

## *Astrody<sup>Web</sup><sub>Tools</sub>*: Astrodynamics Web Tools

J. F. San Juan y R. López

Departamento de Matemáticas y Computación

Universidad de La Rioja, 26004, Logroño (La Rioja), Spain

### Abstract

*Astrodynamics Web Tools* is a project developed in the University of the Rioja in collaboration with Real Observatorio de la Armada. The aim of this project is to construct a Web site which allows the scientific community to run several astrodynamics applications remotely. This form of procedure does not require install any software nor specific knowledge about the implementation of these applications.

### 1 Introducción

Las posibilidades que proporcionan los sitios Web para obtener y compartir recursos son cada vez mayores. Si unido a los portales de cálculo, que simplifican la ejecución de aplicaciones científicas a través de Internet, se vertebran plataformas digitales de acceso libre y abierto a la producción científica, se estarán creando entornos de colaboración, que constituyen una herramienta básica para descubrir, transmitir y crear conocimiento a disposición de la comunidad científica.

Con esta idea, *Astrodynamics Web Tools*, *Astrody<sup>Web</sup><sub>Tools</sub>*, es un proyecto en e-Ciencia que comienza a desarrollarse en La Universidad de La Rioja, y que cuenta además con la colaboración de investigadores del Real Instituto y Observatorio de la Armada en San Fernando.

En este momento se dispone de un prototipo con dos aplicaciones integradas, que está siendo utilizado para su perfeccionamiento, poniendo en marcha el objetivo fundamental del proyecto, que es la colaboración científica.

La tecnología que se está desarrollando permitirá a los investigadores utilizar cualquier aplicación disponible a través de una interfaz Web. Es importante resaltar que a través de una interfaz Web es posible simplificar el uso de complejas aplicaciones científicas,

independientemente de los recursos computacionales que éstas requieran, y que, además, el acceso a dichas aplicaciones se realiza utilizando un simple navegador Web. Es decir, para un usuario de *Astrody<sup>Web</sup><sub>Tools</sub>*, la ejecución de las distintas aplicaciones será transparente, y no será necesario instalar ningún software en su ordenador.

## 2 *Astrody<sup>Web</sup><sub>Tools</sub>* 0.1

El principal objetivo que se persigue es dar soporte a las iniciativas de colaboración entre los investigadores interesados en el ámbito de los Sistemas Dinámicos, en general, y en Astrodinámica, en particular. Para ello se está implementando un portal Web que, por un lado, permita a los colaboradores del proyecto integrar las aplicaciones que desarrollen, y, por otro, facilite su utilización por parte de cuantos investigadores pudieran estar interesados.

Otros objetivos que se pretenden son:

- Brindar la posibilidad de que cada una de las aplicaciones alojadas en *Astrody<sup>Web</sup><sub>Tools</sub>* cuente con el asesoramiento del investigador que la ha desarrollado, guiando al usuario en las cuestiones relacionadas con el uso de las misma, e incluso ofreciendo la posibilidad de adaptar la aplicación a las características del problema propuesto en el caso de que no se ajuste al mismo y la modificación sea posible.
- Promover una comunidad virtual propia en este ámbito científico a través del uso de herramientas de colaboración integradas en el Portal.
- Recuperar e integrar en *Astrody<sup>Web</sup><sub>Tools</sub>* aquellas aplicaciones de probada eficiencia que por cuestiones de operatividad, aspecto o lenguaje sobre el que fueron implementadas hayan quedado obsoletas.
- Ofrecer un espacio abierto a las publicaciones generadas por la comunidad científica, sirviendo de espacio de producción, transmisión e impulso a la corriente de difusión científica en Internet.

### 2.1 *Arquitectura*

El portal Web está basado en la tecnología LAMP, que utiliza Linux [4] como sistema operativo, Apache [1] como servidor de páginas Web, MySQL [5] como gestor de bases de datos y PHP [6] como lenguaje de programación. En estos momentos Apache y MySQL están instalados en el mismo servidor que realiza los cálculos solicitados por los usuarios del portal.

$Astrody_{Tools}^{Web}$  se ha programado bajo un sistema de niveles de privilegios, de esta forma se puede distinguir entre usuarios y usuarios-colaboradores en las distintas funcionalidades implementadas.

## 2.2 Niveles de servicios

El acceso a los contenidos y servicios se realiza a través de la url: <http://tastrody.unirioja.es>, aunque se permite que se puedan establecer enlaces al mismo desde los propios portales institucionales, páginas personales o cualquier otro lugar que se considere conveniente.

En la figura 1 se muestra la página de presentación del portal Web.

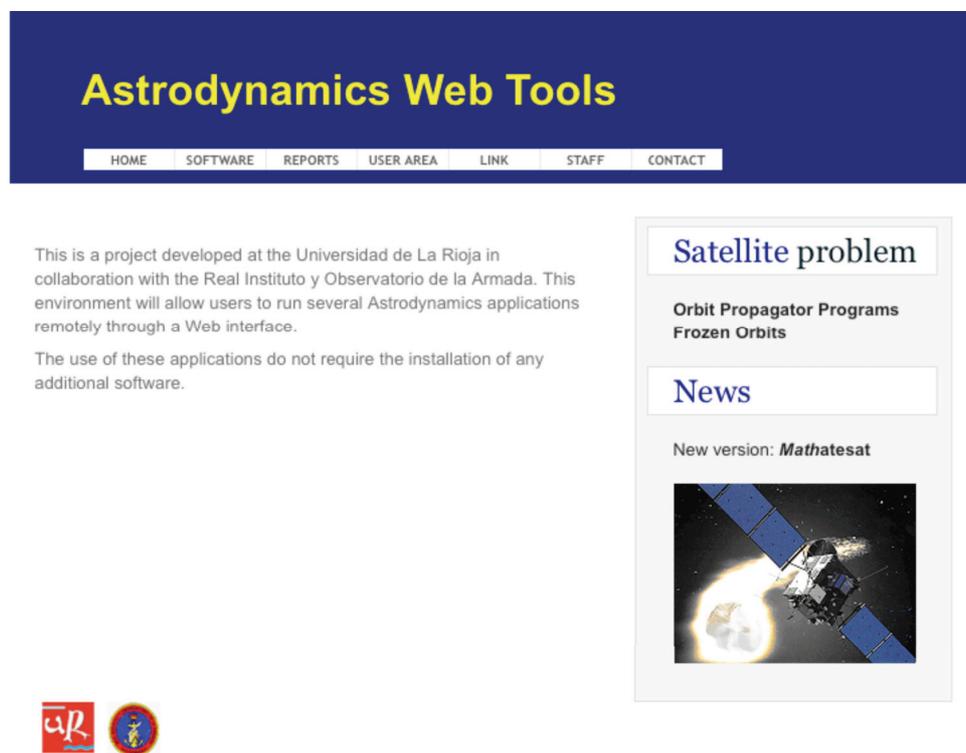


Figura 1.— Página de presentación de  $Astrody_{Tools}^{Web}$ .

El portal ofrece los siguientes servicios:

- Autenticación: los usuarios acceden a las aplicaciones disponibles a través de un login y un password.
- Presentación de las aplicaciones: área destinada a informar sobre las particularidades de las distintas aplicaciones disponibles en el portal.
- Servicio de información y guía sobre cómo ejecutar las aplicaciones.

- Ejecución de las aplicaciones: se realiza a través de interfaces Web, previa autenticación del usuario. Mediante un formulario con campos de entrada, botones de opción, casillas de verificación, etc... se introducen los datos necesarios para la realización de los cálculos.
- Herramientas de visualización: el portal ofrece la posibilidad de analizar los resultados obtenidos tras la ejecución de una aplicación, y la de representarlos gráficamente.
- Informes: se trata de un área en la cual se depositan informes generados por las distintas aplicaciones.
- Documentos: aunque está pensada la creación de un repositorio de información, actualmente se dispone de un área de descarga de documentos facilitados por la comunidad científica.
- Enlaces: zona que contiene diversos enlaces de interés para la comunidad de usuarios.
- Noticias: área destinada a informar a la comunidad científica de las novedades surgidas en este ámbito y eventos propios del grupo de personas que participan en el portal.
- Colaboradores: área que recoge información acerca de los distintos colaboradores en el portal.
- Registro de usuarios: aunque está pensado que el usuario pueda realizar la solicitud de registro desde el propio portal Web, en esta fase inicial se lleva a cabo contactando con el administrador, que facilitará un login y un password.

### 3 Software

En estos momentos a través de *Astrody<sup>Web</sup><sub>Tools</sub>* se puede acceder a dos aplicaciones (véase la figura 2), que se emplean en el estudio del movimiento y en el análisis del comportamiento de un satélite artificial sometido a la atracción gravitatoria de un planeta.

A continuación se describen brevemente estas aplicaciones; hay que hacer notar que se trata de prototipos, por lo que de momento el usuario no tiene acceso a toda la información y utilidades que se pueden obtener de ellas.

#### 3.1 *Orbit Propagator Programs*

Orbit Propagator Programs es una aplicación que incluye doce modelos que permiten determinar la posición y la velocidad de los objetos que orbitan alrededor de un planeta

**Astrodynamics Tools**



Universidad de La Rioja

Dr. Juan Félix San Juan ([juanfelix.sanjuan@unirioja.es](mailto:juanfelix.sanjuan@unirioja.es))

**Orbit Propagator Programs**

Twelve mathematical zonal and tesseral models for prediction of satellite position and velocity using state vector are available:

Model	Coefficient	Order	Name	Real-Time
Zonal	$J_2$	2	ppkbJ2or2	Yes
	$J_2$	3	ppkbJ2or3	Yes
	$J_2$	4	ppkbJ2or4	No
	$J_2 \dots J_4$	2	ppkbJ4or2	No
	$J_2 \dots J_4$	3	ppkbJ4or3	No
	$J_2 \dots J_6$	2	ppkbJ6or2 (1)	No
	$J_2 \dots J_6$	3	ppkbJ6or3 (1)	No
	$J_2 \dots J_8$	2	ppkbJ8or2	No
Tesseral	2 x 2	4	tes2x2	Yes
	4 x 4	4	tes4x4	No
	6 x 6	4	tes6x6	No
	8 x 8	4	tes8x8	No



Real Observatorio de la Armada

Dr. Martin Lara ([mlara@roa.es](mailto:mlara@roa.es))

**ZERGOFF: Zonal Earth Repeat Ground-track Orbits Finder**

ZERGOFF (2) is an application intended to help artificial satellite mission designers in their search for repeated ground-track, frozen orbits.

1. Previous versions of these models were installed at the Centre National D'Etudes Spatiales (CNES).  
 2. The ZERGOFF code used is a translation to ANSI C by J. F. San Juan without the original code was implemented in FORTRAN by M. Lara.

Figura 2.— Relación de software disponible.

con características similares a la Tierra. Cada modelo implementa una aproximación analítica, calculada utilizando MathATESAT [7], a la solución del sistema de ecuaciones diferenciales

$$\ddot{\mathbf{x}} = -\nabla_{\mathbf{x}} \mathcal{V},$$

donde  $\mathcal{V}$  es el campo de gravedad del planeta y se expresa como el desarrollo en serie

$$\mathcal{V} = -\frac{\mu}{r} \left[ 1 + \sum_{n \geq 2} \left( \frac{\alpha}{r} \right)^n J_n P_n(\cos \beta) + \sum_{n \geq 2} \left( \frac{\alpha}{r} \right)^n \sum_{1 \leq m \leq n} (C_{nm} \cos m\lambda + S_{nm} \sin m\lambda) P_{nm}(\cos \beta) \right],$$

donde los parámetros  $J_n$ ,  $C_{nm}$  y  $S_{nm}$  describen la forma del planeta.

Como puede verse en la figura 2, estos doce modelos se han clasificado primero por el tipo de coeficiente del potencial, zonal o teseral, en segundo lugar por el número de coeficientes y finalmente por el orden de la teoría analítica empleada. Inicialmente, debido a las limitadas prestaciones del servidor que efectúa los cálculos, sólo tres de los doce modelos se pueden ejecutar en tiempo real.

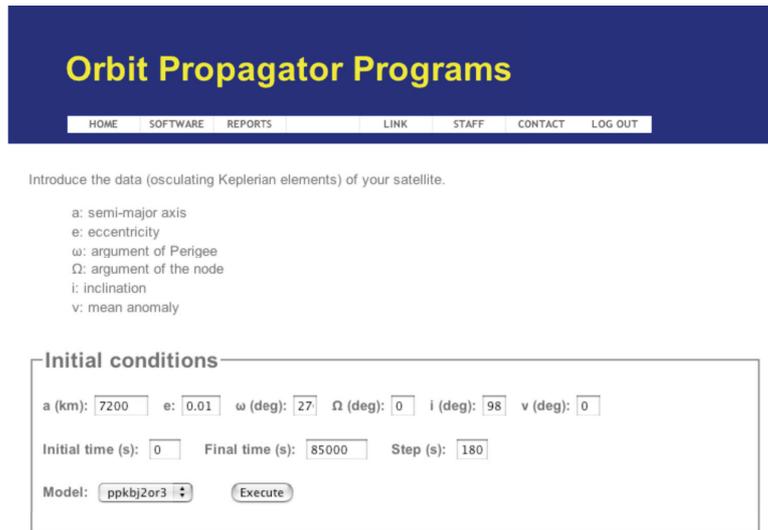


Figura 3.— En este ejemplo se aplica el modelo ppkbj2or3 a un satélite de tipo cuasi-Spot.

En la figura 3 se muestra un ejemplo de la utilización de esta aplicación. El usuario tiene que introducir los datos solicitados en los campos de entrada y seleccionar el modelo que quiere aplicar.

La figura 4 muestra la solución proporcionada al usuario tras la ejecución del programa. En la parte izquierda de la interfaz Web se han habilitado enlaces para visualizar gráficamente los resultados obtenidos (ver figura 5), así como para realizar un análisis del error cometido por la aproximación analítica al compararla con la integración numérica del problema original (ver figura 6).

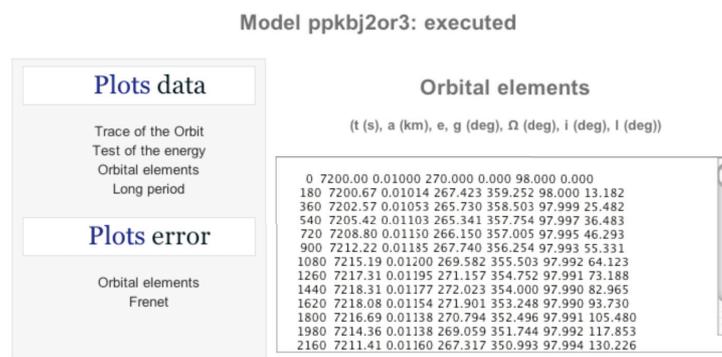


Figura 4.— Resultados obtenidos tras la ejecución de la aplicación.

### 3.2 ZERGOF: Zonal Earth Repeat Ground-track Orbits Finder

La segunda aplicación, ZERGOF [3], es un programa que realiza de forma automática la búsqueda de órbitas que repiten su traza sobre la superficie de la Tierra (órbitas RGT) en una proporción entre los días nodales y los períodos nodales previamente fijada por el

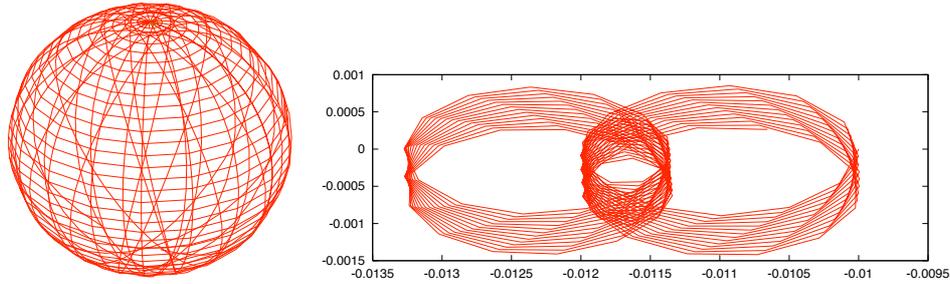


Figura 5.— La figura de la izquierda muestra la traza del satélite, mientras que la de la derecha representa la evolución de los términos de largo periodo ( $e \sin g, e \cos g$ ).

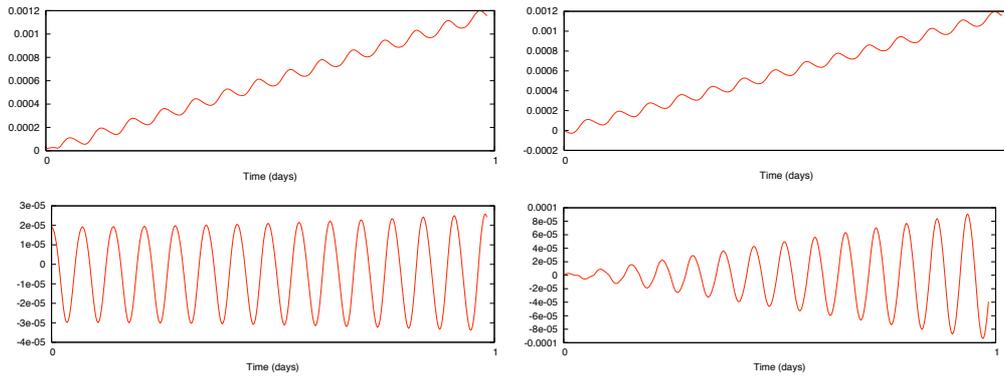


Figura 6.— De izquierda a derecha, de arriba a abajo se muestran los errores (en metros) en posición y en las direcciones tangente, normal y binormal.

usuario. Este tipo órbitas se caracterizan por mantener aproximadamente estacionarios tanto su excentricidad como su argumento del perigeo y se clasifican en:

1. Casi circulares, con inclinación seleccionada por el usuario.
2. En las proximidades de la inclinación crítica, con excentricidad seleccionada por el usuario.
3. Heliosíncronas, bien casi circulares, bien en las proximidades de la inclinación crítica.

El modelo de fuerzas utilizado por ZERGOF sólo considera la parte zonal del potencial gravitatorio:

$$\mathcal{V} = -\frac{\mu}{r} \left[ 1 + \sum_{n \geq 2} \left( \frac{\alpha}{r} \right)^n J_n P_n(\cos \beta) \right].$$

La búsqueda de la órbita deseada comienza con el cálculo de una solución aproximada empleando técnicas analíticas. Posteriormente se refina mediante técnicas numéricas de continuación de familias de órbitas periódicas.

Figura 7.— En este ejemplo, ZERGOF busca las condiciones iniciales de una órbita casi circular, con un inclinación de  $54^\circ$  que repite la traza cada tres periodos nodales.

En la figura 7 se muestra un ejemplo de esta aplicación.

La figura 8 recoge el resultado obtenido tras la ejecución del programa. Se obtiene información sobre la convergencia del método numérico, y si es posible encontrar unas condiciones iniciales que cumplan las especificaciones solicitadas.

**ZERGOF: executed**

**Plots data**

Long period  
Trace of the Orbit

```

1 1 - Pv/P = 8.070911e-08 mx|x(T)-x0| = 1.662292e-14 2 iterations
2 1 - Pv/P = 2.911492e-11 mx|x(T)-x0| = 1.551333e-14 1 iterations
3 1 - Pv/P = 1.976586e-14 mx|x(T)-x0| = 5.726629e-15 0 iterations
1 1 - Pv/P = -2.475724e-13 mx|x(T)-x0| = 3.234094e-15 0 iterations
2 1 - Pv/P = -7.586898e-15 mx|x(T)-x0| = 2.679687e-15 0 iterations

```

**Cartesian (rotating frame)**

```

(20267.69711503101644 km, 0.000000000000000 km, 0.00010858931783 km,
-0.00134926822481 km/s, -6.97925797526104 km/s, 3.58803040278518 km/s)

```

Figura 8.— Resultados de la ejecución de la aplicación.

Junto a la solución se incorpora un enlace que permite la representación gráfica de la órbita calculada como se puede observar en la figura 9.

El código en el que se implementa en esta aplicación corresponde a una traducción a C del código original en Fortran, con el objeto de verificar, documentar y mantenerla más fácilmente.

## 4 Trabajo futuro

En fases sucesivas se irán incorporando diversos servicios, entre los que destacan:

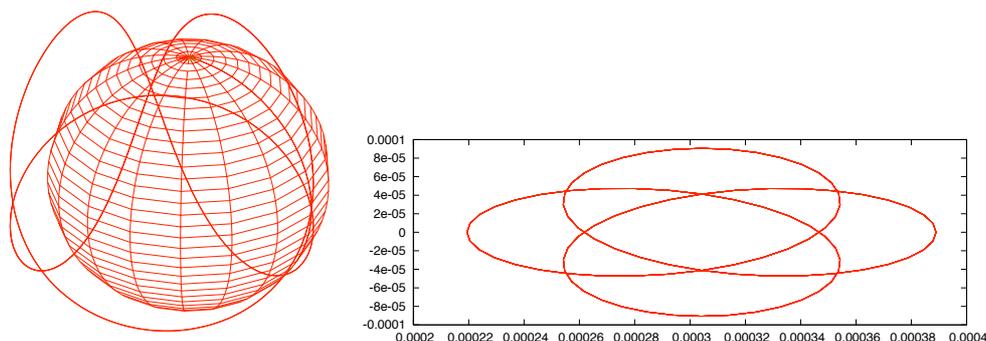


Figura 9.— La figura de la izquierda muestra la traza del satélite, mientras que la de la derecha representa la evolución de los términos de largo periodo ( $e \sin g, e \cos g$ ).

- Área personal de trabajo, en la que el usuario pueda tener publicado su blog, acceder a un calendario personal y público, modificar sus datos personales, contactar con otros usuarios de la comunidad y conocer qué usuarios se encuentran conectados en ese momento.
- Utilización de herramientas de comunicación (comenzado su desarrollo) con la inclusión de tecnología Web 2.0, permitiendo que todos los miembros que constituyen la comunidad virtual puedan colaborar en trabajos sobre un tema concreto a través de la creación y consulta de contenidos y la utilización de herramientas colaborativas.
- Otros servicios como chat, foros de discusión, wikis, encuestas, galería de imágenes, acceso a vídeos, etc..., podrán ser utilizados por los usuarios de la comunidad.
- Zona de descargas y búsqueda documental entre los contenidos publicados en el portal.

## 5 Agradecimientos

Los autores quieren mostrar su agradecimiento al Vicerrector de Infraestructuras y Tecnología Dr. D. Eliseo Vergara González y al Servicio Informático de la Universidad de La Rioja por las facilidades proporcionadas para la puesta en marcha de este proyecto.

## References

- [1] Apache Software Foundation, <http://www.apache.org>.
- [2] Williams, T. y Kelley, C., *An Interactive Plotting Program, Version 4.0*, 2004.
- [3] Lara, M., “Searching for Repeating Ground Track Orbits: A Systematic Approach,” *The Journal of the Astronautical Sciences*, **47**, 1999, pp. 177–188.

- [4] LINUX, <http://www.linux.org>.
- [5] Axmark, D., Widenius, M., Cole, J. y DuBois, P., *MySQL Reference Manual*.
- [6] PHP Project, <http://www.php.net>.
- [7] San Juan, J. F., *MathATESAT: A symbolic-numeric environment in Astrodynamics, en preparación*.