando registros de nuestros datos encontré muchos períodos en los que el tiempo da un salto hacia atrás de algunos segundos, para, momentos depués, corregirse dando un salto hacia adelante. Lo que para nosotros no deja de ser una curiosidad, para una nave tripulada puede ser la diferencia entre estrellarse en la pista o aterrizar suavemente. Por ese motivo los aviones llevan sistemas redundantes de posicionamiento.

El aumento de radiación ionizante proveniente de un evento explosivo solar, tiene reflejos en la estratósfera, donde pueden producirse componentes incomunes de óxido de nitrógeno (NOx) que tiene consecuencias a largo plazo para la capa de Ozono. Se especula también que las partículas ionizadas serían capaces de favorecer la formación de nubes y hielo. Incluso equipos en la Tierra sufrirían daños importantes por causa de estas partículas. Los blancos más conocidos son las largas líneas de alta tensión, transformadores y gasoductos. Las grandes redes de electricidad sufren con las corrientes inducidas por las corrientes eléctricas generadas por el ingreso de partículas cargadas en la atmósfera, lo que las puede llevar a apagones generalizados. Algunos son muy conocidos, como el de la provincia de Quebec en 1989. En el caso de tuberías enterradas, las corrientes inducidas aumentan su corrosión disminuyendo el tiempo de vida. Fueron los telegrafistas, hace 150 años, los primeros en notar las influencias negativas de las tormentas magnéticas. En cualquier caso, estas consecuencias han sido relatadas unicamente en regiones próximas a los polos.

Desde que Joe Allen, entonces trabajando en NASA, acuñó el término *Clima Espacial* (Space Weather), existe una inicitiva para poder predecir la aparición e intensidad de tormentas magnéticas. No es tan simple como mirar si ocurre una ECM porque algunas no producen ningún efecto importante. Unicamente con mediciones *in situ* somos capaces de evaluar su peligrosidad, pero nuestros satélites de *alerta temprano* se ubican a 40 minutos de distancia de la llegada de una de estas nubes, lo que nos los hace muy útiles. Se ha invertido mucho en desarrollar mejores instrumentos de observación, junto con modelos teóricos, para ser capaces de prever una tormenta al momento de ocurrir una ECM. Aún

mejor sería poder prever una ECM, algo que hoy nos resulta imposible.

Después de 50 años de experiencia espacial, estamos en condición de decir que la actividad solar es capaz de generar complicaciones a nuestros sistemas de comunicaciones, de seguridad y de transporte de energía. Pueden incluso aumentar los riesgos de la vida en el espacio. Pero resulta altamente improbable que ocurra una catástrofe global. Incluso ni siquiera me parece muy probable una catástrofe que apague todos los satélites artificiales simultaneamente. Se ha especulado con que alguna de las extinciones en masa ocurridas en la Tierra, podría haber sido producida por una actividad extremadamente anómala del Sol. No vemos indicios suficientes todavía para sustentar esta teoría. Existen, sin embargo, algunas evidencias de un fenómeno similar con origen en algún evento explosivo estelar: una llamada Erupción de rayos gama podría estar relacionada con la extinción del Cambriano. En cualquier caso sigo sin ver motivos de preocupación para la población en general.

Bibliografia

A continuación damos una lista de libros y artículos que fueron consultados para escribir este capítulo.

Haigh, J.D.,*The Sun and the Earth's Climate*, Living Reviews in Solar Physics 4, (2007), 2. URL (citado el 07/03/2010): `http://www.livingreviews.org/lrsp-2007-2`

Hoyt, V.D., Schatten, K.H.,*The Role of the Sun in Climate Change*, Ed. Oxford University Press, ISBN:0195094131 (1997)

Pulkinnen, T.,*Space Weather, Terrestrial Perspective*, Living Reviews in Solar Physics 4, (2007), 1. (consultado el 07/03/2010): `http://www.livingreviews.org/lrsp-2007-1`

Stix, M., *The Sun: an introduction*, Ed. Springer, ISBN:3540207414 (2004)

Capítulo 7

El magnetismo terrestre

La armonía y orden que observamos en el Cielo, son logradas por apenas una única interacción a la que damos el nombre de Fuerza Gravitatoria. La Gravitación de los cuerpos no sólo crea las órbitas de planetas, cometas y asteroires, sino también las magníficas formas de los cúmulos globulares, de las galaxias, e incluso de los cúmulos de galáxias, actuando a distancias increiblemente grandes que medimos en años luz. Pero a grandes distancias los Campos Magnéticos también juegan un papel importante, siendo la segunda fuerza en orden de importancia. [1]

Los Campos Magnéticos son muy intensos e importantes en el Sol y como el Sol no es una excepción, en todas las estrellas. También encontramos magnetismo en las Galaxias y en los planetas.

No todos los planetas del Sistema Solar poseen un campo magnético *global*. En algunos casos presentan un magnetismo remanente, creado por material magnetizado cuando se creó el planeta. Por causa de los años transcurridos, este campo es débil y además está fraccionado; cada fracción presenta una dirección distinta. Esto ocurre principalmente con los planetas rocosos como Venus y Marte. Mercurio, sin embargo, es un caso intrigante porque tiene un débil campo global cuyo origen es diferente al de los otros planetas. Los grandes planetas gaseosos, Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno, por su parte, poseen intensos campos magnéticos.

7.1. El Dínamo Terrestre

La Tierra es una excepción a esta regla. Cuando los planetas y estrellas se forman *heredan* el campo magnético de la nube que los forma. El problema es que el campo se *difunde*, de cierta forma se propaga hacia otras regiones, perdiendo su intensidad hasta que eventualmente desaparece. Esto puede ocurrir en un lapso bastante breve de la vida de un cuerpo celeste. Por ejemplo, en el caso de la Tierra, está entre 20.000 y no mucho más que 100.000 años.

A diferencia de la fuerza eléctrica, que depende de la carga, característica de la materia que no cambia con el tiempo, los campos magnéticos desaparecen si no cuentan con un generador, un *dínamo*. La Tierra, con sus 4.500 millones de años de existencia ya debería haber perdido todo vestigio de su campo primordial. Y si no lo perdió es porque en su interior tiene este generador.

Un dínamo es un sistema que transforma movimiento mecánico en corriente eléctrica. El dínamo terrestre es *autoexcitado*, es decir, no precisa de un campo magnético externo. El proceso que mantiene el campo magnético de forma constante es complejo pero podemos dar las condiciones necesarias: *1) Rotación diferencial*: la Tierra no es un sólido rígido, en su interior algunas capas tienen una velocidad angular de rotación diferente y *2) debe haber un fluido conductor de corriente eléctrica.*

[1] Tal vez el lector se pregunte por qué la fueza eléctrica no es tan importante, siendo que es más intensa que la magnética. Pero ocurre que la propia intensidad de la fuerza hace que cualquier desbalance de carga sea anulado rapidamente. Cuando la carga *neta* es nula, deja de haber fuerza eléctrica.

El interior terrestre está dividido en: **Corteza**, **Manto** y **Núcleo**. La Corteza, capa externa de la Tierra, mide entre 12 y 80 km de profundidad. El Manto tiene unos 3.000 km de espesor, suele dividirselo en interno y externo, este último con cierta *fluidez* según algunos investigadores. El Núcleo tiene una extensión de 3.000 km aproximadamente también, su parte externa es líquida y formada mayormente por hierro, la región más interna es sólida. La densidad del núcleo es muy superior a la de la Corteza (que está formada principalmente por granito y basalto) justificando la elevada densidad media de la Tierra ($5,5$ gcm^{-3}). Es en la capa externa del Núcleo, formada principalmente por hierro líquido, donde se dan las dos condiciones descriptas antes para que se forme un dínamo autoexcitado. Hay un gradiente positivo de temperatura hacia el interior terrestre que produce un movimiento ascendente del líquido por convección, desviado por la fuerza de coriolis. Todos estos movimientos crean corrientes eléctricas que acaban sustentando al campo magnético de la Tierra. Fue Edmond Halley, el astrónomo que *descubrió* al más famoso cometa quien en 1692 propuso que el centro de la Tierra debía moverse $0,5°$ por año en relación a la superficie para producir el campo magnético observado. Su capacidad científica se demuestra al comparar este valor determinado por medio de brújulas nada más, con el actual de $0,2°$ a $0,3°$ por año.

El campo magnético terrestre no es muy intenso, en el ecuador es alrededor de 30μT = 0,3 G. Como comparación en Júpiter el campo ecuatorial es 14 veces mayor (428μT = 4,28 G) y en el Sol el *campo poloidal* alcanza los 1000μT o 10 G, o sea, más de 3000 veces más intenso que el terrestre!

7.2. Inversiones Magnéticas

Se sabe que el campo magnético solar sufre la inversión (o *reversión*) de su polaridad a cada 11 años aproximadamente, debido al acoplamiento de las dos componentes principales del campo magnético: aquella que va de polo a polo (*poloidal*) y aquella que es paralela al ecuador (*toroidal*).

En el caso terrestre existe evidencia suficiente de que el campo poloidal terrestre se ha invertido a lo largo de los años manteniéndose siempre casi paralelo al eje de rotación, condición necesaria para que el modelo de dínamo sea correcto. Aunque no se ha podido determinar ninguna periodicidad, habiendo períodos de millones de años sin ningún cambio aparente, **algunos investigadores creen que estamos a las puertas de una inversión.** En los últimos 30 años fueron lanzados satélites al espacio capaces de medir el campo magnético terrestre con precisión y resolución espacial. Lo que muestran las imágenes es que regiones de polaridades contrarias se aproximan de los dos polos. Los modelos de computador indican que ésta es una condición necesaria para que ocurra una inversión magnética. Sin embargo los autores de los trabajos (Gary Glatzmaier de UCLA, y Peter Olson de Johns Hopkins) no pueden prever cuando podría ocurrir el cambio efectivamente. Y además en los modelos la inversión demora **9.000 años** para completarse. De cualquier forma, los estudios del dínamo (terrestre o solar) están solo en sus inicios. La única forma de estudiarlos es por

medio de simulaciones de computador, pero, por limitación de los procesadores actuales, estamos muy lejos de producir modelos reales. El parámetro general se llama *Número de Reynolds Magnético, RB*, número adimensional que mide el grado de turbulencia de un fluido magnético. En los modelos el mayor RB para el cual se pueden realizar cálculos es bastante menor que 100, mientras que en el núcleo terrestre RB es mayor que 1.000. De esta forma es difícil hacer previsiones.

Es importante observar que casi una centena de inversiones magnéticas ocurridas en los últimos 70 millones de años han sido descubiertas por los paleontólogos. Ninguna de ellas puede ser asociada con algún cataclismo como por ejemplo una extinción masiva de especies vivas. Tampoco parece haber afectado al desarrollo del hombre, que hace 780.000 años presenció la última inversión magnética de la Tierra.

7.3. El escudo magnético

La principal función del campo magnético terrestre no es indicar la dirección de los polos, sino crear un escudo llamado *magnetósfera*. La magnetósfera es el primer escudo contra las partículas cargadas, llamadas *rayos cósmicos* que bombardean la Tierra de forma permanente. Los rayos cósmicos son producidos afuera del sistema solar y también por el propio sol. En cualquier caso es mejor que no lleguen a la superficie terrestre porque son peligrosos para la salúd. Las partículas son desviadas por la fuerza magnética, algunas quedan presas en los tubos magnéticos hasta que finalmente caen (*precipitan*) entrando por los polos. Cuando muchas partículas entran de esta forma producen las llamadas auroras.

Sin embargo algunos rayos son capaces de atravesar la magnetósfera de forma directa, llegando debilitados. Los efectos de estos rayos cósmicos en la biósfera son materia de discusión hoy en día. Por ejemplo, existen fuertes indicios de que la formación de nubes es facilitada por la presencia de rayos cósmicos en la atmósfera. Si es así, las lluvas y la temperatura superficial pueden ser influidas por agentes externos.

La magnetósfera es alterada por el campo magnético solar (llamado de *heliósfera*) por ese motivo tratamos este tema en el capítulo sobre el Sol: en la Sección 6.3.5.

7.4. Bibliografia

A continuación damos una lista de libros y artículos que fueron consultados para escribir este capítulo.

G. A. Glatzmaier y P. Olson, *Viagem ao Geodíanmo*, Scientific American Brasil, **3,36**, 32-39 (2005)

P. D. Lowman Jr.,*Earth's interior*, en la *Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics*, Ed. Nature Pu. Co. Institute of Physics Publishing, ISBN-10:0333750888 (2001)

K. Moffatt.,*Dynamo Theory*, en la *Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics*, Ed. Nature Pu. Co. e Institute of Physics Publishing, ISBN-10:0333750888 (2001)

J. W. Kern y E. H. Vestine, *Magnetic Field of the Earth and Planets*, *Space Science Reviews*,**2**,136-171 (1963)

Parte III

Después de 2012

Capítulo 8

Epílogo

Comencé este proyecto a comienzos del año 2009, después de oir a muchas personas muy preocupadas por un posible *Fin de Mundo*. Ya había atravesado varios en mi no larga vida, y me impresiona todavía la capacidad para crear Apocalípsis. La primera vez que escuché hablar de los presagios mayas, fue en boca de una médica que estaba muy informada sobre el alineamiento galáctico y el ciclo de la precesión del eje terrestre. No es un tema simple entender el movimiento del eje terrestre, me llamó la atención el esfuerzo por comprender una cuestión geológico / astronómica en función de una vaga profecía antigua. Y allí vislumbré los dos ejes de lo que pensé debía ser esta obra:

8.1. El interés por cuestiones científicas e históricas

El lado positivo de la preocupación por el Fin del Mundo, es el interés que despertó por los Mayas y, en menor medida, por los procesos naturales asociados a las profecías de 2012. Esta es sin dudas una oportunidad que no puede desperdiciarse. Gran parte de las ideas relacionadas a las profecias de 2012 están basadas en conceptos incompletos, incorrectos o directamente falsos. Una comunidad inmensa de personas se interesa entonces por saber más sobre un Fin del Mundo que, según algunas fuentes, está próximo. En tanto ruido, sin embargo, es posible acercar un poco de armonía.

Los mayas han sido casi deificados, una sociedad perfecta, en total armonía con su medio. Algunos hasta suponen que partieron con rumbo celestial, tal vez de donde vinieron. Sin embargo, cuando encontramos las huellas que han dejado, vemos que se trata de un pueblo de seres humanos como nosotros, una sociedad ni mejor ni peor que la nuestra, que gustaba de las guerras, los templos colosales, y que no dudó en deforestar las selvas para cumplir con sus obligaciones con sus Dioses. Una sociedad capaz de desarrollar técnicas fantásticas de orfebrería, de agricultura, que hizo un culto de los números, las estrellas y los calendarios, que tuvo una poesía y un arte bellos y un carácter indomable. Y que sucumbió sólo al poderío de la pólvora, aunque sus descendientes guardan aún hoy con orgullo las trazas de la rica herencia que pudieron recoger de sus ancestros. Esa sociedad es posible que haya profetizado un fin, pero no tenemos razones para pensar que habrá de ser el año próximo, o de aquí a 1000 años. La depredación de los conquistadores españoles nos dejó la historia inconclusa. Todo lo que se pueda agregar sobre las profecías mayas es producto de nuestros propios fantasmas y los miedos que nos atormentan.

8.2. El Apocalípsis que nunca llega

Desde que el hombre ha dejado trazos de su existencia, ha mostrado su temor por el fin del mundo. Todas las religiones del mundo lo abordan, y la palabra *apocalípsis*, cuyo significado original es revelación, titula uno de los capítulos más importantes del libro que es base del cristianismo. **En 5.000 años de historia debemos tener más de 5.000 versiones diferentes del Apo-**

calípsis. En los últimos años, sin embargo, me parece cada vez más recurrente apelar a la proximidad del fin de los tiempos. Y en mi visión de la actualidad encuentro pocos motivos para pensar que algo así pueda ocurrir. La humanidad se encuentra lejos de tener conflictos bélicos que puedan deflaglar una guerra de escala mundial con utilización masiva de armas nucleares. A pesar de todas las previsiones en contra, la humanidad ha generado técnicas de producción de alimentos para abastecerse integralmente. La salud ha mejorado en todos los rincones del planeta elevando el promedio de años vividos y disminuyendo la mortalidad infantil y prenatal. Incluso enfermedades que en el pasado podían cegar la vida de millones de personas, como el cólera o algunos tipos muy complicados de gripe, hoy, a pesar de haber muchas más personas en el mundo, no llegan a matar más que algunos millares. Así fue con el ebola en África y el cólera en Sudamérica en los años 90, con la gripe avícola en Asia en los 2000, y en 2009 con la *gripe del cerdo*. En 2010, después de haber sido destruida por un terremoto, la ciudad de Port-au-Prince, capital de Haití, sufrió un brote de cólera. Podía haberse esperado que centenas de miles perdieran sus vidas en las extremas condiciones de vida que soportan los habitantes de una de las ciudades más pobres del mundo. Pero al cabo de meses sólo un puñado que no llegó a los 3.000 fallecieron por culpa de la enfermedad. Compárense estos números con el millón de personas que murieron en Rusia entre 1847 y 1851 durante una epidemia, más de 15.000 por mes. Hoy en día hay un conocimiento más claro y efectivo de como limitar una epidemia.

El *último* Apocalipsis, es la catástrofe ecológica, el *cambio climático*. Las voces alarmantes surgen de los ámbitos científicos esta vez. Claman que en pocos años más las distorciones al medio ambiente crearán situaciones irreversibles de consecuencias devastadoras para la vida en general. **Nunca estuvo tan cerca el Apocalípsis como ahora...** Tengo muchos motivos para pensar que las previsiones del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC) son exageradas y no tienen base científica suficiente. No soy el único que piensa así. Otros terrores de la humanidad son la escasez de alimentos, agua y/o insumos básicos como el combustible. La escasez de alimentos viene siendo preconizada hace más de 200 años, y hasta ahora el problema de las hambrunas se relaciona con la distribución desigual de las riquezas. La falta de combustibles suele percibirse por los cimbronazos de la economía: las gasolinas aumentan sus precios, lo que desata un aumento general, inflación, desempleo, etc. Pero la película la estamos viviendo desde los años 70, y desde aquella época, la fecha de la *última gota de petroleo* se atrasa cada vez más. Nuevos yacimientos son descubiertos, técnicas de extracción son mejoradas. Y además, los motores de combustión son perfeccionados y precisan cada vez menos combustible. El resultado es que el problema, delicado, parece bajo control. El problema del agua puede ser más grave, y, sin embargo, me parece que despierta menos pasiones.

En los idos años 70 y 80, el mayor temor de la humanidad era acabar en medio de una guerra nuclear. La serie de películas sobre **Terminator** así lo atestiguan, aunque antes había tenido gran éxito *El día después*. A nivel científico se realizaron muchas conferencias, en las que se presentaban resultados sobre las consecuencias que un bombardeo masivo nuclear tendría sobre el clima en la Tierra. Yo mismo participé de la organización de un simposio sobre el tema: *Científicos, paz y Desarme* realizado en la Facultad de Ciencias Exactas

y Naturales de la Universidad de Buenos Aires, en abril de 1988. El problema es realmente serio y vigente (ver, por ejemplo *Ciencia para la Paz*, de G. A. Lemarchand), pero su importancia quedó relegada por otros temores y porque la sensación de peligro desapareció junto con la Unión Soviética.

A un nivel más popular (y con esto me refiero a su impacto en una cantidad mayor de personas) los recientes Apocalípsis estuvieron relacionados con el fin del Milenio. Alineamientos planetarios mortales, colapso de los sistemas informáticos, y toda clase de plagas se avecinarían sobre la Tierra. La Edad Media fue prolífica en profecías apocalípticas, aunque, a pesar de lo que suele sustentarse, no durante el cambio de milenio en el año 1000[1]. En esa época la mayor parte del pueblo era iletrada, seguramente ni sabían en que año vivían. Aunque algunos hechos llamaron fuertemente la atención. En el año 1000 un cometa *rasgó los cielos y se vio la figura de un dragón* según relatos de la época. Y en la Páscua del año 1033, mil años después de la Pasión de Jesucristo, un eclipse de Sol fue visto en Europa, amedrentando a la población. Durante la Baja Edad Media, principalmente de la mano de Nostradamus y la publicación de su libro *Las Verdaderas Centurias Astrológicas y Profecías* (1555), los augurios de Fin de Mundo encuentran su apogeo. Las *cuartetas* han sido libremente interpretadas incontables veces, encontrando significados diversos en cada ocasión. Un verdadero ejercicio de la imaginación interpretativa! Más cerca de nuestra era, en los Estados Unidos, diversos grupos religiosos cristianos han profetizado el fin de los tiempos: *La Iglesia Adventista del Séptimo Día* esperaba el retorno de Jesús para 1843/1844 que estaría precedido por una gran serie de catástrofes naturales; la *Congregación Cristiana de los Testigos de Jehová* colocó como fecha del Apocalípsis el año 1914. Tanto los adventistas como los testigos de Jehová junto con el *Movimiento de los Santos de los Últimos Días* más conocidos por *mormones*, ahora afirman que el fin está próximo pero no saben cuando, y buscan las señales permanentemente. En este marco de previsiones religiosas no podemos olvidar la serie de novelas, éxito de ventas, llamada en inglés Left Behind (*Abandonados* en una traducción mía ya que los libros no fueron publicados en español), escritas por el ministro evangélico Tim LaHaye y el periodista Jerry B. Jenkins, donde se relata los últimos días de aquellos que no serán llevados por Cristo al Cielo (por eso son *abandonados*) antes del Apocalípsis y sufrirán un Infierno en la Tierra. Muchas personas leyeron los 16 libros de la saga y creyeron encontrar en los hechos diarios (atentados, guerras, catástrofes naturales, políticas y económicas) evidencias de lo que las novelas relatan.

Se supone que el fin del 2012 será causado por un descontrol de las fuerzas de la naturaleza. El campo magnético terrestre se invertirá subitamente con consecuencias devastadoras para los seres vivos. Este cambio ocurrirá en un momento en que el campo magnético del Sol también se invertirá. Ambos procesos se reforzarán mutuamente. La actividad del Sol se incrementará a límites nunca antes vistos, la radiación producida durante las explosiones (o fulguraciones) atacará a los seres vivos en general. El peligro mayor viene del Centro de Nuestra propia Vía Láctea, un extraño alineamiento que ocurre sólo cada

[1] Este parráfo sobre profecías apocalítpcas está basado en el libro *Fim de Milênio*, Bertília Leite y Othon Winter, Jorge Zahar Editor, Parte V (1999)

26.000 años pondrá en línea de tiro a la Tierra que recibirá de lleno el chorro de energía que se produce en el núcleo galáctico. Todo esto está previsto en la **Cuenta Larga** maya, un ciclo de más de 5000 años revelado a los habitantes originales de Mesoamérica.

Y sin embargo los científicos, los hombres que día a día analizan las observaciones, no encuentran las señales del Apocalípsis sucintamente descripto antes. El campo magnético terrestre es estable en períodos de centenas de miles de años y su inversión completa puede llevar unos 2000. Y todavía más importante, **es muy probable que el campo magnético terrestre se invierta y ni nos demos cuenta**: si es más débil que el de un imán de heladera, por qué habría de tener consecuencias tan drásticas en nuestras vidas su variación? No hay ninguna evidencia científica sobre esto.

Algo semejante ocurre con la actividad solar. Aunque algunas agencias científicas, principalmente norteamericanas, han adoptado un discurso alarmista sobre las consecuencias de explosiones solares, precaviendonos de la posibilidad de fallas generales en las comunicaciones y hasta en la provisión de electricidad; esta alarma no llega al límite de la catástrofe final. No hay ningún motivo para el pánico. La actividad solar está en franca disminución cuando la comparamos con el ciclo anterior que tuvo su pico entre 2001 y 2002. El máximo está previsto para mayo de 2013 con un posible atraso de un par de meses y una intensidad máxima que será un tercio de la anterior. Los trabajos observacionales y téoricos incluso sugieren que estamos yendo hacía un período prolongado de baja (o nula) actividad solar, lo que tendrá seguramente impactos en el clima. (Como dimos cuenta en el capítulo sobre el Sol.)

Y por último el *chorro galáctico* ni siquiera existe. Algunas galaxias llamadas *de Núcleo Activo* (AGN) producen poderosos chorros de partículas que son lanzadas desde el centro de las mismas. Sin embargo los chorros son perpendiculares al plano galáctico que es donde se encuentra la Tierra, y además la Vía Láctea no es del tipo AGN, y por lo tanto no tiene chorro para enviar. Por otra parte el ciclo de 26.000 años, relacionado con la oscilación del eje terrestre, produce una orientación diferente, las estrellas van corriéndose lentamente en el cielo. **Pero el Centro Galáctico está siempre frente a nuestros ojos**. No necesitamos esperar ninguna conjunción extrãna y única, cada noche, podemos verlo en su total dimensión. Si lo perdimos de vista es sólo por causa de las luces de la ciudad. Si un chorro estuviera en nuestra dirección, ya nos habría alcanzado hace eones.

Cuando pienso en momentos en que la historia pareció detenerse, mientras la humanidad caminaba sobre la cornisa, es cuando más fé tengo en que no hay porqué temer al fin. El comienzo del siglo XX estuvo signado por una guerra mundial que dejó **16,5 millones de muertos**[2], , la población de un país de tamaño medio. Esta guerra se dio en medio del colapso de una forma de organización del Estado: el Imperio. Pocos años después de terminada la **Primera Guerra Mundial**, la potencia naciente, los Estados Unidos, entraron en una recesión profunda. Lo mismo ocurrió con Alemania, donde finalmente surgió una

[2] `http://en.wikipedia.org/wiki/World_War_I_casualties`, consultado el 13/06/2011

de las ideologías más perversas que haya dado a luz la humanidad. Veinte años después del fin de la *guerra para acabar con todas las guerras*, los cañones estallaron nuevamente, y esta vez de forma más sangrienta, para acabar con **50 a 70 millones de vidas más**[3] (2 % de la población mundial) El nuevo siglo fue parido en casi 50 años de tragedias continuas. *Y sin embargo, aquí estamos...* El fin llegará, no me cabe la menor duda, pero quien sabe, ni siquiera nos enteremos. Tal vez para ese momento el hombre haya cumplido su deseo de trasladarse a otros mundos, donde fundará nuevas sociedades. Y entonces la *colonia base*, aquel *pálido punto azul* sea completamente abandonada cuando se perciba que ya no es más sustentable la vida, tal vez por causas puramente naturales. Hay muchas formas de pensar el fin de la Tierra, que no necesariamente implican catástrofes.

8.3. El Fin del Fin

El 22 de diciembre de 2012 será un día más en la vida de 7.000 millones de personas. Muchas de ellas estarán preparando las fiestas de Fin de Año. El *Apocalípsis* habrá pasado y algunos profetas deberán explicarse. Sin embargo me gustaría saber que algo efectivamente sí habrá cambiado. Tal vez haya podido convencer a algunas personas que no hay Apocalípsis próximos. Que tenemos una doctrina que llamamos ciencia que nos permite conocer la naturaleza y sus efectos y que construimos esa doctrina justamente para alejar los miedos a los Apocalípsis. Al Caos opusimos el Cosmos. Esa doctrina no es una construcción simbólica, tiene pilares fuertes, de los más fuertes que la mente humana puede crear, y se comprueba cada día, cuando prendemos una lámpara eléctrica, cuando encendemos el fuego para cocinar, cuando viajamos en un avión o hablamos por teléfono. No hay que ir a extraños cuartos especialmente acondicionados ni mirar a través de sospechosos aparatos para convencernos de las afirmaciones científicas. Nuestra vida está rodeada de las invenciones creadas por medio de esta doctrina, la misma que me asegura que no habrá un Fin.

Si convencí a alguien de esto, mi trabajo habrá sido útil.

[3] `http://en.wikipedia.org/wiki/World_War_II_casualties`

Apéndice A

Notación Científica

En astronomía los números pueden ser muy grandes, lo que dificulta su lectura. Por ejemplo el siguiente número 946.073.047.258.080.000 representa una distancia de un año luz en centímetros. Leído sería novecientos cuarenta y seis mil setenta y tres billones cuarenta y siete mil docientos cincuenta y ocho millones ochenta mil. Pero descubrir si se trata de millones, billones o trillones, nos obliga a contar los puntos. Por otra parte, tratándose de un número tan grande, no nos ha de interesar los dígitos próximos a la unidad. Hablamos de dígitos significativos, que son los primeros, aquellos que marcan el *orden de magnitud*.

Los matemáticos inventaron hace mucho tiempo una forma muy compacta de representar estos números gigantes por medio de las potencias de 10, se llama **notación científica** y consiste en dejar apenas la unidad seguida de cuantos decimales queramos(llamada *mantisa*), multiplicada por una potencia de 10 que devuelva el orden de magnitud correcto. El número anterior queda de la siguiente manera:

$$9,4607304725808 \times 10^{17}$$

Esta forma de representar un número grande nos facilita su comprensión, si recordamos que

10^6	millón
10^{12}	billón
10^{18}	trillón

O sea que un año luz es casi 1 trillón de centímetros. Por otro lado no precisamos mostrar tantos decimales, ya que como dijimos antes, sólo los primeros dígitos (comenzando por la izquierda) son los importantes. De forma esencial entonces un año luz son $9,46^{17}$ cm.
También es común utilizar un prefijo para indicar la *potencia de diez*, la tabla de abajo muestra todos ellos:

Potencia			**Prefijo**	**Símbolo**
10^1	10	decena	deca	da
10^2	100	centena	hecto	h
10^3	1.000	millar	kilo	k
10^6	1.000.000	millón	mega	M
10^9	1.000.000.000		giga	G
10^{12}	1.000.000.000.000	billón	tera	T
10^{15}	1.000.000.000.000.000		peta	P
10^{18}	1.000.000.000.000.000.000	trillón	exa	E
10^{21}	1.000.000.000.000.000.000.000		zeta	Z
10^{24}	1.000.000.000.000.000.000.000.000	cuatrillón	yota	Y

Uno podría hablar entonces de novecientos cuarenta y seis mil *peta* centímetros para el año luz. De la misma manera que expresamos los números mayores a 1, podemos expresar los número menores a 1 en notación científica.

Potencia			**Prefijo**	**Símbolo**
10^{-1}	0,1	décimo	deci	d
10^{-2}	0,01	centésimo	centi	c
10^{-3}	0,001	milésimo	milli	m
10^{-6}	0,000001	millonésimo	micro	μ
10^{-9}	0,000000001	billonésimo	nano	n
10^{-12}	0,000000000001	trillonésimo	pico	p
10^{-15}	0,000000000000001	cuadrillonésimo	femto	f
10^{-18}	0,000000000000000001	quintillonésimo	atto	a
10^{-21}	0,000000000000000000001	sextillonésimo	zepto	z
10^{-24}	0,000000000000000000000001	septillonésimo	yocto	y

Multiplicación

Multiplicar números expresados en notación científica es muy fácil. Por ejemplo para calcular el año luz debemos multiplicar $8,64 \times 10^4$ (cantidad de segundos durante un día), por $3,65^2$ (número de días en un año) por $2,99 \times 10^{10}$ (velocidad de la luz en cms^{-1}). Por un lado multiplicamos las *mantisas*: $8,64 \times 3,65 \times 2,99 = 94,3$. Por el otro lado multiplicamos las potencias de 10, para esto sólo debemos sumar los exponentes: $4 + 2 + 10 = 16$, o sea que el orden de magnitud es 10^{16}. Recuerden sin embargo que la notación científica usa una mantisa con sólo unidades. Transformamos $94,3 = 9,43 \times 10^1$. Multiplicando 10^1 por 10^{16} y juntando todo obtenemos el resultado final: $9,43 \times 10^{17}$ (La diferencia entre este resultado y el anterior es que aquí redondeamos todos los números, incluyendo la velocidad de la luz).

Adición

Para sumar números en notación científica, debemos tomar el cuidado de colocarlos a todos multiplicados por la misma potencia de 10, en ese caso puede ser necesario que la mantisa tenga decenas o centenas, además de unidades. Por ejemplo: $9,5 \times 10^3 + 3,4 \times 10^4 = 9,5 \times 10^3 + 34 \times 10^3 = 43,5 \times 10^3 = 4,35 \times 10^4$.

Apéndice B

Distancias Astronómicas

B.1. Introducción

La astronomía es una ciencia de dos dimensiones. A excepción de la Luna, y el Sol, el resto de los objetos nos parecen puntos a una distancia infinita y los colocamos sobre una bóveda a distancia desconocida. Durante siglos la única preocupación era saber la posición del cuerpo celeste sobre esa bóveda que queda definida por dos números, llamados coordenadas celestes, cuya expresión actual son las las coordenadas ecuatoriales. Durante siglos lucharon los astrónomos por ponderar la distancia hasta aquella bóveda y solo recientemente, cuando se comenzó a construir telescopios, se ha podido determinar con alguna precisión. Por supuesto que ya no hablamos de bóveda, los cuerpos se distribuyen a diferentes distancias, y lo que nos parece una figura (por ejemplo las constelaciones) no es más que un efecto de la proyección.

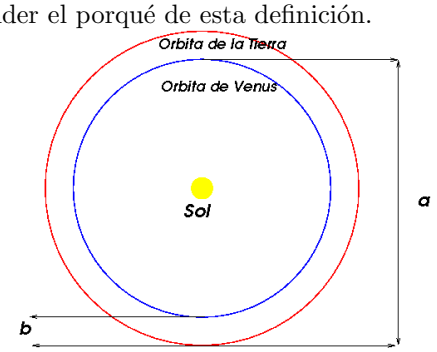
Determinar distancias cuando no podemos ir hasta el objeto es realmente una tarea difícil que nos obliga a usar todo nuestro ingenio, echando mano de teorías y modelos, haciendo hipótesis y arriesgando conclusiones. En algunos casos sólo podemos determinar valores muy aproximados, en otros, los debates entre diferentes investigadores se extienden por décadas. A continuación, una lista de diferentes maneras para medir distancias astronómicas junto con la definición de algunas unidades de medida muy usadas en astronomía.

B.2. Medidas por Ecos

Enviar una señal sobre el objeto cuya distancia deseamos medir, esperar que la misma rebote (eco) y medir el tiempo que demoró en ir y volver es una forma muy precisa de medir distancias. La señal puede ser una onda de radio (o sea que estaremos usando un RADAR) o luz. La ventaja de las ondas de radio es que no precisan de una superficie muy lisa para producir un reflejo bueno y que poseemos receptores que son capaces de detectar señales muy débiles. Con sistemas de este tipo la distancia de la Tierra a Venus fue determinada con la precisión de 1 km y a partir de ella inferimos la distancia al Sol D_{ST}: para eso precisamos conocer la mayor y menor distancias al planeta, y aplicar la fórmula siguiente

$$D_{ST} = \frac{a+b}{2} \ ,$$

donde a es la mayor distancia y b la menor distancia a Venus. La Figura de abajo ayuda a entender el porqué de esta definición.

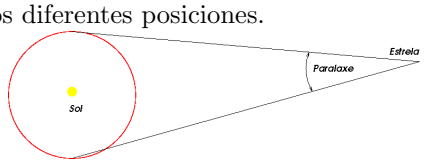


El valor de la distancia media Tierra Sol resulta ser la definición de una unidad de medida llamada **Unidad Astronómica** (UA) y su valor hoy en día aceptado es UA = 149.597.870 km[1]. Normalmente redondeamos este número a UA $\simeq 1,5 \times 10^{11}$ m

Una luz láser es otra alternativa para obtener un eco, porque tiene una mayor coherencia que la luz *normal* lo que hace que no se difunda demasiado, permitiendo que una proporción razonable de la luz emitida vuelva al laboratorio. Sin embargo un láser precisa de un espejo de buena calidad para reflejarse. Por eso hubo que esperar a que los astronautas fueran a la Luna y depositaran el *Laser Ranging Retro-Reflector* (LR-3, Retroreflector para medir Distancias con Láser). Con este espejo y pulsos lásers enviados desde la Tierra se pudo medir con gran precisión la distancia hasta la Luna, y hacer hasta *selenosismología*.

B.3. Paralaje

El método del eco sirve para medir distancias muy cortas, distancias mayores exigen métodos diferentes. Uno de ellos es el método del *paralaje*. Llamamos paralaje a la diferencia angular producida cuando observamos un mismo objeto desde diferentes posiciones. La figura de abajo muestra la idea. El círculo rojo representa la órbita de la Tierra, desde posiciones diametralmente opuestas observamos un mismo objeto, el paralaje es el ángulo subtendido por las líneas de observación en las dos diferentes posiciones.



Cuanto mayor sea la base (distancia entre puntos de observación), más lejos podrá estar el objeto cuya distancia deseamos conocer. Como la Tierra se mueve por el espacio formando un círculo de 3×10^{11} m de diámetro, esta será la base más grande que podemos tener, sin salir al espacio. La distancia hasta el cuerpo celeste es determinada por trigonometría simple.

A partir del método de paralaje, se creó una unidad de medida astronómica. Cuando el paralaje es igual a 2 segundos de arco, la distancia del objeto es un **parsec**, cuyo símbolo es **pc**, incluyendo múltiplos como **kpc** (kiloparsec) o **Mpc** (megaparsec). Un parsec corresponde, aproximadamente a 3,262 años luz[2]. Los astrónomos prefieren al pc porque relaciona separación angular con distancia. Generalmente se da la definición en función de una UA y no de dos. En otras palabras, a un pc de distancia, una separación angular de un segundo de arco corresponde a una distancia espacial de una UA. Y además podemos usar una fórmula simple

$$d = \frac{1}{\tan(\pi)} \simeq \frac{1}{\pi} \ ,$$

[1]Ref.: Encyclopedia of Astronomy & Astrophysics, Nature Pu., 2001

[2]El año luz, es la distancia que recorre la luz en el vacío durante un año y equivale a $9,461688 \times 10^{15}$ m

donde d es la distancia al cuerpo celeste en pc y π es el paralaje en segundos de arco. Esta aproximaciónn es suficientemente precisa cuando tratamos con objetos distantes. Además en este caso debemos medir el paralaje en una base de 1 UA (ese es el sentido del número 1 en el numerador de la fórmula).

El uso de paralajes permite una medición directa y precisa de las distancias. Lamentablemente queda limitado a la vecindad solar. Medir ángulos de segundos de arco es tarea para telescopios buenos, pero eso sólo nos permite determinar distancias de hasta algunos pc o una decena de años luz. Telescopios muy buenos consiguen medir paralajes de décimos y, tal vez, centésimos de segundo de arco. Pero con estas medidas, conseguimos inferir distancias de hasta 10 o 100 pc, claramente insuficiente si recordamos que la Vía Láctea tiene un tamaño de decenas de miles de pc.

B.4. Estrellas Variables

El brillo de algunas estrellas varía a lo largo del tiempo, a veces de forma periódica. A fines del siglo XIX, la astrónoma Henrietta Leavitt, trabajando para el observatorio de Harvard, descubrió la relación cualitativa entre el brillo intrínseco de las estrellas del tipo *δ–Cephei*, o simplemente *cefeidas* y su período de variación. El descubrimiento de Leavitt no pasó desapercibido y rápidamente fue utilizado para descubrir distancias a las galaxias, previamente hubo que calibrarlo. Edwin Hubble, por ejemplo, usó cefeidas para demostrar fehacientemente que las *nebulosas espirales* eran objetos fuera de la Vía Láctea y posteriormente para encontrar la famosa relación entre distancia y velocidad de recesión, relación que demostró la expansión del Universo y diera origen a la Teoría del Big Bang.

La razón de porqué estas estrellas varían de forma periódica su brillo está muy bien explicada por los modelos estelares, por lo tanto podemos confiar en la determinación del brillo intrínseco de la estrella. Una vez determinado este brillo, es comparado con el brillo observado, la diferencia entre ambos se debe a la distancia que nos separa de la estrella porque sabemos que el brillo decae con el cuadrado de la distancia. Se puede demostrar que la relación entre magnitud aparente m y absoluta M de una estrella es

$$m - M = 5\log_{10}(d) - 5 \ ,$$

donde d es la distancia en pc. Por otra parte las cefeidas son estrellas de tipo *supergigantes*, eso las hace muy brillantes y relativamente fáciles de localizar incluso en galaxias muy distantes. A medida que los telescopios fueron aumentando su tamaño, distancias a galaxias más lejanas fueron determinadas por medio de cefeidas, con valores de hasta millones de pc.

B.5. Distancias Cosmológicas

La forma de determinar las mayores distancias es por medio de la relación de Hubble

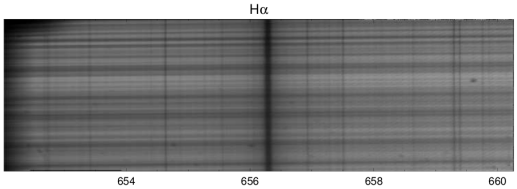
$$v = H_\circ \times d \ ,$$

donde v es la velocidad de recesión de un objeto lejano y d su distancia desde la Tierra. La constante $H_\circ$ es llamada *Constante de Hubble* y su inverso representa la edad del Universo. El valor actual de la constante de Hubble es $H_\circ = 71,9$ kms^{-1}Mpc^{-1}.[3]

Lo que se necesita para determinar distancias es conocer la velocidad v, lo que puede considerarse algo muy difícil. Sin embargo para la astrofísica, medir velocidades de acercamiento o alejamiento, es decir, velocidades en la línea de observación, es relativamente sencillo e increiblemente preciso. Para entender el porqué debemos saber un poco de teoría atómica y de efecto Doppler.

B.5.1. Teoría Atómica

Dentro de los átomos, los electrones ocupan órbitas especificadas por la energía que tienen. Cuando un evento externo les transfiere energía (por ejemplo por medio de luz, o por el choque con otra partícula) o a veces de forma espontánea el eléctron cambia de órbita, adquiriendo o perdiendo energía. Si pasa a una órbita de menor energía, emitirá luz con una frecuencia y longitud de ondas (*color*) muy precisos, si por el contrario pasa a una órbita de mayor energía, lo hará absorbiendo luz en una frecuencia específica (también puede absorber energía de una partícula, en ese caso no producirá línea espectral). Este es el principio de la *formación de líneas espectrales* como las que se ven en la figura de abajo, registradas en el Sol por mi mismo en octubre del 2009 usando un espectrógrafo de dispersión simple y una red de difracción de 1.200 líneas/mm en el foco de un celostato de 30 cm de apertura instalado en el Complejo Astronómico El leoncito (CASLEO), en Argentina, trabajando junto con mi colega Rogério Marcon. Las líneas verticales oscuras son las líneas espectrales en *absorción*, las líneas horizontales son irregularidades en la ranura del espectrógrafo.



Los números abajo de la figura son las longitudes de onda en nm, la línea vertical en el centro y más gruesa es la llamada línea de Hα, una de las líneas más importantes del espectro solar, formada en la transición del nivel 2 al 3 del átomo de hidrógeno.

B.5.2. Efecto Doppler

Cuando una fuente de ondas se mueve, la frecuencia percibida por un observador en reposo es diferente de la emitida. Este principio, descubierto por el

[3]Ref.: Wmap Cosmological Parameters, 23/11/2009

astrónomo austríaco Christian Andreas Doppler (29/11/1803 – 17/03/1853) es aplicable tanto a ondas sonoras como luminosas. En general, un objeto que se aleja aumenta la longitud de la onda por él emitida, mientras que lo contrario ocurre con un objeto que se acerca. Cuando la onda es luz, un aumento de la longitud la aproxima al color rojo, de allí el nombre de *corrimiento al rojo* o *redshift* en inglés, para los objetos que se alejan de la Tierra. Usando espectros como el mostrado arriba, se puede determinar la velocidad de alejamiento (o acercamiento) con la precisión de algunos m/s ya que la fórmula de Doppler (no relativística) es

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_\circ} = \frac{v}{c} \ ,$$

donde $\Delta\lambda$ es la variación en longitud de onda observada (medida en el objeto menos medida en laboratorio), $\lambda_\circ$ es la longitud de onda de laboratorio, v es la velocidad de recesión y c es la velocidad de la luz.

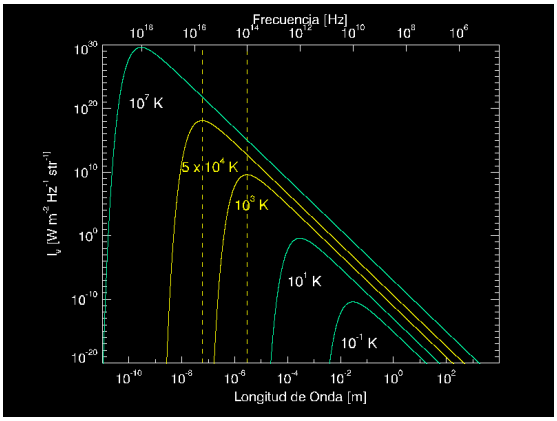
Por medio del *redshift* se determina la distancia a los objetos más lejanos del Universo, los llamados **Quásares**, galáxias de núcleo activo a distancias de miles de millones de años luz, ya que no hay telescopio que sea suficientemente poderoso para poder observar dentro de ellas cefeidas[4].

[4]Comentario muy controvertido. Desde que los quásares son observados en la década del 60, el astrónomo Halton Arp afirma que su distancia determinada por redshift es incorrecta y ha presentado un gran número de pruebas al respecto. La comunidad astronómica ha sido muy escéptica a las evidencias de Arp. Quien quiera ver un documental sobre la versión de Arp, puede buscar el film *The Cosmology Quest* de Randall Meyer. Yo no soy especialista en Cosmología, pero de todas maneras me parece más honesto mencionar aquí esta discusión.

Apéndice C

Radiación de Cuerpo Negro

El espectro de *Cuerpo Negro* es representado por la *Función de Planck* que dice cuanta luz se emite para cada longitud de onda y que depende sólo de la temperatura del cuerpo, sin importar la materia de la que está constituido. Abajo mostramos ejemplos de funciones de Planck. Cada curva representa un cuerpo negro a diferente temperatura desde millones hasta un décimo de grado kelvin. Como se puede ver, todo cuerpo, por tener una temperatura, emite radiación electromagnética. Cualitativamente vemos que al aumentar la temperatura: *(1)* la intensidad aumenta y *(2)* el pico de emisión se corre a longitudes menores (*Ley de Desplazamiento de Wien*). Además de estas dos características, las curvas no se cortan. Las curvas amarillas representan la emisión de un cuerpo negro con los valores límites de la temperatura superficial de una estrella: entre 1000 K y 50.000 K.



En el primer caso el máximo de intensidad se da a $\lambda = 2,9$ μm (infra rojo) y en el segundo a $\lambda = 58$ nm (ultra violeta extremo, casi rayos X). Como se puede ver del gráfico, una estrella *caliente* emite en radio ($\lambda = 1$ cm) 3×10^{-20} veces la energía que emite en su longitud de onda de máximo. En el caso de una estrella *fría* esta relación mejora un poco pero igualmente es muy pequeña, 2×10^{-12}. Por este motivo seguiremos estudiando a las estrellas mayormente con telescopios ópticos. El caso del Sol es diferente porque a pesar de ser una estrella *fría*, está muy cerca y por eso podemos observarlo en toda la banda electromagnética con instrumentos no muy sensibles.

El flujo bolométrico de una estrella, es decir, la energia por unidad de tiempo y de área emitida por una estrella en todas las longitudes de onda está dado por la siguiente ley

$$F = \sigma T^4 \ ,$$

donde $\sigma = 5,67 \times 10^{-8}$ WK^{-4}m^{-2} es la constante de Stefan–Boltzmann y T es la temperatura em K. La Luminosidad de una estrella es

$$L = F \times \text{area} = \sigma T^4 4\pi R_*^2 \ ,$$

donde R_* es el radio de la estrella. De estas últimas fórmulas vemos que el brillo de una estrella crece con la **cuarta potencia** de la temperatura, pero también con el **cuadrado del radio**. Entonces, entre dos estrellas a igual temperatura, será más brillante la más grande.