



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA

DESARROLLO DE UN OBSERVATORIO VIRTUAL SOLAR:

“SIMULACIONES NUMÉRICAS
REMOTAS”

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN INGENIERÍA
P R E S E N T A
ALEJANDRO RENÉ GONZÁLEZ PONCE



Directores de Tesis: Dr. Alfredo J. Santillán González
M. en I. Liliana Hernández Cervantes

México, D.F.

2008

Indice

Capítulo 1. Introducción

1.1.	Introducción general.	1
1.2.	Objetivo	2
1.3.	Descripción de los capítulos	2

Capítulo 2. Observatorios Virtuales Astronómicos

2.1.	Introducción.	5
2.2.	Telescopios; grandes fábricas de datos astronómicos	6
2.3.	¿Por qué desarrollar un Observatorio Virtual?	7

Capítulo 3. Consideraciones de Diseño del Observatorio Virtual Solar Mexicano.

3.1.	Introducción.	11
3.2.	<i>Hardware.</i>	12
3.2.1.	Procesador	13
3.2.2.	Memoria.	14
3.2.3.	Almacenamiento.	14
3.2.4.	Redes	15
3.2.5.	Sistema Operativo	16
3.3.	Servidor <i>Web</i> : Apache	17
3.4.	Manejador de Base de Datos : <i>MySQL</i>	19
3.5.	Lenguaje de Programación: <i>PHP</i> .	20
3.6.	Seguridad.	22

Capítulo 4. Arquitectura del Observatorio Virtual Solar.

4.1	Introducción.	25
4.2	Características principales del OVSM.	25
4.3	Diseño.	27
4.4	Diagrama de flujo.	28
4.5	Interfaz Gráfica	30
4.6	Simulación Numérica Remota	35

4.7	Generación de la Base de Datos	39
4.8	Búsquedas en la Base de Datos	41

Capítulo 5. Aplicación del Observatorio Virtual Solar

Mexicano: Eyecciones de Masa Coronal.

5.1.	Introducción.	47
5.2.	Simulaciones numéricas: Código ZEUS-3D.	49
5.3.	OVSM: Simulaciones Numéricas Remotas y la creación de la Base de Datos.	51
5.4.	Aplicación y análisis de los resultados producidos por el OVSM.	52

Capítulo 6 Conclusiones

6.1.	Introducción.	57
6.2.	Conclusiones generales	57
6.3.	Trabajo a futuro.	60

Bibliografía

Capítulo 1.

Introducción.

1.1 Introducción General

En la actualidad diferentes universidades y centros de investigación de todo el mundo vinculados al área de física solar tienen acceso a una gran cantidad de datos producidos por telescopios terrestres (Big Bear Solar Observatory (BBSO), High Altitude Observatory (HAO), National Solar Observatory (NSO), Trieste Solar Radio System (TSRS), Wilcox Solar Observatory, etc.) y naves espaciales (Solar & Heliospheric Observatory (SOHO), Solar Terrestrial Relations Observatory (STEREO), Transition Region and Coronal Explorer (TRACE), Hinode (*Sunrise*, proyecto Japonés que estudia la interacción de los campos magnéticos y la corona del Sol, etc.), que se encuentran monitoreando la actividad de la superficie del Sol. Esto implica la generación de varios Terabytes de información distribuida en diferentes lugares del mundo. Gracias al crecimiento del *Internet* y al desarrollo de las tecnologías de la información, actualmente es posible concatenar los archivos generados por estos telescopios utilizando bases de datos distribuidas; en tanto que para hacer búsquedas, procesamiento y análisis de esta información se han diseñado diferentes herramientas computacionales que facilitan estas tareas. Debido al crecimiento tan rápido de los volúmenes de datos, investigadores en áreas de la astronomía, física solar y ciencias de la computación se dieron a la tarea de desarrollar un sistema computacional unificado capaz de realizar todas estas tareas, es decir, se dio paso a la creación del concepto de Observatorio Virtual. En el caso particular del Sol se dio origen al concepto de Observatorio Virtual Solar (OVS; Hill 2000), es decir, la creación de una herramienta computacional que proporcione a investigadores de todo el mundo acceso a grandes volúmenes de información, a través de una interfase Web, para llevar a

cabo minería de datos, análisis e incluso visualización de los mismos. Los OVS no solamente se abastecen de datos observacionales sino también de datos producidos por modelos numéricos que permiten estudiar con detalle la dinámica de los fenómenos que ocurren en la superficie del Sol; recordemos que hasta la fecha el ser humano no ha podido realizar experimentación directa en el Sol, las naves espaciales que monitorean su actividad se encuentran a una unidad astronómica ($1 \text{ UA} = 1.4960 \times 10^{13} \text{ cm}$), por lo tanto, la simulación numérica nos proporciona una excelente opción para poder entender los diferentes procesos físicos que están ocurriendo en la superficie solar y a través del medio interplanetario. El **Observatorio Virtual Solar Mexicano (OVSM; Hernández-Cervantes, González-Ponce & Santillán 2008; Santillán, Hernández-Cervantes & González-Ponce 2008)** es una novedosa y única herramienta computacional en Latinoamérica, que permite optimizar recursos y apoyar a científicos y estudiantes del área de física solar a realizar cálculos numéricos complejos desde cualquier parte del mundo utilizando una conexión a *Internet*. Esta herramienta trae grandes beneficios a universidades o centros de investigación que no cuentan con equipos de alto rendimiento y códigos numéricos complejos ya que el usuario podrá realizar simulaciones numéricas remotamente y por ejemplo, estudiar la evolución de eyecciones de masa coronal, enormes cantidades de plasma que ha sido expulsado de la superficie del Sol al medio interplanetario, a grandes velocidades.

El portal consiste en un sistema de paginas *Web* dinámicas, intuitivas y amigables para el usuario que contienen las condiciones iniciales (variables físicas) utilizadas por el código numérico que se va a ejecutar en el servidor, el cual cuenta con depuradores que garantizan que no se puedan introducir valores no numéricos o factibles, para iniciar la simulación, además de poderse realizar búsquedas avanzadas en su base de datos y el envío de mensajes de correo electrónico al finalizar las simulaciones.

1.2 Objetivo

El **objetivo general** de esta tesis es **diseñar, desarrollar y poner a disposición de la comunidad científica internacional diferentes herramientas computacionales** que permitan a investigadores y estudiantes realizar investigación de vanguardia en el campo de la Física Solar, **a través de un Observatorio Virtual numérico**. El uso de esta herramienta permitirá que los usuarios optimicen recursos computacionales y utilicen redes de alta velocidad.

1.3 Descripción general de los capítulos

El trabajo desarrollado en esta tesis está organizado en seis capítulos de la siguiente forma.

En el **capítulo uno** se presenta una introducción general del trabajo realizado, los objetivos y el contenido por capítulos del mismo.

En el **capítulo dos** se explica los orígenes de los observatorios virtuales, una descripción de que son y para que se utilizan así como su importancia en la investigación científica.

En el **capítulo tres** se hace una revisión de los elementos de *hardware* y *software* necesarios para diseñar el OVSM, así como la explicación de por qué fueron seleccionados para este sistema. Sobre el *hardware* se describen las características de los tipos de procesadores, memoria, dispositivos de almacenamiento, así como los canales de comunicación. Respecto al *software* se describen las opciones disponibles de sistemas operativos, servidores *Web*, base de datos, lenguajes de programación y algunas consideraciones de seguridad.

En el **capítulo cuatro** se describe detalladamente el proceso de desarrollo de la herramienta, explicando cada una de las fases necesarias para su elaboración, el diseño del formato de captura, los elementos de verificación de la información capturada, el proceso de elaboración del archivo que contiene las condiciones iniciales del código numérico ZEUS-3D, como se lleva a cabo la simulación numérica remota, el almacenamiento de los datos y manejo de la base de datos, así como el envío de correo electrónico.

El **capítulo cinco** se realiza una breve descripción desde el punto de vista de la física solar tanto del fenómeno conocido como eyección de masa coronal que está directamente relacionado con el clima espacial, como de la aplicación y análisis de los resultados producidos por el OVSM.

En el **capítulo seis** se muestran las conclusiones del trabajo realizado, para el diseño, desarrollo e implementación del primer Observatorio Virtual Solar Mexicano, enfocado a las simulaciones numéricas remotas y se describe el trabajo a futuro.

Finalmente es importante señalar que el desarrollo de este trabajo, trajo como productos tres artículos con arbitraje internacional, un artículo de divulgación y tres trabajos presentados en congresos internacionales.

Capítulo 2

Observatorios Virtuales Astronómicos.

2.1 Introducción

Al igual que en otras ciencias y en la mayoría de las actividades que están vinculadas al desarrollo moderno de nuestra sociedad (por ejemplo, comercio, entretenimiento, industria, seguridad, etc.) la astronomía está siendo abarrotada de información por un crecimiento exponencial en el volumen y complejidad de datos observacionales y teóricos que se van generando en todo el mundo (Szalay & Gray 2000), lo mismo sucede con las observaciones continuas en tiempo real de datos asociados obtenidos por Stereo, Soho, Hinode, etc. Se estima que la cantidad de información acumulada se duplica cada 18 meses y por lo tanto el crecimiento en volumen cumple perfectamente con la ley de Moore (1965). Esto no es una casualidad, mientras el avance del área de los espejos primarios de los telescopios a lo largo de los años se ha duplicado aproximadamente cada 25 años, el número de píxeles de un detector CCD (*Charged Coupled Device*) se duplica cada 2 años (ver figura 1). Esto quiere decir que aún cuando el tamaño de los telescopios permanezca fijo durante cierto tiempo, el tener detectores CCDs más grandes y más sensibles implica generar archivos cada vez de mayor tamaño. Esto trae como consecuencia un serio desafío a la comunidad científica internacional, ya que, la cantidad de información astronómica a la que se enfrenta los grupos de investigación es realmente muy grande. Por ejemplo, hace apenas 5 años ya se calculaban el contenido de bases de datos astronómicas en varios cientos de TB (Brunner et al. 2002) y a principios de 2005 la tasa de recolección de datos se estimaba aproximadamente a un *Terabyte* (TB) por día. Entonces, ya que tanto el volumen de datos como sus tasas de recolección están creciendo

exponencialmente nos lleva a pensar que en pocos años nos estaremos enfrentando a bases de datos de varios PB.

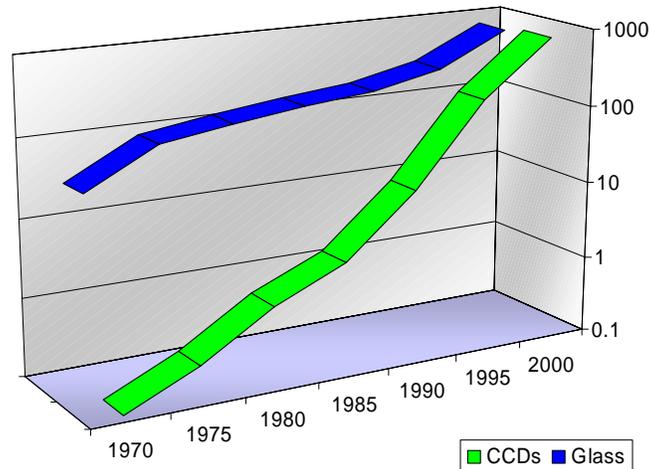


Figura 2.1. La gráfica muestra el crecimiento de los espejos primarios de los telescopios y de las dimensiones de los detectores CCD respecto al tiempo. Claramente se puede ver que el aumento de la resolución de los CCDs cumple con la ley de Moore, es decir, presenta un crecimiento exponencial.

2.2 Telescopios: generadores de grandes bases de datos.

Hasta la fecha existen telescopios terrestres y espaciales produciendo decenas de TB de datos astronómicos, como por ejemplo, el *Hubble Space Telescope (HST)*, *Chandra X-Ray Observatory*, *Sloan Digital Sky Survey (SDSS)*, *Two Micron All Sky Survey (2MASS)* y *Faint Images of Radio Sky at Twenty Centimeters (FIRST)*. Todos estos instrumentos, junto con los nuevos telescopios en construcción como el *Large Synoptic Survey Telescope (LSST)*, seguirán produciendo una enorme cantidad de información que estará almacenada en diferentes bases de datos del orden de *Petabytes (PB)*. La cantidad de información astronómica a la que nos estamos enfrentando es realmente descomunal. Por ejemplo, en 2005, sólo el proyecto SDSS tenía ~57 TB de información de millones de objetos astronómicos (asteroides, estrellas, cúmulo de estrellas, nebulosas, supernovas, galaxias,

cúmulos de galaxias, etc.) observados en diferentes longitudes de onda. En tanto que en el futuro el proyecto LSST producirá del orden de varios cientos de MB por segundo, es decir, más de 8 TB por día, cantidad de información que será difícil de dirigir sin herramientas computacionales de vanguardia. Por otro lado, el desarrollo futuro de la astrofísica mexicana y de las ciencias computacionales en general dependerá de las posibilidades de crear nuevos proyectos de gran envergadura, que permitan construir una infraestructura sólida y que estimulen el crecimiento de las plantas científicas y técnicas. De forma conjunta, la Universidad Nacional Autónoma de México (**UNAM**) y el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (**INAOE**) cuentan con un par de Observatorios en Baja California y Sonora, están construyendo el Gran Telescopio Milimétrico (**GTM**) en Puebla y el radiotelescopio de Centelleo Interplanetario en Michoacán. De igual manera ambas instituciones son miembros del Gran Telescopio de Canarias (**GTC**), de los radiointerferómetros *Expanded Very Large Array* (**EVLA**) y *Atacama Large Millimeter Array* (**ALMA**) y parte del grupo promotor del satélite *World Space Observatory*.

2.3 ¿Por qué desarrollar un Observatorio Virtual?

En la sección anterior se dio una descripción general de la cantidad de información que se está generando, particularmente, en astronomía, pero que en general se produce en otras áreas de la ciencia (biología, ciencias genómicas, física de altas energías, química, etc.). Queda claro que una vez que se tengan almacenados estos volúmenes de datos, será imposible acceder, manipular y analizar de manera eficiente toda la información contenida allí a menos que contemos con la infraestructura y planeación adecuada. El origen del concepto de **Observatorio Virtual (OV)** surge de una propuesta científica-tecnológica que tiene la intención de dar respuesta al enorme problema de operar adecuadamente la información masiva producida por diferentes medios que se utilizan para estudiar el Universo; telescopios y modelos numéricos. Un **OV** ofrece un *ambiente federativo*

internacional virtual de investigación, basado en nuevas tecnologías de la información e Internet, completamente abierto a científicos y estudiantes que desean trabajar con conjuntos de datos astronómicos reales. Esta herramienta computacional reúne archivos de datos y servicios, así como complejas técnicas de exploración (minería de datos) y análisis de datos. Un **OV** es un excelente pretexto para realizar proyectos multidisciplinarios donde colaboren astrofísicos y especialistas en ciencias e ingeniería de la computación (Djorgovski & Williams, 2005). Y por si fuera poco, dicho concepto puede extenderse y aplicarse fácilmente a otras áreas de la ciencia y de la sociedad en general que generan y almacenan datos de manera frecuente, como es el caso del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).

La definición de **OV** fue propuesta en la década de los años 1990's a través de un sinnúmero de discusiones y talleres realizados durante el Simposio 179 de la Unión Astronómica Internacional y en la Reunión 192 de la *American Astronomical Society* (Djorgovski, & Beichman, 1998) En dichas discusiones se acordó que el acceso electrónico, vía Internet, a las bases de datos astronómicos de todo el mundo es vital para investigar los detalles de nuestro Universo. Una base de datos por si sola es importante, no obstante, si deseamos realizar investigaciones que requieran un estudio multi-espectral, o pancromático, debemos tener acceso a varias bases de datos. El **Observatorio Virtual** tiene como una de sus tareas fundamentales dar acceso a los astrónomos mexicanos y de todo el mundo a la información almacenada en dichas bases de datos, independientemente del lugar geográfico donde se generen o almacenen los datos. Por ejemplo, si queremos entender los detalles de la expansión de Universo y la formación de la galaxias, necesitamos hacer estudios estadísticos de tipos específicos de galaxias, así como de sus distancias y del medio ambiente donde se localizan. Esto requiere de imágenes en diferentes longitudes de onda, de miles o millones de galaxias, así como el conocimiento de sus distancias. Esta tarea resultaría casi imposible de lograr con una sola base de datos.

Por otro lado, los recursos computacionales necesarios para operar un OV son similares a los que se utilizan en astrofísica teórica al hacer simulaciones numéricas de sistemas complejos (cálculos de N-cuerpos, hidrodinámica, magnetohidrodinámica, evolución de poblaciones estelares, etc.). En particular se requiere de equipos de cómputo de alto rendimiento, es decir, con procesadores rápidos, con gran capacidad de almacenamiento para realizar cálculos numéricos y procesar y analizar los resultados que estos arrojan. Resulta por lo tanto natural hacer uso de la misma infraestructura de la cual se dispondría para un OV para trabajar aspectos puramente teóricos, como es el caso que se muestra en esta tesis. Finalmente, disponer de una misma infraestructura donde se tengan a la mano tanto observaciones como modelos teóricos con los cuales se puedan hacer comparaciones resulta realmente atractivo.

El desarrollo futuro de la astrofísica mexicana dependerá de las posibilidades de crear nuevos proyectos de gran envergadura, que permitan construir una infraestructura sólida y que estimulen el crecimiento de las plantas científicas y técnicas de nuestro país.

Capítulo 3.

Consideraciones de Diseño del Observatorio Virtual Solar Mexicano.

3.1 Introducción

Para el desarrollo del Observatorio Virtual Solar Mexicano (OVSM), se llevó a cabo un estudio minucioso de una serie de herramientas computacionales que funcionan de manera nativa en ambientes de programación tipo *UNIX* (ver *UNIX*), esto se hizo con el objetivo de garantizar la compatibilidad entre el sistema operativo, las herramientas de desarrollo y el código numérico, así como asegurar que las simulaciones se ejecuten de manera eficiente y segura.

El OVSM tiene como característica fundamental el que, a través del *Web*, un usuario que este interesado en el área de Física Solar, puede acceder a una interfaz gráfica intuitiva para ejecutar de manera remota una simulación numérica o buscar en la base de datos una o varias simulaciones que tengan alguna característica en particular y que previamente hayan sido ejecutadas. Por ello el OVSM requiere varios elementos computacionales como son.

- Equipo de cómputo de alto rendimiento.
- Contar con un sistema operativo estable y confiable.
- Tener un servidor de *Web* eficiente.
- Utilizar un manejador de bases de datos apropiado.
- Trabajar con un lenguaje de programación compatible con todos los puntos anteriores.
- Generar un esquema de seguridad para la integridad física y lógica de la base de datos.

La combinación de las herramientas seleccionadas para el OVSM, fueron, *Linux* (ver *Linux*) como sistema operativo, *Apache* como servidor *Web* (ver *Apache*), *MySQL* (ver *MySQL*) como manejador de base de datos (*RDBMS*, *Relational Database Management System*) y *PHP* (*Hypertext Preprocessor*, ver *PHP*) como lenguaje de programación.

Al conjunto de estas herramientas *Linux-Apache-MySQL-PHP*, se les conoce de manera general con su acrónimo LAMP.

En este capítulo se presenta un análisis detallado de los elementos computacionales, tanto de *hardware* como de *software* que conforman el OVSM.

3.2 Hardware

En las últimas décadas el desarrollo tecnológico que se ha presentado en diversas áreas científicas ha crecido rápidamente. Este auge claramente puede verse en el Cómputo debido a los importantes avances y descubrimientos, tanto electrónicos como de comunicaciones que se han realizado. Como consecuencia de este proceso el Cómputo se ha convertido en una herramienta indispensable para muchas ramas de la ciencia, como por ejemplo, en la astronomía, la biología, la física, la ingeniería, etc. Muchos de los estudios e investigaciones que se hacen actualmente en esas áreas necesitan realizar cálculos que prácticamente serían imposibles sin la ayuda de una computadora (ver Santillán, Hernández y Franco 2004). Es por ello que para el desarrollo del proyecto del OVSM, es importante contar con una buena infraestructura computacional y de comunicaciones. Algunas características importantes a tomar en consideración en el diseño son.

- Velocidad de procesamiento.
- Gran cantidad de memoria RAM.
- Capacidad de almacenamiento.
- Conectividad a redes de alta velocidad.

3.2.1. Procesador

En la actualidad existen diferentes tipos de procesadores en el mercado, sin embargo, la tecnología de 64 *bits* se está convirtiendo en el estándar del cómputo reciente, estos procesadores son aprovechados a su máxima capacidad cuando se requiere un alto nivel de procesamiento de datos complejos, como por ejemplo programas científicos, simulaciones numéricas, grandes bases de datos, edición de video o análisis de imágenes de alta definición, debido a que pueden direccionar grandes cantidades de memoria física y virtual. Las computadoras de 32 *bits* pueden manejar apenas 4 GB de memoria direccionable, mientras que los sistemas operativos de 32 *bits* apenas logran direccionar 2 GB, es por ello que un proceso de más de 2 GB no puede ser ejecutado en una computadora de 32 *bits*, aunque tenga suficiente memoria RAM (ver AMD).

Un procesador de 64 *bits* funciona totalmente con esta arquitectura, esto es, la Unidad Aritmético-Lógica (*ALU*), los registros y los bus de datos cumplen con esta característica. Por otro lado, estos procesadores son capaces de funcionar hasta con 18 446 744 073 709 600 000 *bytes*, o más en breve: casi 16 *Exabytes*. Un ejemplo práctico de esta opción es la ventaja de los procesadores de 64 *bits* para leer y ubicar archivos mayores a 4 GB. Sin embargo, los componentes físicos de mayor capacidad requieren sistemas operativos y aplicaciones que utilicen eficientemente los 64 *bits*. En el caso de los primeros, ya existen las versiones adecuadas, cuya principal diferencia con sus antecesores radica en el uso que hacen del procesador para la comunicación entre los dispositivos del equipo e incluso, hay versiones que administran más de un procesador simultáneamente.

Esta es la razón por la cual el proyecto del OVSM se ha desarrollado en un equipo de cómputo con procesador dual de 64 *bits*.

3.2.2. Memoria

Como se mencionó en la sección anterior, tanto la memoria como el procesador, juegan un papel primordial para poder ejecutar simulaciones numéricas. No obstante, existe otra propiedad que también es importante e indispensable para el alto rendimiento de una computadora: el **sistema de memoria**. No importa que tan rápido sea un procesador, si la memoria no es capaz de mantener y proporcionar las instrucciones y los datos a un cierto ritmo no podrá tener un buen desempeño. Por otro lado, es importante recordar que la **memoria cache** de una computadora es una memoria intermedia de alta velocidad que se inserta entre los procesadores y la memoria principal para capturar aquellas porciones de los contenidos de la memoria principal que están actualmente en uso. Típicamente, la **memoria cache** es aproximadamente de 5 a 10 veces más rápida que la memoria principal, y por lo tanto, puede reducir el tiempo de acceso a memoria de un procesador.

3.2.3. Almacenamiento

Los avances asociados al tiempo invertido para acceder a la información almacenada en los discos duros, no son comparables con los que se han tenido en el diseño de los procesadores. Aún cuando se haya incrementado la capacidad de almacenamiento de los discos, el tiempo de acceso sigue siendo más lento respecto al de los procesadores. Recordemos que el almacenamiento secundario de datos más importante en una computadora es el disco duro, donde los más populares son del tipo EIDE o SATA.

Para el proyecto del OVSM, el almacenamiento juega un papel primordial, debido a 2 razones principalmente.

1. **Cuando se ejecuta la simulación.** Esto es debido a que el proceso de I/O (*Input/Output*) afecta el rendimiento de una simulación numérica, porque cada cierto intervalo de tiempo, se requiere escribir uno o varios archivos de salida.
2. **Cuando se almacena en la base de datos.** Porque es indispensable contar con capacidad suficiente (espacio en disco duro) y con las condiciones necesarias para garantizar la integridad física y lógica de la información

3.2.4. Redes

Debido a que una de las características más importantes de los observatorios virtuales y de las simulaciones numéricas remotas, es el compartir información a través de la red, es indispensable contar con un medio de transferencia de alta velocidad. Existen dos factores que son determinantes en el buen funcionamiento de la red, **la latencia** y **el ancho de banda**. El tiempo que necesita en viajar un paquete de información desde la fuente a su destino se le conoce como **latencia**, comúnmente este tiempo se mide en microsegundos. A diferencia del anterior, el **ancho de banda** está asociado a la velocidad máxima a la cual se puede transmitir información, es decir, está relacionado con el número de *bits* que pueden viajar por segundo.

En el caso del OVSM el equipo en el cual se estarán haciendo las simulaciones numéricas así como el almacenamiento de la base de datos, estará trabajando con *Gigabit Ethernet*, que es una extensión del RFC 802.3 (ver IEEE, 802.3) que ofrece un ancho de banda de 1000 Mbps y funciona a través de fibra óptica y par trenzado, y estará conectado a la red de *Internet 2* (para mayor información sobre el tema ver Hernández-Cervantes, Santillán y González-Ponce 2008).

3.2.5 Sistema Operativo.

Los sistemas operativos deben proporcionar a los usuarios dos cosas fundamentales; (a) permitir que el *hardware* de la computadora sea fácil de usar y (b) compartir los recursos del *hardware* entre los usuarios. Para el caso del OVSM, se llevó a cabo un detallado análisis entre los sistemas operativos *Windows* y *Linux* con el objetivo de establecer qué sistema operativo era el más conveniente para su funcionamiento y mantenimiento a futuro. Después de analizar sus características se optó por trabajar con Linux ya que proporciona las siguientes ventajas:

- Sus raíces están cimentadas en las características del sistema operativo *UNIX*, con la gran ventaja de que el código fuente es de distribución libre lo que ha permitido grandes aportaciones de diferentes grupos de usuarios que fortalece su desarrollo.
- Actualmente se puede instalar en diferentes arquitecturas computacionales como *Macintosh*, *Intel*, *AMD*, *Digital Alpha* y *Sun Sparc*. Además existen distintas distribuciones para 32 y 64 *bits* como, *RedHat Linux* (ver *RedHat*), *Fedora* (ver *Fedora*), *CentOS* (ver *CentOS*), *Debian GNU/Linux* (ver *Debian*, *Home page*) y *SuSE* (ver *SuSE Linux*), entre otras.
- Soporta diferentes manejadores de base de datos como *MySQL* (ver *MySQL*) o *PostgreSQL* (ver *PostgreSQL*).
- Soporta diferentes servidores *Web*, siendo el más popular *Apache* (ver sección 3.3).
- Los ejecutables hacen uso de las bibliotecas de enlace dinámico, esto significa que comparten el código común, de esta forma los ejecutables serán más pequeños incluyendo aquellos que hagan uso de muchas bibliotecas. El enlace dinámico se hace en tiempo de ejecución, con lo que el programador puede cambiar las bibliotecas sin necesidad de recompilar los ejecutables. No obstante, existe la posibilidad de enlazarse

estáticamente cuando se deseen hacer ejecutables que no requieran la presencia de las librerías dinámicas en el sistema.

3.3 Servidor *Web*: Apache

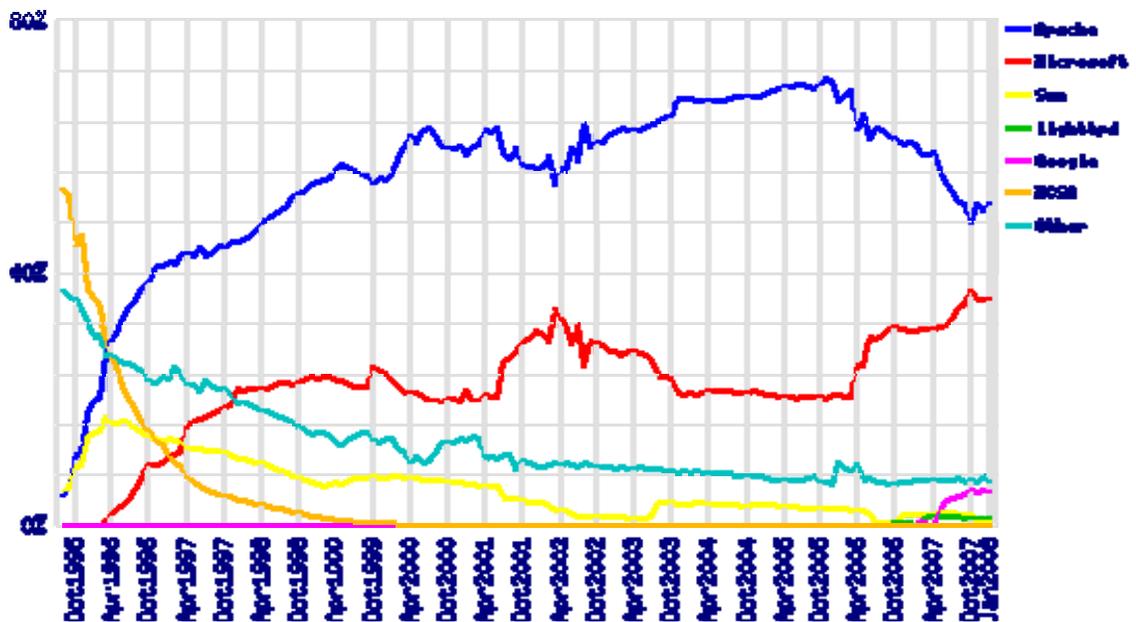
La creación de Apache obedeció a la necesidad de contar con un servidor *WWW* que trabajara en diferentes tipos de escritorios y servidores, que fuera seguro, eficiente y extensible, aunado a que al mismo tiempo manejará los estándares del *http* (ver RFC-2616).

El servidor *Web* Apache (ver Apache) funciona en diferentes sistemas operativos como son *UNIX* y *Linux* en muchas de sus versiones, *MacOS X* y *Windows*, en la actualidad es uno de los más utilizados a nivel mundial con una distribución cercana al 50 % de todos los servidores *Web* que se encuentran funcionando a nivel mundial, de acuerdo a datos obtenidos de *Netcraft* (ver *Netcraft*), la cual es una compañía, que ofrecen servicios de búsqueda y análisis de muchas funciones de Internet, explora sitios *Web* desde 1995 y es muy respetada por la veracidad de sus gráficas de distribución de servidores *Web*, sistemas operativos y aplicaciones, para más información ver tabla 3.1.

Developer	Dec-07	Percent	Jan-08	Percent	Change
Apache	32,124,072	47.20%	33,344,184	48.84%	1.64
Microsoft	25,176,286	36.99%	24,612,182	36.05%	-0.94
Google	6,343,369	9.32%	5,745,468	8.42%	-0.9
Sun	191,919	0.28%	185,858	0.27%	-0.01
Lighttpd	73,703	0.11%	75,114	0.11%	0

Tabla 1. Variación de la distribución de los servidores *Web* a nivel mundial a enero del 2008.

El crecimiento de Internet de 1995 a la fecha (período que ha sido documentado), permite observar la tendencia de la distribución de servidores *Web* mundial, siendo los servidores Apache la de mayor distribución, ver gráfica 3.1.



Gráfica 3.1. Distribución del uso de los servidores *Web* desde 1995 a enero de 2008.

Las ventajas que nos proporciona el servidor de *Web* Apache para el proyecto del MVSO son las siguientes:

- **Generación de directorios virtuales.** Esta característica nos permitirá en un futuro contar con diferentes direcciones de Internet para la captura de los parámetros de entrada de la simulación numérica remota y distribuirlos desde un solo equipo a diferentes servidores que realicen la simulación numérica.
- **Facilidad de uso.** Funcionará de manera transparente con los *scripts* de *PHP*, optimizando así el tiempo de desarrollo.
- **Herramientas de monitoreo.** Debido a que es el servidor *Web* más popular en la actualidad, existen diferentes herramientas que podemos utilizar para estar monitoreando las conexiones al servidor.
- **Compatibilidad.** Este servidor es compatible con diferentes manejadores de base de datos como *MySQL*.

3.4 Manejador Base de datos: *MySQL*

Un servidor de base de datos es un programa que almacena información estructurada en forma de tablas, el lenguaje de consultas es SQL (*Structured Query Language*) y es posible hacer dichas consultas en diferentes equipos de cómputo en cualquier parte a través de puertos de comunicación por medio del protocolo TCP/IP (ver RFC-793 y RFC-1180).

Concretamente el servidor *MySQL* es un sistema de administración de base de datos diseñado para trabajar en plataformas cliente-servidor; esta desarrollado en C/C++, lo que permite ofrecer una gran versatilidad y posibilidad de trabajar en múltiples versiones diferentes de *UNIX*, y ambientes *Windows* y *MacOS*, una de las grandes ventajas que ofrece el *MySQL* es la posibilidad de soportar todo el conjunto de instrucciones *SQL ANSI*, lo que permite poder interactuar con sistemas de bases de datos más grandes con el mismo conjunto de instrucciones nativas de *SQL*. Otra ventaja importante es utilizar el modelo relacional, el cuál, almacena y recupera datos basados en el modelo propuesto por E. Codd en 1970 (Codd, 1970), siendo el estándar de los mecanismos de almacenamiento de datos estructurados. El modelo relacional representa los datos como piezas correspondidas de información o atributos sobre una entidad; el conjunto de valores de los atributos son llamados tuplas o registros y éstos son almacenados en tablas que contienen el mismo conjunto de atributos. Las tablas pueden ser relacionadas con otras tablas a través de llaves y atributos (Date,2000).

Las características que ofrece *MySQL* para el proyecto del OVSM y que serán aprovechadas son las siguientes:

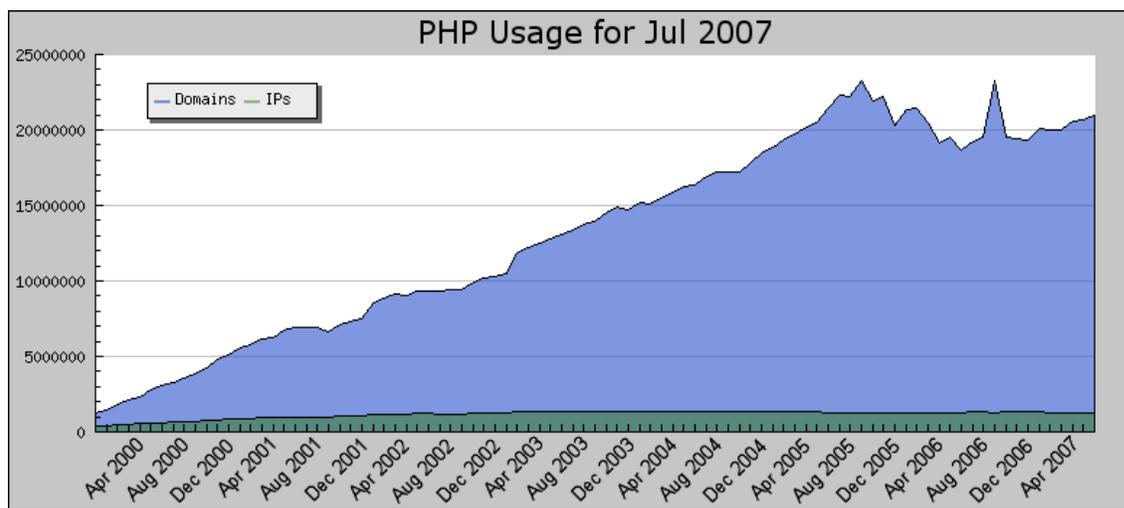
- Soporta plataformas de múltiples procesadores.
- La base de datos puede almacenarse en diferentes sistemas operativos.
- Soporta todo el conjunto de sentencias de *SQL*.

- El tamaño que puede alcanzar, satisface las necesidades del observatorio virtual por varios años (5 mil millones de renglones).

3.5 Lenguaje de Programación: *PHP*

El lenguaje de programación seleccionado para el OVSM es *PHP* (*Personal Home Page*), debido a que permite interactuar a través de varios comandos sobre instrucciones propias del sistema operativo, lo que nos permite tener un control del servidor por medio de un conjunto de *scripts* que otros lenguajes no nos permiten acceder de manera sencilla.

PHP (ver *PHP*) fué desarrollado en C y actualmente se basa en *scripts* que permiten generar páginas dinámicas que cambian sus valores en cada acceso dependiendo de la información solicitada. Éste lenguaje fue elaborado en 1995 conocido como *PHP/FI* creado por el desarrollador de Perl, y es a la fecha el lenguaje de mayor uso para la creación de páginas *Web* dinámicas (<http://www.PHP.net/usage.PHP>) ver gráfica 3.2.



Gráfica 3.2. Distribución del uso del uso de *PHP* de abril de 2000 a abril de 2007.

Las características más importantes de *PHP* son:

- **Velocidad:** *PHP* se configura como un módulo de Apache, lo que permite que el tiempo de conexión entre el servidor *Web* y el intérprete de lenguaje no tenga demora optimizando los recursos del sistema.
- **Estabilidad:** *PHP* se carga como un módulo GNU, lo que permite que los errores que se encuentren en los módulos puedan ser corregidos de forma rápida por medio de toda la comunidad de programadores que los utiliza, creando con ello un sistema robusto y estable.
- **Seguridad:** *PHP* proporciona diferentes niveles de seguridad, así como métodos de programación para evitar ataques a los sistemas implementados, los métodos de seguridad interna permiten restringir las operaciones entre directorios y archivos, así como funciones que controlan la cantidad de memoria que puede ser utilizada, para asegurar el rendimiento de las aplicaciones.
- **Simplicidad:** *PHP* utiliza métodos y estructuras semejantes a C y C++, lo que permite que la curva de aprendizaje sea rápida. De la misma forma ofrece una gran variedad de herramientas de conectividad con un gran número de bases de datos, modelos XML, encriptación de archivos y manejo de gráficos.
- **Escalabilidad.** *PHP* ofrece la facilidad de poder incrementar el número de servidores para mejorar el rendimiento, debido a que un gran número de peticiones al servidor pueden ocasionar que el sistema pueda ser sobrepasado, lo que ocasionará problemas de acceso, el lenguaje proporciona la posibilidad de crear una granja de servidores para distribuir las peticiones al sistema .
- **Balanceo de carga.** *PHP* permite distribuir las peticiones a varios servidores para evitar la sobrecarga de trabajo en uno sólo, la forma de distribución más común es el método conocido como *round-robin*, el cual consiste en reconocer cuales servidores tienen una mayor carga que otros y asignarles un peso a cada solicitud para dinámicamente asignarlas a unos servidores específicos.

- **Alta disponibilidad.** *PHP* ofrece una tolerancia a fallos transparente con los componentes de *hardware* del servidor, siendo posible configurar respaldos, incluyendo la base de datos en que se almacena la información, los archivos y directorios.
- **Compatibilidad con manejadores de bases de datos *DBMS*.** *PHP* puede interactuar con muchos *DBMS* como *MySQL*, *SQL Server*, *Oracle*, *Informix*, *PostgreSQL*.

Finalmente, es importante mencionar que la mayoría de las aplicaciones desarrolladas en *PHP* se programan en 3 capas, la cuales consisten en un **servidor Web, un servidor de aplicaciones y un servidor de base de datos.**

3.6 Seguridad

Todas las aplicaciones que utilizan bases de datos en *Internet*, requieren contar con los niveles de seguridad mínimos necesarios para garantizar a los usuarios de las mismas que la información que utilizan esta almacenada correctamente y que ésta se encuentre disponible en cualquier instante (ver *Snyder, C and Southwell, 2005*), por lo tanto, hay algunos aspectos importantes que se deben considerar al momento de desarrollar un proyecto como el MVS0.

- **Prevenir ingreso de información errónea o malintencionada a la base de datos.** La inserción de información malintencionada a las bases de datos por *Internet* consiste en introducir información sin sentido con la idea de utilizar espacio, saturar el número de conexiones o intentar obtener acceso a la información almacenada. La forma más común de poder ingresar información malintencionada es introduciendo caracteres que terminen como instrucciones *PHP* o concatenar una segunda instrucción a una consulta, un ejemplo podría ser el siguiente:

```
Campo de datos $user=$_POST['user'];  
Select * from table where user='$user' ;  
Grant all on *.* to 'hacker@*' by 'password' ;'
```

En este ejemplo, un *hacker* puede entrar a la base de datos con todos los privilegios desde la red. La forma de prevenir este tipo de ataque es la siguiente:

- a) Checar el tipo de datos que se introduce en cada campo de texto, así como el número de instrucciones por consulta.
 - b) Verificar los privilegios que tiene cada usuario para acceder a la base de datos
 - c) Verificar que no se introduzcan caracteres potencialmente peligrosos en los campos de texto dentro de las cadenas, como son las comillas simples (') o el punto y coma (;), que pueden cortar los comandos y permitir introducir una segunda instrucción.
- **Prevenir ejecución de código remotamente.** La ejecución de código remoto consiste en tomar el control de una aplicación aprovechando la interface pública a *Internet* que se desarrollo, este problema de seguridad de agrava cuando se requiere hacer consultas o modificar datos dentro del sistema operativo. Por ejemplo, en los casos en los que se requiere subir archivos a una base de datos es posible incluir código y adquirir información.

```
$echo '<?PHP PHPinfo(); ? >' >> imagen.gif
```

Para evitar la ejecución remota de código, se necesita evitar que el usuario suba al servidor archivos potencialmente peligrosos, por lo se deben filtrar las terminaciones *.PHP*, *.bin*, *.exe*, *.sh*, *.pl*, *.cgi*.

Una segunda opción consiste en crear una carpeta fuera del servidor *Web* donde no se pueda tener acceso a dicho archivo y no permitir la entrada de archivos en los que no se confíe.

chmod -R o -w /documentos/Web/descargas

- **Ejecución segura de comandos del sistema.** La ejecución de comandos en el sistema operativo en muchas ocasiones requiere que el usuario que efectúa la operación tenga permisos especiales, lo cuál es muy peligroso debido a que es posible perder el control del equipo sino se utilizan los niveles de seguridad adecuados. Por ejemplo, las actividades que requieren tener acceso a nivel de superusuario son: cambiar de propiedad un archivo, crear subdirectorios e iniciar o detener procesos. La solución más adecuada para evitar que se presenten problemas de seguridad consiste en utilizar el comando sudo (Superuser do), lo cual permite dar permisos especiales a un usuario para solamente un determinado proceso.

Capítulo 4.

Arquitectura del Observatorio Virtual Solar.

4.1 Introducción.

El Observatorio Virtual Solar Mexicano (OVSM) es una herramienta completamente innovadora, que permite a los investigadores asociados al área de física solar realizar cálculos numéricos complejos desde cualquier parte del mundo únicamente contando con una conexión a *Internet*.

Estas simulaciones le permitirán al investigador hacer un estudio numérico detallado de la evolución de enormes cantidades de plasma expulsado de la superficie del Sol a grandes velocidades al medio interplanetario. Este fenómeno es conocido como eyección de masa coronal y está estrechamente relacionado con el clima espacial (Gosling, J. T. 2000, Schwenn, R., et. al. 2005, Santillán, Hernández-Cervantes y González-Ponce 2007).

4.2 Características principales del OVSM.

El portal consiste de una página *Web* que es simple y amigable para el usuario; esta contiene las variables físicas iniciales utilizadas por el código numérico que se va a ejecutar en el servidor, el cual cuenta con depuradores que garantizan que no se puedan introducir valores no numéricos, o factibles, para iniciar la simulación. Si las condiciones iniciales coinciden con algunas introducidas previamente, la interfaz gráfica le señalará al usuario —mediante un hipervínculo— la ubicación de los archivos en la base de datos, de lo contrario, se procederá a la ejecución de la simulación numérica indicándole al usuario que se está llevando acabo este proceso y se le asociará un identificador, una vez

terminada la simulación se le enviará un mensaje al usuario vía correo electrónico proporcionándole el hipervínculo donde puede obtener el resultado. Si el usuario no desea realizar ningún cálculo numérico, sino únicamente consultar las simulaciones que fueron realizadas anteriormente, podrá acceder a la base de datos del OVSM y obtener cualquiera de las que se encuentren allí. El tipo de resultados que se pueden obtener a partir de graficar alguna de las variables físicas, en este caso la densidad, de los archivos generados por el OVSM se muestra en la figura 4.1 y se discutirán con más detalle en el Capítulo 5. Este tipo de resultados numéricos le permitirán al usuario del OVSM describir tanto la evolución del plasma en el medio interplanetario como el tiempo que tarda en llegar dicho material solar a la Tierra, proceso que es imposible seguir puntualmente con instrumentos de observación, debido a que no existen naves espaciales a lo largo de toda la trayectoria que siguen estas perturbaciones. Cabe mencionar que la mayoría de las naves espaciales que monitorean el Sol se encuentran cerca de la Tierra, es decir, a una unidad astronómica (1 UA) del Sol.

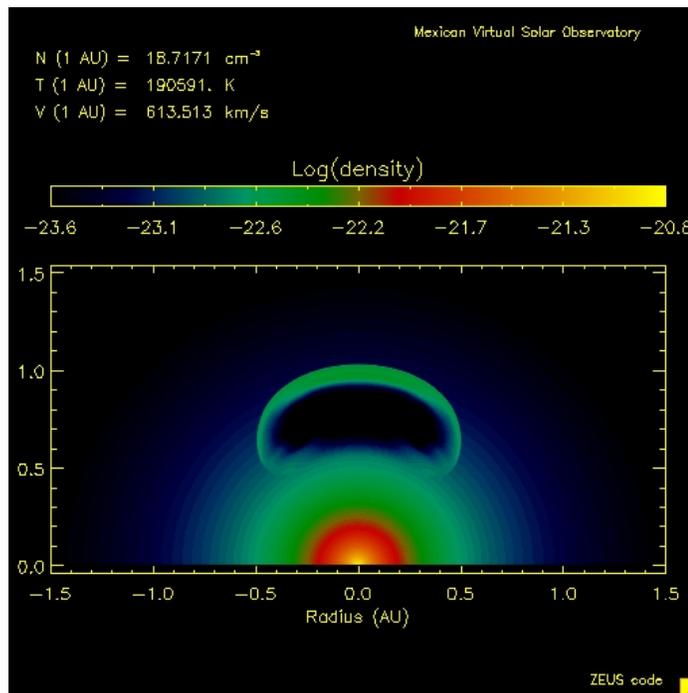


Figura 4.1. En la figura se muestra el logaritmo de la densidad (escala de colores) de una eyección de masa coronal cuando llega a 1UA. Este resultado fue obtenido utilizando el Observatorio Virtual Solar Mexicano (<http://mvso.astroscu.unam.mx>)

4.3 Diseño

El OVSM, fue diseñado a partir de la premisa de crear una herramienta sencilla de utilizar, que cumpliera con los requisitos básicos de un Observatorio Virtual (ver capítulo 2), con la principal diferencia de la base de datos, que en el caso particular del OVSM, se va a generar automáticamente con los resultados de la simulación numérica y no con datos observacionales obtenidos de los diferentes telescopios. Es por esta razón que el OVSM es una excelente opción para que investigadores, principalmente los que se dedican a trabajar con datos observacionales, puedan realizar simulaciones numéricas que les puedan ayudar a interpretar sus datos, sin necesidad de contar con equipos de alto rendimiento a su disposición o sin ser expertos en códigos numéricos, aprovechando las características que ofrece el envío de datos por *Internet* y en su caso las redes de alta velocidad. La arquitectura del OVSM está basada en tres módulos; el primero corresponde al diseño de la Interfaz gráfica de usuario (GUI), el segundo esta relacionado con la ejecución de la simulación numérica remota y el tercero esta asociado a la generación de la base de datos, como se puede ver en la figura 4.2, cada uno de estos módulos esta relacionado entre sí (ver Hernández-Cervantes, et al. 2008).

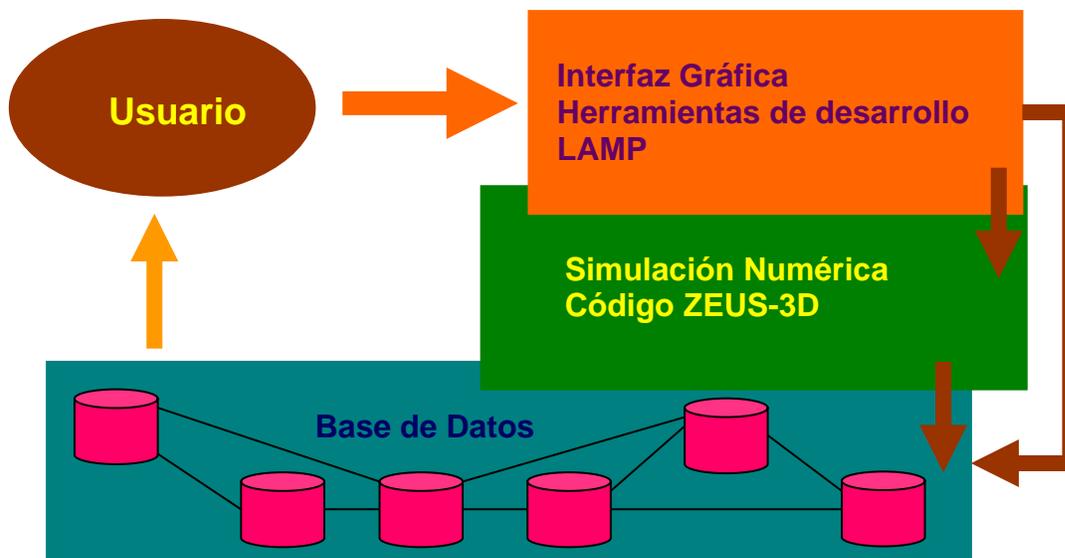


Figura 4.2. Arquitectura del Observatorio Virtual Solar Mexicano

4.4 Diagrama de flujo

Antes de detallar cada uno de los módulos que se implementaron para el Observatorio Virtual Solar Mexicano, es importante conocer su funcionamiento, una manera de hacerlo es mediante el diagrama de flujo que se muestra en la figura 4.1. Allí podemos ver que el usuario tendrá a su disposición una Interfaz gráfica, en la que se le solicitará un nombre de usuario y contraseña, si el usuario aún no está registrado, deberá registrarse llenando un formulario en línea, la información contenida en este formulario servirá para identificar que simulación numérica ha ejecutado cada usuario; una vez que se hace el registro, el usuario deberá validarse para utilizar el OVSM. Cuando la validación se hace, el usuario tendrá dos opciones de acceso, una que permite hacer la simulación numérica remota y la otra que proporciona el acceso a la base de datos, para el caso de la simulación numérica, el usuario deberá completar el formulario en el que se encuentran las condiciones iniciales, o metadato, de la simulación numérica. Con este metadato, el sistema realizará una búsqueda en la base de datos, si ya existe una simulación numérica con estos valores, el sistema le indicará al usuario que está se encuentra disponible en la base de datos y mediante un hipervínculo se pueden descargar los resultados, al mismo tiempo el usuario tiene la posibilidad de poder realizar otra simulación o bien salir del sistema. Si las condiciones iniciales no corresponden a ninguna simulación numérica hecha previamente, está se ejecutará, se generará el archivo de salida, se almacenará la información asociada en la base de datos y finalmente el sistema le enviará al usuario un correo electrónico en donde se le indicará que su proceso ha terminado, así como un hipervínculo en que podrá encontrar los resultados.

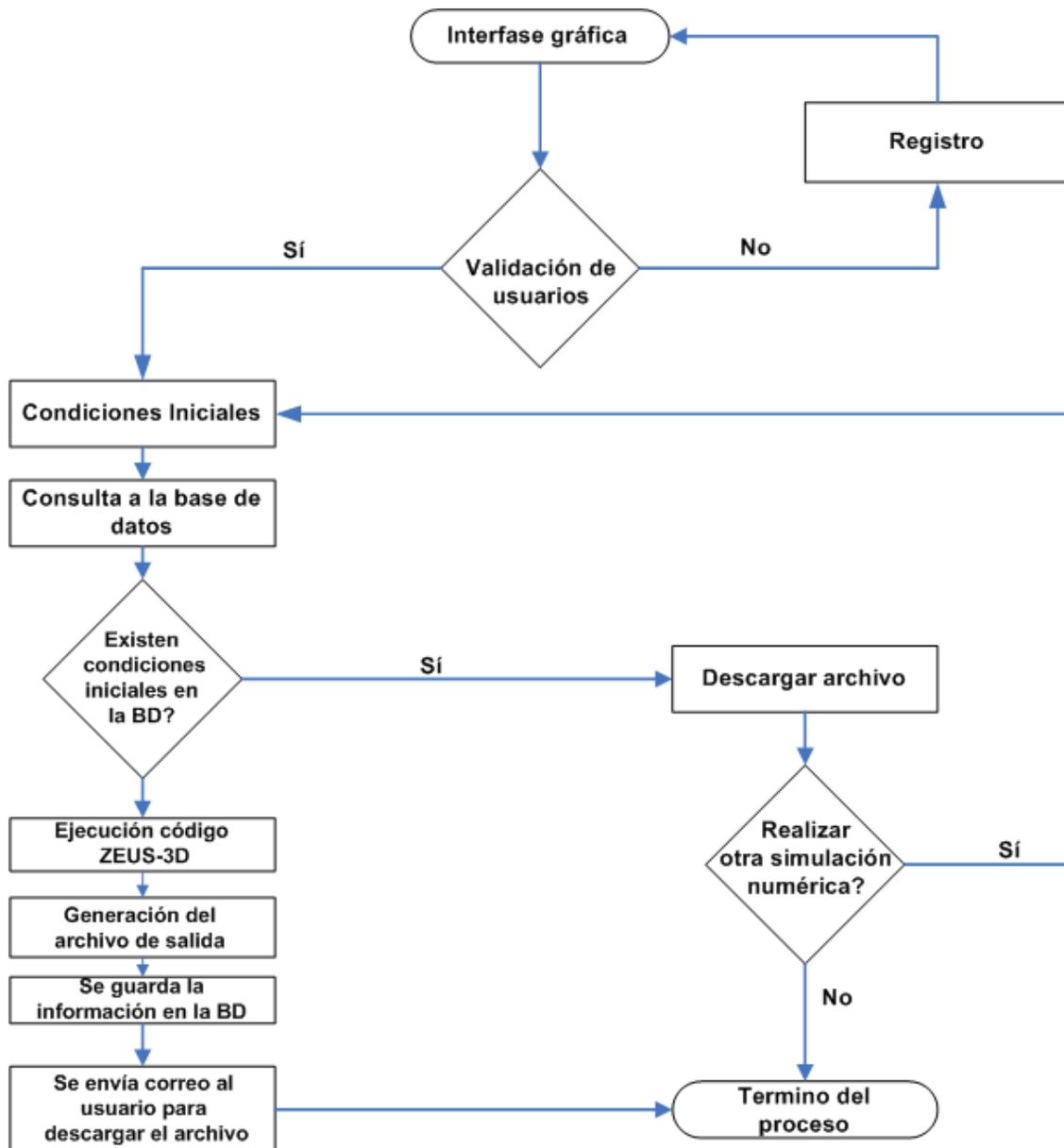


Diagrama de flujo 4.1. Aquí se presentan las etapas que se realizan antes, durante y después de ejecutar una simulación numérica remota de eyecciones de masa coronal.

4.5 Interfaz Gráfica

El diseño de una adecuada interfaz gráfica preocupa a profesionales de las más diversas áreas como: la Ingeniería del *Software*, que se ocupa de desarrollar los programas y su aspecto; el Diseño y la Ergonomía, que estudian qué características hacen más cómodos los productos; la Psicología Cognitiva, que se

encarga de investigar el modo en que las personas conocemos el mundo que nos rodea, y dentro de él nuestra forma de comunicarnos con los ordenadores; la Interacción Hombre-Máquina, que se dedica a estudiar la manera en que se produce la interacción entre las personas y los ordenadores; y otras disciplinas que aunque de forma más tangencial también están interesadas en este tema, como la Lingüística (por el modo en que nos comunicamos con las máquinas y éstas con nosotros), la Sociología (por cómo afectan estos cambios a la sociedad), por nombrar las más relacionadas (ver Marcos Mora 2004).

Sin embargo, podemos resumir que el diseño elegido para cualquier sistema computacional debe ser el apropiado para la comunidad de usuarios a la que esta enfocado y a las tareas que van a realizar, logrando así que los usuarios puedan controlar y aprender a usarlo de manera natural. Para que una interfaz cumpla con esto, se puede partir del esquema propuesto por IBM en 1992 y recogido por Mandel en 1997 (ver IBM 1992, Mandel 1997), este esquema se puede ver como un “iceberg”, es decir un 10% es lo que se ve (presentación), un 30% lo que el usuario siente (interacción) y un 60% cómo interactúa el usuario a través del diseño, de la metáfora empleada, y como se acomoda el modelo del sistema al modelo mental del usuario (relación persona-computadora). Quiere decir que la parte que más ve el usuario, la de la apariencia, no debe recibir la mayor dedicación a la hora de diseñar el sistema, en cambio las relaciones que éste no percibe directamente se llevarían un 60% de la atención por parte del diseñador de *software*.

Siguiendo el esquema propuesto por Mandel podemos identificar los siguientes principios que deben regir un buen diseño de interfaces.

- **Cambios de modo.** Evitarlos siempre que se pueda diseñar una alternativa. Estos cambios, por ejemplo, de modo texto a modo dibujo, o de modo consulta a modo edición.

- **Comprensión del texto y de los mensajes.** Se deberán presentar textos descriptivos y comprensibles al usuario utilizando un lenguaje fácil y lo menos técnico posible. Esta máxima debe aplicarse tanto a los mensajes del sistema, las etiquetas de las opciones y cualquier texto que se presente al usuario.
- **Navegación guiada por toda la interfaz y proveer a la vez un contexto de dónde está el usuario, hacia dónde puede dirigirse y de dónde procede.** Una forma de facilitarle el contexto es proporcionarle claves visuales; se trata simplemente de disponer textos e iconos que indiquen al usuario qué programa está usando, qué documento, en qué parte de él se encuentra, qué opciones tiene disponibles, y permitirle pasar con rapidez de un programa a otro.
- **Principios de la percepción visual de las personas.** Deberá tenerse en cuenta que elegimos mejor en menús breves y lo más importante se presenta en primer lugar.
- **Interfaz transparente al usuario.** El usuario será capaz de recorrer la interfaz interactuando con los objetos sin percibir el sistema que subyace debajo.
- **Manipulación directa de los objetos por parte del usuario y permitir que los adapte a su estilo natural de interacción.** Promover la sintaxis de objeto-acción: que el usuario pueda “coger” los objetos (los archivos o las carpetas) y moverlos físicamente en la pantalla, o copiarlos-cortarlos-pegarlos, por ejemplo.
- **Divulgación progresiva.** Esta expresión significa que no es preciso ni aconsejable mostrar al usuario todas las funciones que ofrece el programa, sino sólo aquellas que vaya necesitando.
- **Coherencia.** Es decir se puede considerar importante mantener la coherencia dentro del sistema y con otros sistemas de manera que los conocimientos adquiridos en el manejo del programa sean transferibles a otros, reduciendo así el tiempo y el esfuerzo de aprendizaje.

- **Internacionalización.** Se puede decir que una interfaz tiene un buen diseño de aplicación internacional, cuando los usuarios pueden utilizarlo en cualquier idioma sin necesidad de conocer esa lengua.

En suma podemos afirmar que **una interfaz bien diseñada permite a los usuarios centrarse en sus tareas y no en el *hardware* o *software* que utiliza como intermediario.** Para el caso particular del Observatorio Virtual Solar Mexicano, se diseñó una interfaz simple e intuitiva, que como se vió en el Capítulo 3, se programó utilizando PHP. Las principales interfaces que se programaron fueron las siguientes.

- **Registro de usuario.** Este es un formulario en el que se le solicita al usuario su nombre, la institución a la que está adscrito, una dirección de correo electrónico válida y una sugerencia de contraseña; toda la información proporcionada, servirá para identificar que usuario envió que proceso y para notificarle vía correo electrónico el resultado de su simulación.
- **Validación de usuario.** Aquí se introduce el usuario y la contraseña para validarse en el OVSM, esta interfaz en realidad se utiliza para generar una sesión de usuario dentro del portal, ya que cualquier simulación que haga estará asociada automáticamente a él.
- **Ejecución de la simulación numérica remota.** Esta es la principal interfaz del sistema, una vez que el usuario ingresa, debe llenar un formulario en donde se introducen los valores de las variables físicas iniciales del viento solar y de las eyecciones de masa coronal (ver figura 4.3.). Una vez que se envían estos valores, comienza el proceso de búsqueda en la base de datos y en el caso de que no exista la simulación numérica, esta se hará mediante la ejecución del código ZEUS-3D. Otra interfaz gráfica asociada a este proceso es la de verificación, ya que para hacer la simulación numérica remota es indispensable introducir todos los valores (ver figura 4.4.).

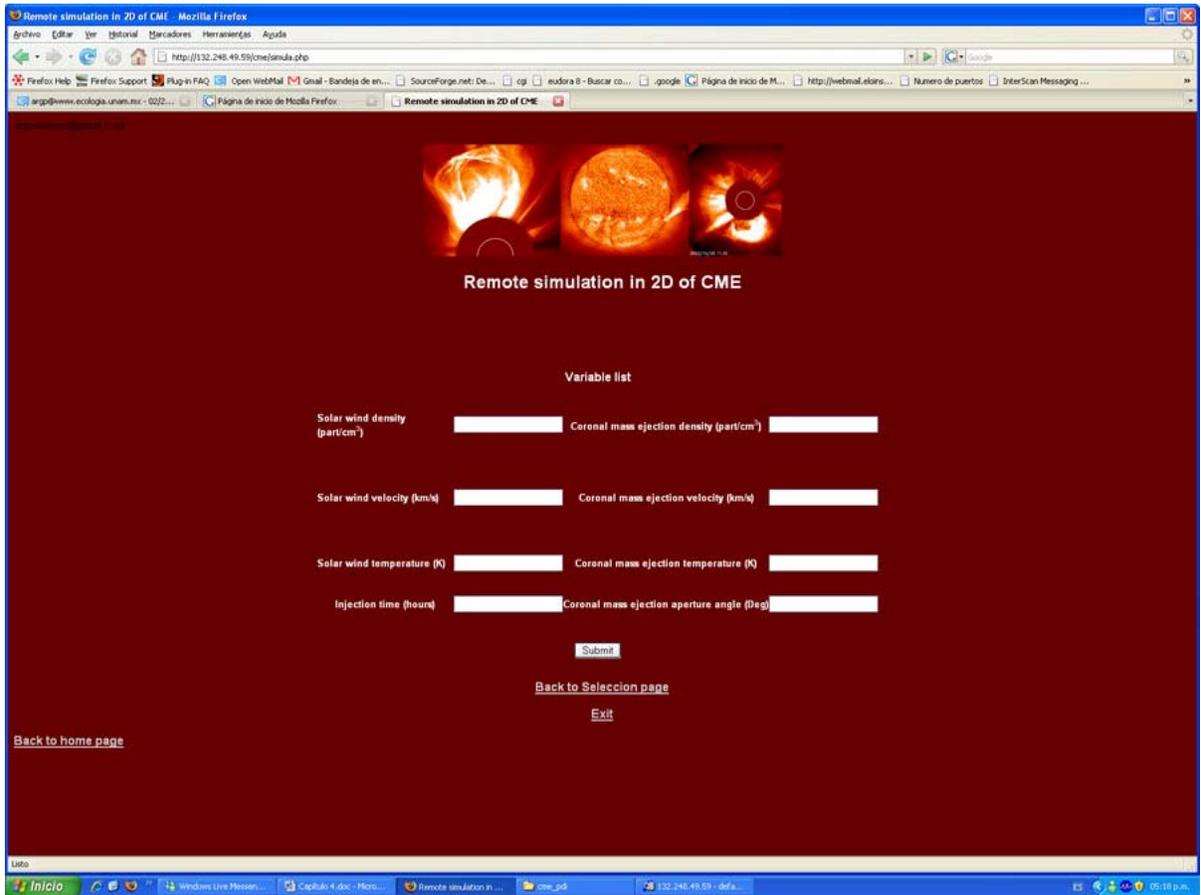


Figura 4.3. Pantalla del formato de captura de datos para hacer la simulación numérica remota en el Observatorio Virtual Solar Mexicano.

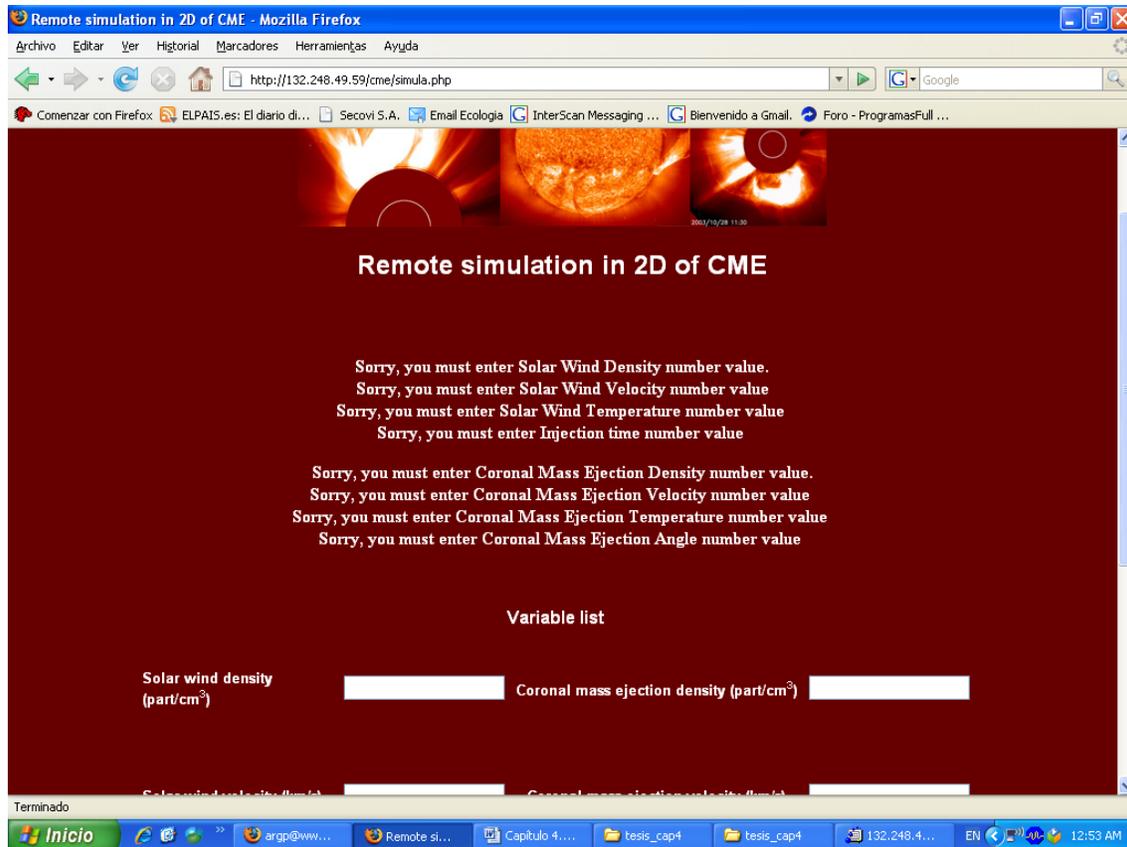


Figura 4.4. Interfaz gráfica asociada con la introducción de todas las variables, asociadas a la simulación numérica.

- **Consulta a la base de datos.** Esta interfaz es muy similar a la anterior y permite al usuario hacer búsquedas en la base de datos en base a una o varias variables físicas que componen el metadato (densidad, velocidad, temperatura, etc.).
- **Resultado de la búsqueda en la base de datos.** En esta interfaz se le muestra al usuario a través de una tabla los resultados de su búsqueda, le proporciona información sobre las condiciones iniciales, la fecha, el correo electrónico del usuario y un hipervínculo en el cual mediante un *click* se puede descargar el resultado de una simulación en particular.

4.6 Simulación Numérica Remota

Las simulaciones numéricas son una poderosa herramienta para el desarrollo y entendimiento de diferentes ramas de la ciencia, tales como la física, la biología, las ingenierías, la medicina, la química, etc., sin embargo, dependiendo del código numérico y de la complejidad del problema a estudiar se requerirán diferentes recursos computacionales y de personal especializado en métodos numéricos, para resolverlo. Por lo tanto, una excelente alternativa para quienes no cuentan con estos recursos, son los observatorios virtuales teóricos.

Para el Observatorio Virtual Solar Mexicano se desarrolló el programa ***SimiZeus***, el cual está relacionado con todos los procesos llevados a cabo para la ejecución del código numérico **ZEUS-3D** (Stone & Norman 1992, ver capítulo 5), este programa genera un directorio, cuyo nombre es la concatenación de las condiciones iniciales de la eyección de masa coronal (CME, por sus siglas en inglés) introducidas en la interfaz gráfica, en este directorio se almacenarán todos los archivos resultantes de la simulación numérica remota (SNR). Al concluir la SNR, todos los archivos se comprimen, se actualiza el campo asociado a la ubicación de los archivos.tar en la base de datos y finalmente se procede con el envío de un correo electrónico al usuario indicándole que su simulación numérica ha terminado. Es importante mencionar que el sistema cuenta un depurador que garantiza que el usuario introduzca todas las condiciones iniciales requeridas para iniciar la simulación numérica.

Para poder iniciar la SNR es necesario modificar el archivo de entrada del código numérico, este llamado *inzeus*, que contiene todas las características que se requieren para hacer la simulación de la evolución de la CME en el medio interplanetario, por ejemplo, tamaño de la malla computacional, condiciones de frontera, tiempo de ejecución del programa, variables físicas del problema, etcétera. Es importante mencionar que únicamente estas últimas son modificadas

por el usuario. A continuación se muestra un ejemplo del archivo *inzeus* utilizado para la ejecución de un código en ZEUS-3D (ver cuadro 4.1), en negritas se pueden observar las líneas que son modificadas por el usuario.

<i>\$iocon</i>	\$
<i>\$rescon</i> dtdmp=-0.0e5, id='cm', resfile='zr00cm'	\$
<i>\$ggen1</i> nbl= 512, x1min=0.083, x1max=2.0, igrd=1, x1rat=1.0 , x1scale=1.49597870e13, lgrid= .t.	\$
<i>\$ggen2</i> nbl= 512, x2min=0.0 , x2max=1.0, igrd=1, x2rat=1.0, x2scale=3.141592654 , lgrid= .t.	\$
<i>\$ggen3</i> nbl= 1 , x3min=0.0 , x3max=2.0, igrd=1, x3rat=1.0, x3scale=3.141592654 , lgrid= .t.	\$
<i>\$spcon</i> nlim=1000000,tlim=10.8e5, ttotal=3600000., tsave= 1.0	\$
<i>\$edcon</i>	\$
<i>\$hycon</i> qcon=0.0, qlin=0.0, courno=0.5, iord=2, istp=0	\$
<i>\$iib</i> niib(1:517,1:1)=3	\$
<i>\$oib</i> noib(1:517,1:1)=2	\$
<i>\$ijb</i> nijb(1:1,1:517)= 4	\$
<i>\$ojb</i> nojb(1:1,1:517)= 4	\$
<i>\$ikb</i> nikb(1:517,1:517)=4	\$
<i>\$okb</i> nokb(1:517,1:517)=4	\$
<i>\$grvcon</i> g=6.67e-08, ptmass=1.99e33, x1ptm=0.0, x2ptm=0.0, x3ptm=0.0	\$
<i>\$eqos</i> rgas=8.31434e7, gamma=1.6666667, niso=0	\$
<i>\$gcon</i>	\$
<i>\$sscon</i>	\$
<i>\$plt1con</i>	\$
<i>\$plt2con</i>	\$
<i>\$pixcon</i> ipixdir = 3, dtpix = 7.2e3 , pixvar = 'd' , nlpix = 300 , pixmin = 6.0e-25 , pixmax = 2.0e-22 , ipixmm = 1	\$
<i>\$voxcon</i>	\$
<i>\$usrcon</i> dtusr=0.0e5	\$
<i>\$hdfcon</i> dthdf=10.8e3, hdfvar= 'to'	\$

<code>\$tslcon dttsl=3.6e4, dttslp=3.6e4</code>	\$
<code>\$discon</code>	\$
<code>\$radcon</code>	\$
<code>\$pgen d_sw =7548, v_sw =74689, t_sw = 3235, tinj =14</code>	
<code>, d_cme =335, v_cme =45, t_cme = 258, a_cme =4569\$</code>	

Cuadro 4.1. Listado de las variables del archivo de entrada *inzeus*.

En el cuadro 4.2. se incluye la parte del código del programa ***SimiZeus*** asociada a la generación del directorio, la modificación del archivo *inzeus* y la ejecución en background de la simulación numérica de la CME utilizando el código numérico ZEUS-3D .

```

mkdir("$directorio", 0777);
$scopia_inzeus=`cp inzeus $directorio`;
$scopia_ejecutable=`cp xzeus34 $directorio`;
$scopia_3=`cp ejecuta.php $directorio`;
// Escribe en inzeus
$fp=fopen("$directorio."/inzeus", "a+");
$sarchivo="inzeus";
fwrite($fp, $linea1);
fwrite($fp, $linea2);
fclose($fp);
chdir($directorio);
exec("/usr/bin/php ./ejecuta.php); en background

```

Cuadro 4.2. Preparación de los elementos necesarios para la ejecución del código ZEUS-3D.

En el cuadro 4.3. se incluye parte del código del programa utilizado para el envío del correo electrónico al usuario, en el se le notifica que se terminó de ejecutar su simulación numérica y la dirección Web desde la cual puede obtener directamente el archivo con los resultados.

```
$nombre_tar="res.".$direc."tgz";
mysql_select_db("cme", $con);

$sql="select * from datos where tar='$nombre_tar';
$resultado=mysql_query($sql,$con);
if ($row = mysql_fetch_array($resultado)){

    $login=$row["login"];
}
mysql_close($con);
echo "$login\n";
echo "$nombre_tar\n";
echo "$direc";
mail("$login","MVSO remote numerical simulation data $nombre_tar",
        "The MVSO remote numerical simulation CME 2D

        Your simulation is finished

        The numerical simulation is stored in
        http://mvso.ecologia.unam.mx/cme/Simula_.$direc/$nombre_tar"
        , "From:mvso@ecologia.unam.mx");
exec('rm -rf z*');
```

Cuadro 4.3. Código utilizado para el envío de los correos electrónicos

4.7 Generación de la base de datos

La base de datos del Observatorio Virtual Solar Mexicano fue diseñada en un principio para un problema particular, evolución de eyecciones de masa coronal en el medio interplanetario, sin embargo, el diseño actual contempla la posibilidad de almacenar los resultados de otros problemas astrofísicos, ya sea utilizando el código ZEUS-3D e incluso diferentes códigos numéricos. Con el objetivo de optimizar, garantizar la integridad de los datos y evitar el crecimiento desproporcionado de la base de datos, no se incluyen los resultados de las simulaciones numéricas remotas dentro de ella, únicamente se introduce la referencia o liga al archivo que contiene los resultados, finalmente es importante señalar que la base de datos esta totalmente automatizada y se va generando conforme los usuarios van realizando las simulaciones, recordemos que el manejador de base de datos que se utiliza es *MySQL* (ver Capítulo 3).

En la figura 4.5. Se muestran las tablas asociadas a la simulación numérica de las eyecciones de masa coronal. Para el problema que se estudia en el Capítulo 5 se cuenta con cuatro tablas.

- **La tabla *registro***, esta diseñada para tener un control de los usuarios que ejecutan simulaciones numéricas, tener un seguimiento de las mismas y poder indicarle al usuario el momento en el cuál ha terminado el proceso.
- **La tabla *variables***, guarda los datos correspondientes a las condiciones iniciales asociadas a la densidad, velocidad y temperatura del viento solar (d_{sw} , v_{sw} , t_{sw}), a la densidad, velocidad, temperatura y ángulo de apertura de la eyección de masa coronal (d_{cme} , v_{cme} , t_{cme} , a_{cme}), el tiempo de inyección ($tinj$), la fecha de ejecución ($fecha$), un pivote ($pivote$) y el usuario ($login$).
- **La tabla *status***, almacena el estado de las simulaciones numéricas (si terminó o esta en proceso).

- La tabla **almacenamiento**, se utiliza para tener la referencia del nombre de la simulación y la persona que la ejecutó.

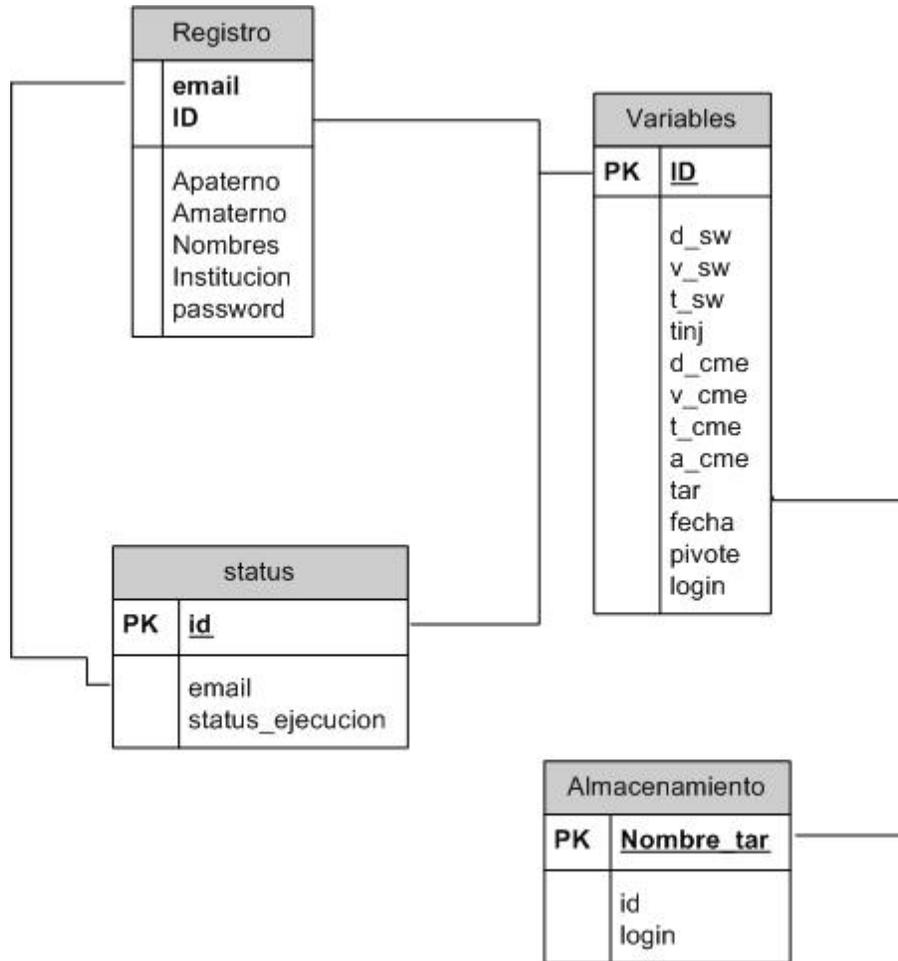


Figura 4.5. Descripción básica de la base de datos que almacena las simulaciones numéricas.

En el cuadro 4.4. Se puede ver parte del código que se utiliza para la inserción de los resultados de la simulación numérica, la fecha en que se ejecuta, así como las variables físicas.

```
function factual_datetime()
{
    $fecha = date("Y") . "-" . date("m") . "-" . date("d");
    $fecha.= " ";
}
```

```

    $fecha.= date("H") . ":" . date("i") . ":" . date("s");
    return($fecha);
}
$fecha = factual_datetime();

mysql_select_db("cme", $con);
$sql="INSERT INTO datos (d_sw, v_sw, t_sw, tinj, d_cme, v_cme, t_cme, a_cme,
tar,fecha,pivote,login)
VALUES('$d_sw','$v_sw','$t_sw','$tinj','$d_cme','$v_cme','$t_cme','$a_cme',
'$tar3','$fecha','1','$login)";
mysql_query($sql);
mysql_close($con);

```

Cuadro 4.4. Inserción de los valores de las variables físicas y resultado de la simulación numérica.

4.8 Búsquedas en la base de datos

Una de las características fundamentales de los observatorios virtuales es la de proporcionar a sus usuarios herramientas de búsqueda, estas permiten que los usuarios tengan acceso a toda la información almacenada en la base de datos de forma ordenada y de acuerdo a diferentes parámetros de selección. Para el Observatorio Virtual Solar Mexicano, esta herramienta de búsqueda ayuda a los usuarios para localizar los resultados de las simulaciones numéricas ejecutadas previamente antes de llevar a cabo una nueva, con ello se optimiza el uso de los recursos computacionales, ya que solamente se ejecutarán aquellas simulaciones que tengan condiciones iniciales diferentes a las ya almacenadas, e inclusive los usuarios pueden tener acceso directo a la base de datos. En el cuadro 4.5, se muestra parte del código asociado a una búsqueda en la base de datos, de acuerdo a ciertas condiciones iniciales de la simulación de eyección de masa coronal.

```
$dir=$d_sw."_".$d_cme."_".$v_sw."_".$v_cme."_".$t_sw."_".$t_cme."_".$tinj."_".$a_cme;  
$tar_busca="res."$dir".tgz";  
  
mysql_select_db("cme", $con);  
$sql_pregunta="select tar from datos where tar='$tar_busca';"  
$sql2=mysql_query($sql_pregunta);  
$result=mysql_result($sql2,0);  
mysql_close($con);
```

Cuadro 4.5. Búsqueda de las condiciones iniciales de la eyección de masa coronal en la base de datos.

En caso de que ya se encuentre almacenada en la base de datos una simulación numérica con las condiciones iniciales proporcionadas por un usuario, el sistema es capaz de identificar si dicha simulación esta en proceso o si ya esta terminada, en cualquiera de los dos casos se le notifica, ya sea mediante un mensaje o con la liga de los resultados de dicha simulación, en el cuadro 4.6 se incluye parte del código de esta función.

Si solamente se quiere consultar las simulaciones numéricas almacenadas en la base de datos, es posible entrar directamente a la herramienta de búsqueda, lo único que debe de hacer el usuario es utilizar la interfaz gráfica desarrollada para tal fin (ver figura 4.6), la búsqueda se puede hacer de acuerdo a una o varias de las condiciones iniciales asociadas a la densidad, velocidad y temperatura del viento solar (d_{sw} , v_{sw} , t_{sw}), a la densidad, velocidad, temperatura y ángulo de apertura de la eyección de masa coronal (d_{cme} , v_{cme} , t_{cme} , a_{cme}), a el tiempo de inyección ($tinj$), a la fecha de ejecución (fecha) e inclusive por usuario (login).

```

$path="/var/www/html/cme/"$directorio."/".$star4;

$fr=file_exists($path);
if($fr==false){
  echo"<td>Numerical simulation in process</td>\n";
  echo "</tr> \n";

} else {

  echo "<td><a href='http://132.248.49.59/cme/$directorio/$star4'>Simulation_ Tar_ ----
>$star4</a></td>\n";
  echo "</tr> \n";

```

Cuadro 4.6. Código para identificar el estado de la simulación numérica remota.

Finalmente, cuando se realiza una consulta es posible encontrar diferentes archivos con resultados que satisfagan las condiciones del tipo de búsqueda que se hace. En la figura 4.7 se puede ver un ejemplo de cómo se presentan los resultados mediante una tabla que contiene las columnas en las que están los valores de las condiciones iniciales del viento solar (columnas 1,3,5) y de la CME (columnas 2,4,6,7,8), la fecha (columna 9), el correo electrónico de quién hizo la simulación (columna 10) y el resultado de la misma (columna 11).

El portal del Observatorio Virtual Solar Mexicano ha estado disponible desde marzo del 2007 en el URL <http://mvso.astroscu.unam.mx> y actualmente cuenta con 95 usuarios registrados de diferentes instituciones nacionales e internacionales.

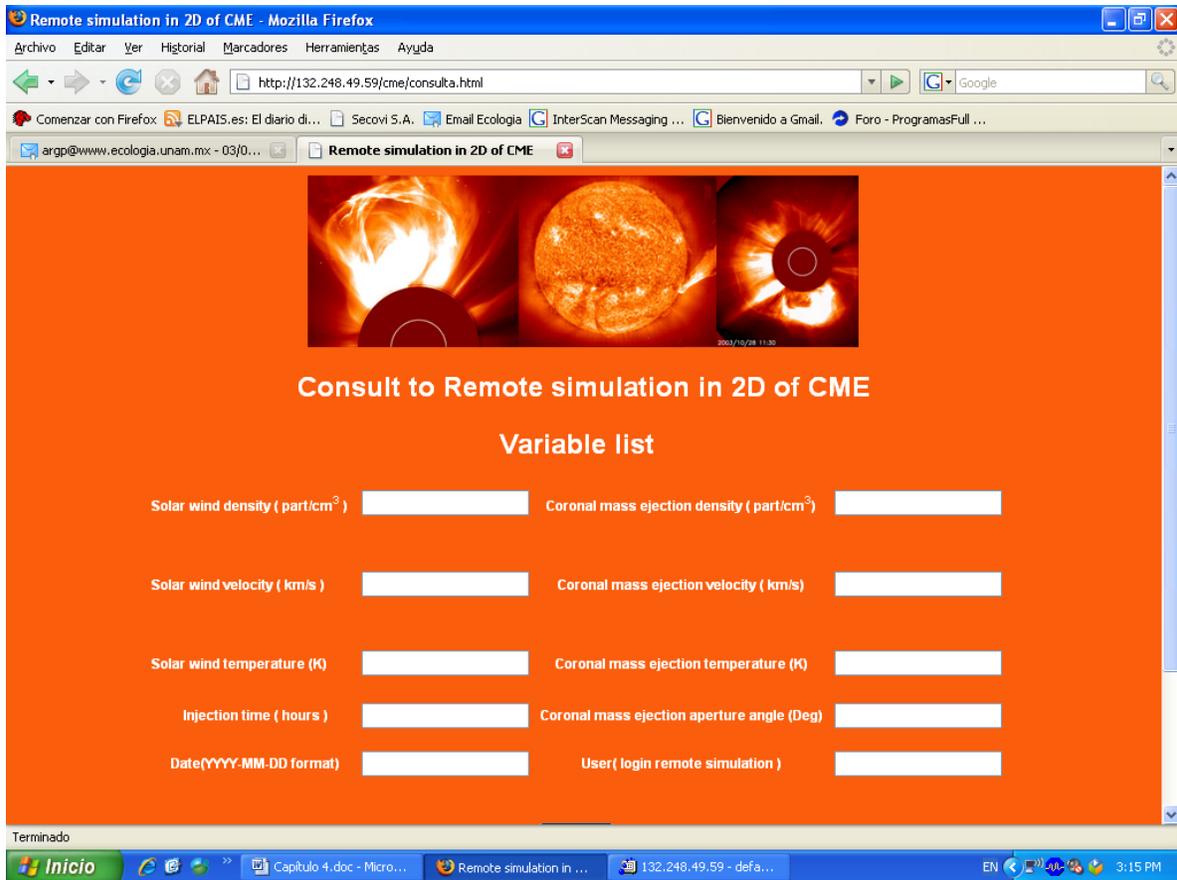


Figura 4.6. Interfaz gráfica para las búsquedas del Observatorio Virtual Solar Mexicano

wind density (d_sw)	mass ejection density (d_cme)	wind velocity (v_sw)	mass ejection velocity (v_cme)	solar wind temperature (t_sw)	mass ejection temperature (t_cme)	injection time (tinj)	ejection aperture angle (a_cme)	Fecha	login user	
1300	650	500	250	500000	600000	4	60	2007-11-21 12:12:48	temahe@geofisica.unam.mx	res:1300 650 500 250 50
1300	1950	500	1500	500000	2500000	4	60	2007-11-21 12:15:17	temahe@geofisica.unam.mx	res:1300 1950 500 1500
1300	1950	500	250	500000	2500000	4	60	2007-11-21 12:20:37	mario@geofisica.unam.mx	res:1300 1950 500 250 5
1300	650	500	1500	500000	600000	4	60	2007-11-21 13:13:14	deni_zenteno@yahoo.com.mx	res:1300 650 500 1500 5
1300	1950	500	1500	500000	600000	4	60	2007-11-22 11:35:57	diana.rojascastillo@gmail.com	res:1300 1950 500 1500
1300	1300	500	500	5e5	5e5	0.5	5	2007-11-22 22:20:12	alara@geofisica.unam.mx	res:1300 1300 500 500 5
1300	1300	500	500	5e5	5e5	4	60	2007-11-23 20:08:18	jaqui_cu@yahoo.com	res:1300 1300 500 500 5
1300	1950	500	250	5e5	600000	4	60	2007-11-23 20:22:15	jaqui_cu@yahoo.com	res:1300 1950 500 250 5
1300	1950	500	250	500000	600000	4	30	2007-11-26 22:24:49	jaine_u20@yahoo.com	res:1300 1950 500 250 5
1300	1950	500	250	500000	600000	4	60	2007-11-27 23:06:57	jaine_u20@yahoo.com	res:1300 1950 500 250 5

Figura 4.7. Resultado de una búsqueda en el Observatorio Virtual Solar Mexicano

Capítulo 5

Aplicación del Observatorio Virtual Solar Mexicano: Eyecciones de Masa Coronal.

En los capítulos anteriores se dió una descripción detallada de lo que es un Observatorio Virtual, así como de las herramientas asociadas al desarrollo y funcionamiento del Observatorio Virtual Solar Mexicano (OVSM), en este capítulo vamos a describir la aplicación que tiene el OVSM en el estudio de la evolución de las eyecciones de masa coronal.

5.1 Introducción.

Sabemos que el espacio entre los planetas de nuestro Sistema Solar, conocido como Medio Interplanetario (MIP), no se encuentra completamente vacío, sino que fluye en él un plasma vinculado a la expansión continua de la Corona Solar definido como **Viento Solar** (Bravo 1990, 1998). Este fluido transporta al MIP diferentes manifestaciones, siempre cambiantes, de la actividad solar, motivo por el cual investigadores en física solar lo monitorean permanentemente, con naves espaciales y telescopios terrestres (SOHO, STEREO, HINODE, ACE, MEXART, Observatorio Carl Sagan, etc.), para ir registrando sus constantes variaciones. Una de las manifestaciones más energéticas y fascinantes de la actividad solar son las **Eyecciones de Masa Coronal** (CME por sus siglas en inglés; ver Figura 5.1), donde una gran cantidad de material de la superficie solar (10^{12} - 10^{13} kg) es lanzada de manera violenta a una velocidad entre 100 y 2,000 km/s hacia el espacio interplanetario, en otras palabras, este fenómeno es capaz de inyectar una gran cantidad de energía cinética, entre 10^{25} - 10^{26} Joules, al medio interplanetario (Hundhausen 1999). Al momento de viajar la CME sobre el viento solar, producirá regiones donde la intensidad del campo magnético interplanetario

se incremente y/o tenga una dirección distinta al campo magnético inicial del viento, o zonas que tengan densidad y temperatura diferentes, etc. También de vez en cuando, se podrán detectar regiones del viento solar que fluyen más rápido que el viento ambiente dando origen a una onda de choque (una onda compresiva muy intensa, como la producida en la explosión de una bomba atómica o la que se forma enfrente de los aviones supersónicos) que viaja velozmente cruzando el espacio interplanetario. Al encontrarse estas perturbaciones interplanetarias con la magnetosfera terrestre, perturbarán el ambiente magnético de nuestro planeta y a lo que se encuentra en él. Esto trae como consecuencia la definición del término **clima espacial**, conjunto de fenómenos e interacciones que se desarrollan en el medio interplanetario y que está regulado fundamentalmente por la actividad que se origina en el Sol, y nos proporciona información sobre el estado de perturbación del ambiente entre la Tierra y el Sol.

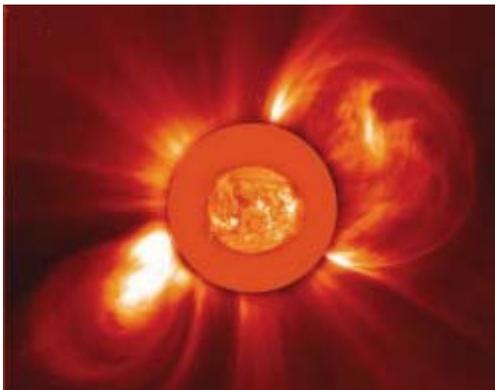


Figura 5.1. En esta imagen se muestran 2 CMEs simétricamente opuestas. Las observaciones se realizaron el 8.Diciembre.2000 con la nave espacial SOHO, utilizando el coronógrafo LASCO-C2. Una imagen del EIT tomada el mismo día ha sido sobrepuesta en lo que sería el coronógrafo C2, el cual es usado para ocultar la luz fotosférica y poner así de manifiesto la débil señal coronal en luz blanca. (*Solar & Heliospheric Observatory, SOHO*).

La importancia del estudio y predicción del **clima espacial** se debe a que algunos sistemas tecnológicos en el espacio o en tierra son muy sensibles a las consecuencias de la interacción del viento solar con la magnetosfera. Por esta razón, la necesidad de poder predecir perturbaciones grandes tales como las tormentas geomagnéticas (Bravo 1997) ha despertado el interés no solo de los científicos, sino también de los gobiernos de todo el mundo. En una **tormenta magnética**, la electricidad que se genera en la atmósfera y en el espacio **puede causar grandes problemas** tales como

1. Interrupción en las redes de comunicación.
2. Errores en sistemas de navegación.
3. Fallas en satélites y sistemas de energía.
4. Aumenta la fricción sobre satélites y naves espaciales.

(Para mayor información sobre el clima espacial ver portal de *SpaceWeather*¹)

De aquí la importancia de contar con una herramienta, como la que se presenta en este trabajo, que permita a los especialistas en Física Solar de todo el mundo predecir a grandes rasgos la evolución de estas perturbaciones en el MIP por medio de un modelo numérico hidrodinámico y una interfaz gráfica.

5.2 Simulaciones Numéricas: Código ZEUS-3D.

En la actualidad existen básicamente dos formas en que investigadores del área de física solar predicen el clima espacial; **observacional o teóricamente**. En la primera se utilizan datos producidos por una batería de naves espaciales y telescopios terrestres, mientras que en el segundo caso se utilizan modelos que pueden ser analíticos o numéricos y que utilizan datos observacionales como condiciones iniciales. Como ya se ha mencionado en capítulos anteriores uno de los principales objetivos de este trabajo es proporcionarle a los usuarios del OVS la facilidad de hacer simulaciones numéricas pero de una forma completamente innovadora; **realizarlas remotamente desde cualquier computadora que cuente con Internet** (Hernández et al., 2006; Santillán et al. 2006; Santillán, Hernández-Cervantes & González-Ponce 2007; Hernández-Cervantes, González-Ponce & Santillán 2008; Santillán, Hernández-Cervantes & González-Ponce 2008). Para llevar a cabo esta tarea utilizamos el código **ZEUS-3D** que fue desarrollado en el *Laboratory for Computational (LCA)* del *National Center for Supercomputing Applications (NCSA)* de la Universidad de *Illinois*, por Michael Norman, James Stone, y David Clarke, para simular numéricamente fluidos astrofísicos (si el lector

¹ <http://www.spaceweather.com/>

esta interesado en el método numérico que utiliza el código para resolver las ecuaciones hidrodinámicas con campos magnéticos, recomendamos ampliamente ver los artículos de Stone & Norman 1992a,b). ZEUS es un código que resuelve numéricamente las ecuaciones de la magnetohidrodinámica (MHD) que describen la evolución de fluidos ideales (fluidos que conserven el flujo magnético en todo momento, que no son viscosos y que se mueven a velocidades mucho menores que la velocidad de la luz) asociados a una gran cantidad de sistemas astronómicos. ZEUS presenta una serie de características importantes que resumimos a continuación: puede resolver problemas en 1, 2 y 3 dimensiones, utilizando diferentes geometrías; cartesiana, cilíndrica y esférica. Puede incluir autogravedad, así como campos gravitacionales externos. Los cálculos numéricos, de la evolución dinámica del fluido, los puede resolver isotérmica o adiabáticamente. El algoritmo que utiliza el código, para resolver el sistema de ecuaciones MHD, es el de diferencias finitas, explícito en el tiempo, y se aplica a una malla computacional euleriana ortogonal. El paso de tiempo es controlado por la condición de Courant y el tratamiento de ondas de choque, se hace por medio de la viscosidad artificial de von-Newman-Richtmyer.

Cabe señalar que este código numérico se ha utilizado en México para estudiar diferentes fenómenos de nuestro Universo, desde los que están asociados al Sol (Santillán, González-Esparza & Yáñez 2001; González-Esparza et al. 2003; González-Esparza, Santillán & Ferrer 2004) hasta problemas asociados a la formación de estrellas y de estructuras a gran escala en nuestra galaxia (Santillán et al 1999; Santillán et al. 2000; Santillán, Franco & Kim 2004; Sánchez-Salcedo, Santillán & Franco 2007; Santillán, Sánchez-Salcedo & Franco 2007)

5.3 OVSM: Simulaciones Numéricas Remotas y la creación de la Base de Datos.

Recordemos que uno de los principales objetivos de este trabajo de tesis es que investigadores, nacionales y extranjeros, que trabajan en el área de Física Solar, utilicen el Observatorio Virtual Solar Mexicano para realizar Simulaciones Numéricas Remotas (vía una interfase gráfica), que les permita describir físicamente la evolución de diferentes perturbaciones que ocurren en la superficie solar y viajan a través del medio interplanetario, desde cualquier parte del mundo que cuente con Internet. Una de las principales cualidades que tiene esta herramienta es que el usuario, no necesariamente debe tener conocimientos de códigos numéricos complejos para obtener un modelo que le permita hacer una descripción general del fenómeno que está observando, solamente tiene que llenar unos cuantos campos del portal y dar un clic.

Como se mencionó en los capítulos pasados el portal está diseñado y programado de manera modular, utilizando el ambiente de desarrollo *Apache-PHP-MySQL*, que permite generar páginas dinámicas en el servidor, para enviarlas al navegador Web (cliente) que las ha solicitado. Cabe señalar, que los códigos numéricos utilizados para ejecutar las simulaciones que se presentan en este trabajo están diseñados para ejecutarse en un sistema operativo tipo UNIX.

Con este esquema de desarrollo dinámico, podemos identificar tres partes fundamentales del portal descritas en el Capítulo 4:

1. **La interfaz gráfica del usuario.**
2. **Programa *SimiZeus*.**
3. Finalmente, **generación de la base de datos.**

Estos tres bloques representan la columna vertebral del Observatorio Virtual Solar Mexicano teniendo como meta dar la oportunidad a personal especializado que se dedica a trabajar con datos observacionales asociados al Sol, y obtenidos a partir de naves espaciales y/o telescopios en tierra, contar con un modelo hidrodinámico, que resuelve numéricamente un conjunto de ecuaciones numéricas complejas, para obtener una descripción dinámica del fenómeno que están observando.

Hasta el momento, hemos aplicado esta herramienta al estudio de la Evolución de Eyecciones de Masa Coronal en el Medio Interplanetario, tema de gran interés para investigadores dedicados a estudiar problemas vinculados al clima espacial. Finalmente, es importante señalar que es la primera vez que se genera una aplicación de este tipo para un Observatorio Virtual Solar, y que podrá ser una contribución importante a nivel internacional en el estudio de perturbaciones solares. Los primeros resultados fueron presentados en la 26a. Asamblea General de la Unión Astronómica Internacional realizada en la ciudad de Praga, en la sesión especial de observatorios virtuales (Hernández-Cervantes et al. 2006; Santillán et al. 2006) y hasta la fecha se han publicado tres artículos en revistas especializadas con arbitraje internacional (Hernández-Cervantes & González-Ponce 2007; Hernández-Cervantes, González-Ponce & Santillán 2008; Santillán, Hernández-Cervantes & González-Ponce 2008).

5.4 Aplicación y análisis de los resultados producidos por el OVSM.

A continuación daremos un ejemplo del tipo de información que se puede obtener con esta novedosa y poderosa herramienta computacional.

Cálculos Numéricos.

Para que el código pueda ejecutarse es necesario insertar ciertos valores numéricos o condiciones iniciales en el portal, dichos valores están relacionados con el Viento Solar (es decir, con el medio donde evolucionará la perturbación) y con la Eyección de Masa Coronal; por ejemplo, los que se muestran en la tabla 5.1). Las simulaciones que presentamos en este trabajo son en 2-dimensiones y en coordenadas esféricas (r, θ) . Los archivos de salida **zhtoXXXcm** están en formato HDF (*Hierarchical Data Format*², este formato genera archivos binarios estándares que pueden leerse en cualquier computadora independientemente del sistema operativo que tengan) y contienen información de las cantidades físicas que describen al fluido: densidad, energía interna y campo de velocidades, para cada celda de la malla computacional. Por otro lado, cada archivo se escribe cada cierto tiempo de evolución, en este caso cada 3 horas, es decir, el archivo **zhto012cm** nos dará información de lo que ha ocurrido 36 horas después de haberse inyectado el fluido. Una vez que el usuario cuenta con la información que solicitó podrá realizar un estudio detallado de la evolución de una eyección de masa coronal.

	Densidad (part./cm ³)	Velocidad (km/s)	Temperatura (10 ⁶ K)	Tiempo de Inyección (horas)	Ángulo Apertura (grados)
Viento Solar	128	410	1.0	-	-
CME	512	500	10.0	10	10

Tabla 5.1 Condiciones iniciales del Viento Solar y de la Eyección de Masa Coronal.

² <http://hdf.ncsa.uiuc.edu/>

En la figura 5.2 se muestran contornos de densidad (escala logarítmica de colores) de la evolución del Viento Solar y de una Eyección de Masa Coronal a 6 diferentes tiempos; el radio del semicírculo es igual a 2 UA. Al tiempo $t=0$ los valores iniciales del viento solar (densidad, velocidad y temperatura) son inyectados en la frontera interna de la malla computacional a un radio de 0.083 UA^3 , que es el punto crítico dónde el viento solar se vuelve supersónico (González-Esparza et al. 2004). Se deja evolucionar el fluido hasta que llegue a un estado de equilibrio. El tiempo que tarde el fluido en llegar a este estado dependerá de los valores de las condiciones iniciales; para este caso particular esto ocurrirá aproximadamente cuando hayan transcurrido 150 horas de evolución (ver Fig. 4). Una vez que el viento solar haya llenado la malla computacional inyectamos, durante 10 horas en un ángulo de 10° , una perturbación con las condiciones iniciales descritas en la Tabla 5.1 y dejamos que evolucione. En la Fig. 4 claramente podemos ver que la perturbación tarda aproximadamente 65 horas en recorrer 1 UA o 2.7 días en llegar a la Tierra, dato de vital importancia para la gente que se dedica a estudiar el clima espacial. La CME continúa su recorrido, expandiéndose y diluyéndose en el medio interplanetario y la parte frontal o nariz de la CME necesitará más de 120 horas para recorrer 2 UA (ver Fig. 4). Este tipo de análisis podrá repetirse con diferentes cantidades físicas y diferentes condiciones iniciales utilizando este portal.

³ Unidad Astronómica = $1.4960 \times 10^8 \text{ km}$

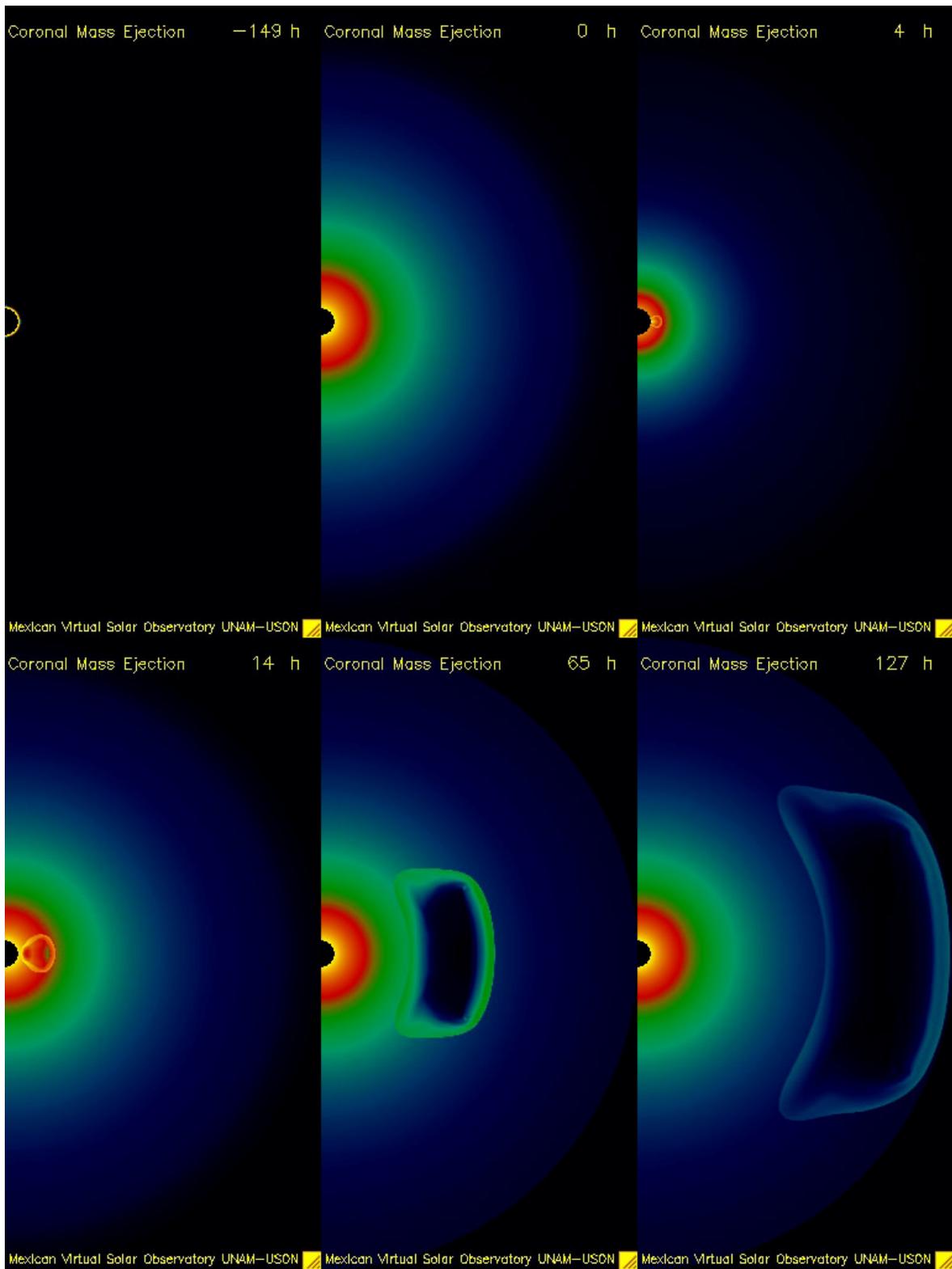


Figura 5.2 Contornos de densidad (escala logarítmica de colores) asociados a la evolución de una eyección de masa coronal.

Capítulo 6

Conclusiones

6.1 Introducción.

Durante el desarrollo de este trabajo se cumplió con cada uno de los objetivos planteados de manera satisfactoria, sin embargo, también se fueron agregando algunos más como consecuencia lógica, al mismo tiempo que se definieron nuevos retos que en un futuro se deben de implementar. En este capítulo se describe a grandes rasgos los logros alcanzados, que se materializaron en **tres artículos científicos publicados** (Hernández-Cervantes & González-Ponce 2007; Hernández-Cervantes, González-Ponce & Santillán 2008; Santillán, Hernández-Cervantes & González-Ponce 2008), así como el trabajo a futuro.

6.2 Conclusiones.

En este trabajo se presentó la plataforma computacional del primer Observatorio Virtual Solar de nuestro país, el **Observatorio Virtual Solar Mexicano**. Esta herramienta computacional tiene tres componentes principales:

- 0 El usuario puede hacer simulación numérica en tiempo real desde cualquier parte del mundo que cuente con internet.
- 1 Genera una base de datos automáticamente donde se van almacenando las simulaciones que van haciendo los usuarios.
- 2 Cuenta con un sistema de búsquedas vinculado a la base de datos.

El tener un sistema computacional unificado, como el presentado en este trabajo, permite optimizar recursos computacionales y dar apoyo a investigadores y/o estudiantes que trabajan en el Área de Física Solar y que no cuentan con códigos numéricos que permiten modelar sistemas físicos y/o carecen de una infraestructura computacional adecuada. Los recursos computacionales que se

requieren en un Observatorio Virtual son semejantes a los necesarios para realizar simulaciones numéricas, es decir, necesitan de equipos de cómputo de alto rendimiento, con grandes capacidades de procesamiento, memoria y almacenamiento, con las siguientes características: un sistema operativo estable, un servidor *Web* eficiente, un manejador de bases de datos robusto y rápido, un lenguaje de programación que optimice los recursos tanto de la base de datos como del sistema operativo y generar un esquema de seguridad para la integridad física y lógica de la base de datos que almacena los resultados.

En este trabajo se planteo como objetivo general el diseñar, desarrollar y poner a disposición de la comunidad científica internacional diferentes herramientas computacionales que permitan a grupos de investigadores en Física Solar realizar investigación de vanguardia, a través de un portal en *Internet*. Para cumplir con este objetivo se trabajo en diferentes aspectos, los cuales se enumeran a continuación:

En primer lugar se efectuó un análisis de los requerimientos de cómputo necesarios para realizar cálculos numéricos, con el código numérico ZEUS-3D, vinculados a fenómenos astrofísicos, partiendo de ello, se buscó la óptima integración de las herramientas de *software* con el *hardware* necesario para los cálculos numéricos las cuales deben ser compatibles y aprovechar al máximo los recursos computacionales.

Las herramientas de *software* que se seleccionaron fueron, como sistema operativo *Linux*, como servidor *Web*, *Apache*, como lenguaje de programación *PHP* y la base de datos que almacena los resultados *MYSQL*, (*LAMP*, *Linux-Apache-MYSQL-Php*); se instalaron en el equipo y posteriormente se realizó el análisis y diseño del sistema a partir de los requerimientos necesarios del código numérico ZEUS-3D, el acceso remoto al servidor, la integridad de la información, seguridad de la aplicación, administración de los procesos y manejo de los datos .

El control de las simulaciones esta conformado por varios pasos, el primero consiste en un módulo de registro, el cuál tiene la finalidad de conocer los datos básicos del usuario que va a realizar alguna operación dentro del sistema, dando mucha importancia al correo electrónico debido a que es la manera de comunicarse con el usuario al finalizar la simulación.

Como siguiente paso, el usuario a través de una interfase *Web* intuitiva introduce los valores del problema físico que desea modelar, los cuales son verificados antes de realizar una simulación numérica debido al alto costo computacional que tiene realizar cualquier proceso numérico, validar que los datos introducidos sean números y que puedan ser simulados, verificar si la simulación que se desea realizar no fue solicitada anteriormente, o en su caso si se esta ejecutando en esos momentos; para posteriormente agregar al archivo de entrada del código numérico ZEUS-3D los datos en el orden requerido para realizar la simulación. El tercer paso consistió en enviar las simulaciones numéricas solicitadas como una tarea aparte, es decir, en bajo nivel de prioridad (*background*) e ir encolando los procesos en el orden en el que sean enviados, todo esto con la finalidad de no bloquear el navegador del equipo del usuario hasta que finalizara la simulación. El cuarto y último paso del proceso de la ejecución remota, consiste en enviar a través de un módulo de envío de correo, un mensaje al usuario que solicitó la simulación numérica en donde se le indica la ubicación del resultado de su corrida y dicho resultado ingresarlo junto con los valores de entrada de las variables en la base de datos. Por otro lado, se implementó un sistema de búsquedas de simulaciones dentro de la base de datos, realizando estas a partir de cualquier valor de las variables físicas o de la combinación de varias de ellas, con la intención de ofrecer al usuario la posibilidad de conocer que simulaciones existen dentro de la base de datos con los requerimientos que necesiten. Finalmente, este sistema se aplicó al problema de Evolución de CMEs en el Medio Interplanetario (caso hidrodinámico), sin embargo, esta herramienta puede ser utilizada en otros sistemas astrofísicos o asociados a las ciencias básicas o sociales, que manejen grandes bases de datos y necesiten herramientas de exploración y análisis para

sacar provecho de la información allí almacenada. Cabe mencionar que durante el desarrollo de este trabajo se realizó una campaña importante de difusión del trabajo con especialistas en el tema, con la finalidad de que se conociera la herramienta y se utilizará. Hasta Mayo de 2008 contamos con 95 usuarios registrados que han realizado alguna consulta o solicitado al menos una simulación numérica remota.

6.3 Trabajo a futuro

Aún cuando el Observatorio Virtual Solar Mexicano está funcionando actualmente de manera eficiente, en el futuro se pueden incorporar más servicios como los que se enumeran a continuación.

1. El sistema entrega resultados binarios, por lo que se requiere contar con cierto nivel de conocimiento de herramientas de graficación para elaboración de imágenes y videos resultantes de la simulación, por lo que se contempla implementar un módulo que pueda convertir los datos resultantes en una pequeña animación, dando la posibilidad al usuario de contar con los archivos fuente y/o el video.
2. Actualmente el OVSM, modela la Evolución de CMEs en el MIP hidrodinámicamente, se pretende incluir campos magnéticos para que las simulaciones sean más realistas.
3. Debido al diseño modular del sistema, su integración sólo requiere anexar nuevas tablas a la base de datos y un nuevo formulario.
4. Se tiene contemplado contar con varios servidores que realicen las simulaciones numéricas remotas y que el sistema verifique cual de ellos tiene menos carga de trabajo, con la finalidad de optimizar el tiempo de ejecución de cada proceso, es decir, aplicar la tecnología de GRIDS.

Bibliografía

- [1] *Advanced Composition Explorer* (ACE), <<http://www.srl.caltech.edu/ACE>>, [en línea].
- [2] AMD, Home page, <http://www.amd.com/la-es/Processors/ProductInformation/0,,30_118_9331_13278,00.html>.
- [3] Apache, Home page, <<http://httpd.apache.org/>>.
- [4] ATA, IDE y EIDE, <<http://es.kioskea.net/pc/ide-ata.php3>>
- [5] Bravo, S., *Encuentro con una estrella*, México, Fondo de Cultura Económica, 1990, Colección la Ciencia desde México, pag. 79.
- [6] Bravo, S., *El Clima Espacial*, Boletín *Skylab*, *La Física en el Espacio*, Año 2, No. 12, Septiembre 1998. <http://soho.igeofcu.unam.mx/skylab/boletin/bol12.html> [en línea].
- [7] Bravo, S., *Tormentas Magnéticas*, Boletín *Skylab*, *La Física en el Espacio*, Año 1, No. 6, Septiembre 1997, <http://soho.igeofcu.unam.mx/skylab/boletin/bol06.html> [en línea].
- [8] Brunner, R., Djorgovski, S.G., Prince, T., & Szalay, A. 2002, in: *Handbook of Massive Data Sets*, eds. J. Abello et al., Dordrecht: Kluwer Academic Publ., p. 931.
- [9] Carl Sagan Observatory, Área de Astronomía, Universidad de Sonora, <http://cosmos.astro.uson.mx/Infraestructura/ocs/ocsnew.htm>, [en línea].
- [10] CentOS, Home page, <<http://www.centos.org/>>.
- [11] *Chandra X-Ray Observatory*, 1999, [<http://chandra.harvard.edu/>].
- [12] Codd, E.F. (1970). "A Relational Model of Data for Large Shared Data Banks". *Communications of the ACM* 13 (6): 377–387.
- [13] Date, C.J. (2000). *The Database Relational Model: A Retrospective Review and Analysis: A Historical Account and Assessment of E. F. Codd's Contribution to the Field of Database Technology*. Addison Wesley Longman. ISBN 0-201-61294-1.
- [14] Debian Home page, <<http://www.debian.org>>.
- [15] Djorgovski, S.G., & Beichman, C. 1998, *BAAS*, 30, 912.
- [16] Djorgovski, S. G.; Williams, R., 2005, *From Clark Lake to the Long Wavelength Array: Bill Erickson's Radio Science ASP Conference Series*, Vol. 345, edited by N. Kassim, M. Perez, M. Junor, and P. Henning, p.517-530
- [17] *Faint Images of Radio Sky at Twenty Centimeters*, (FIRST), 1997, [<http://sundog.stsci.edu/top.html>].
- [18] Fedora, Home page, <<http://fedoraproject.org/>>.

- [19] Gosling, J. T., 2000, Coronal Mass Ejections, 26th International Cosmic Ray Conference, ICRC XXVI. Salt Lake City, Utah, 17-25 August, 1999. Edited by Brenda L. Dingus, David B. Kieda, and Michael H. Salamon, AIP Conference Proceedings #516. New York: American Institute of Physics Press, 2000, p.59
- [20] González-Esparza, A., Lara, A., Pérez-Tijerina, A. Santillán & N. Gopalswamy, 2003, *A numerical study on the acceleration and transit time of coronal mass ejections in the interplanetary medium*, *Journal of Geophysical Research (Space Physics)*, Volume 108, Issue A1, pp. SSH 9-1.
- [21] González-Esparza, A., Lara, A., Pérez-Tijerina, A. Santillán & N. Gopalswamy, 2003, *A numerical study on the acceleration and transit time of coronal mass ejections in the interplanetary medium*, *Geophysical Journal Letters*.
- [22] González-Esparza, J.A., Santillán, A. & Ferrer, J. 2004, *A numerical study of the interaction between two ejecta in the interplanetary medium: one- and two-dimensional hydrodynamic simulations*, *Annales Geophysicae*, 22: 1–9.
- [23] Gran Telescopio Milimétrico, (GTM), 1997, [<http://www.lmtgtm.org/gtm/>]
- [24] Hernández-Cervantes, L.; González-Ponce, A.; Santillán, A.; Salas, G.; Sánchez, A., Graphics Interfaces And Numerical Simulations: Mexican Virtual Solar Observatory, The Virtual Observatory in Action: New Science, New Technology, and Next Generation Facilities, XXVI-IAU. 2006 in Prague, Czech Republic.
- [25] Hernández-Cervantes, L., González-Ponce A. & Santillán A., 2008, Computational backbone of the Mexican Virtual Solar Observatory, *Geofísica Internacional* 47, 193-195.
- [26] <http://www.cienciahoy.org.ar/ln/hoy74/clima.htm>
- [27] *Hubble Space Telescope*, (HST), 1990, [<http://hubblesite.org/>].
- [28] Hundhausen, A. J.: *An introduction in Coronal Mass Ejections*, in N. Crooker, J. A. Joselyn and J. Feynman, ed., Geophysical Monograph Series, 99, 1999.
- [29] IBM Corporation. *Object oriented interface design: IBM common user access guidelines*. New York: QUE, 1992.
- [30] IEEE, 802.3. <http://standards.ieee.org/reading/ieee/std/lanman/802.3-2000.pdf>
- [31] Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, (INEGI) [<http://www.inegi.gob.mx/>].

- [32] Large Synoptic Survey Telescope (LSST), 2003, [<http://www.lsst.org/>]
- [33] Linux, Home page, <<http://www.linux.org/>>.
- [34] Mandel, T. *The elements of user interface design*. New York: Wiley, 1997.
- [35] Marcos Mora, Mari Carmen. "Pautas para el diseño y la evaluación de interfaces de usuario". En: Rovira, Cristòfol; Codina, Lluís; Marcos, Mari Carmen; Palma, María del Valle. Información y documentación digital. Barcelona: IULA; Documenta Universitaria, 2004. ISBN 84-96367-09-6.
- [36] Moore, G., 1965, *Cramming More Components onto Integrated Circuits*, Electronics Magazine Vol. 38, No. 8.
- [37] MySQL, Home Page, <<http://www.MySQL.com/>>.
- [38] Netcraft, Home Page, < <http://news.netcraft.com/>>.
- [39] Observatorio de Centelleo Interplanetario de Coeneo, Michoacán, (MEXART), <<http://soho.igeofcu.unam.mx/radiotelescope>>, [en línea].
- [40] PHP, Home page, <<http://www.PHP.net/>>.
- [41] PostgreSQL, Home page, < <http://www.postgresql.org/>>.
- [42] Santillán González, Alfredo J., Hernández Cervantes, Liliana y Franco, José. (2004) "Simulaciones numéricas en astrofísica" [en línea]. Revista Digital Universitaria. 10 de mayo de 2004, <<http://www.revista.unam.mx/vol.5/num4/art24/art24.htm>> [Consulta: 11 de mayo de 2007].
- [43] Santillán, A., Hernández–Cervantes, L., González–Ponce, A., & Kim, J., Remote Numerical Simulations of the Interaction of High Velocity Clouds with random magnetic fields. JKAS, 39: 1125, 2007.
- [44] Santillán, A., Hernández–Cervantes, L. & González–Ponce, A., 2008, Geofísica Internacional, 47, 185-187.
- [45] RedHat, Home page, <<http://www.redhat.com>>.
- [46] RFC-793, Transmission Control Protocol, <<http://www.faqs.org/rfcs/rfc793.html>>.
- [47] RFC-1180, TCP/IP tutorial, <<http://www.faqs.org/rfcs/rfc1180.html>>.
- [48] RFC-2616, Hypertext Transfer Protocol -- HTTP/1.1, <<http://www.ietf.org/rfc/rfc2616.txt>>.

- [49] Sánchez-Salcedo, J., Santillán, A. & Franco, J., 2007, *Cloudy intergalactic accretion flows in the outer discs of galaxies*. *New Astronomy Reviews*, doi:10.1016/j.newar.2007.10.011.
- [50] Santillán, A., Franco, J., M.A., & Kim. J., 1999, *Collisions of HVCs with a Magnetized Gaseous Galactic Disk*, *ApJ.*, 515, 657.
- [51] Santillán, A., Kim, J., Franco, J., Martos, M.A., & Hong, S.S., 2000, *The Parker Instability Gaseous Disk. II. Numerical Simulations in 2D*, *Ap. J.*545, 353.
- [52] Santillán, A., González-Esparza, J. A. & Yáñez, M. A., 2001, *Numerical Simulations of Interplanetary Shock. Waves using ZEUS-3D*, *4th UNAM Supercomputing Conference, Computational Fluid Dynamics*. Ed. Cisneros, G., Fernandez, R., Ramos, E. & Santillán, A., World Scientific.
- [53] Santillán, A. J.; Hernández-Cervantes, L.; Sánchez, A.; Franco, J., *Mexican Virtual Solar Observatory*, *The Virtual Observatory in Action: New Science, New Technology, and Next Generation Facilities*, XXVI-IAU. 2006 in Prague, Czech Republic.
- [54] Santillán, A. J.; Hernández-Cervantes, L.; Sánchez, A.; Franco, J., *Mexican Virtual Solar Observatory*, VII Conferencia Latinoamericana de Geofísica Espacial, Mérida, Yucatán, 2007.
- [55] Santillán, A., Sánchez-Salcedo, J. & Franco, 2007, *Exploring cloudy gas accretion as a source of interstellar turbulence in the outskirts of disks*, *Astrophysical Journal Letters*, 662,19.
- [56] Schwenn, R.; dal Lago, A.; Huttunen, E.; Gonzalez, W. D., 2005, *The association of coronal mass ejections with their effects near the Earth*, *Annales Geophysicae*, vol. 23, Issue 3, pp.1033-1059.
- [57] *Sloan Digital Sky Survey (SDSS)*, 2000, [<http://cas.sdss.org/>].
- [58] Snyder, C and Southwell, M. *Pro PHP Security*, first edition, Apress, 2005.
- [59] *Solar & Heliospheric Observatory (SOHO)*, <http://sohowww.nascom.nasa.gov>, [en línea].
- [60] Stone, J.M. & Norman, M., *ZEUS-2D: A Radiation Magnetohydrodynamics Code for Astrophysical Flows in Two Space Dimensions: I. The Hydrodynamic Algorithms and Tests*. *ApJS*, 80, 791 (1992a).

- [61] Stone, J.M. & Norman, M., *ZEUS-2D: A Radiation Magnetohydrodynamics Code for Astrophysical Flows in Two Space Dimensions: II. The Magnetohydrodynamic Algorithms and Tests*. ApJS, 80, 819 (1992b).
- [62] SuSE Linux, <<http://www.novell.com/es-es/linux/>>.
- [63] Szalay, A., et al. 2000, Proc. ACM SIGMOD Intl. Conf. on Management of Data, ACM SIGMOD Record, 29, 451, also Microsoft Technical Report MS-TR-99-30, available at [<http://research.microsoft.com/~Gray/>].
- [64] *Two Micron All Sky Survey (2MASS)*, 1997, [<http://pegasus.phast.umass.edu/>].
- [65] *UNIX*, Home page, <<http://www.UNIX.org>>.