

CÉSAR OCAMPO/
Director de tráfico espacial
Revista Muy Interesante
Ángela Posada-Swofford

De los millones de testigos en todo el planeta observando el impacto de la sonda LCROSS (Satélite de detección y observación de cráteres lunares) contra el polo sur de la luna el pasado 9 de octubre, uno de los más interesados era el ingeniero aeroespacial colombiano de la Universidad de Austin en Texas, César Ocampo. Tenía razón para estarlo: fue su propio software de diseño y optimización de trayectorias espaciales, Copérnico, el elegido por la NASA para trazar la compleja ruta que siguió LCROSS en su histórica búsqueda de hielo.

“La gente me pregunta que si estaba muy nervioso ese día, dice Ocampo encendiendo su ordenador una noche en que coincidimos en el mismo hotel durante una conferencia en Barranquilla. Habla con una mezcla de suavidad y firmeza, y sus claras explicaciones se aceleran con el entusiasmo de la conversación. “No tenía por qué estarlo. Mi trabajo había concluido meses antes, al diseñar los cientos de trayectorias diferentes correspondientes a los distintos escenarios y horarios de lanzamiento. Finalmente la NASA escogió una de ellas. Todas eran lo que llamamos ‘trayectorias de bucle abierto’, es decir, que cuando la misión real se llevara a cabo, los directores de vuelo habrían de insertar las correcciones necesarias para permanecer en curso”.

Ocampo podría no estar nervioso, pero sí orgulloso. Después de todo, el año pasado Copérnico fue seleccionado como mejor software del Centro Espacial Johnson en los últimos tres años, y quedó en segundo lugar a nivel nacional en toda la agencia espacial. Eso, en una organización regida diariamente por varios miles de programas de software, es un logro considerable. A tal punto, que Copérnico desplazó a otros programas similares y ahora es la herramienta de rutina para guiar los vuelos robóticos y tripulados, presentes y futuros de la NASA.

El programa es integral. Tiene la habilidad de analizar y hallar las soluciones óptimas para problemas en la trayectoria de una o varias naves espaciales que viajen dentro y fuera del Sistema Solar, usando cualquier sistema de propulsión, y bajo la influencia de campos de fuerza debidos a uno o más cuerpos celestes.

Este último punto es clave porque en el vacío del espacio hay muchos factores capaces de perturbar la órbita de un satélite: desde la resistencia atmosférica terrestre hasta gravedad del sol y los planetas, la fuerza de presión de la radiación solar (los fotones del sol rebotan o son absorbidos según el tipo de superficie del satélite), la forma de los objetos celestes que no son del todo esféricos (planetas achatados o con ligera forma de pera), y los puntos de Lagrange, donde quedan canceladas las aceleraciones de una nave que viaja entre dos cuerpos celestes que orbitan uno alrededor del otro. Cualquiera de estos factores conspira para desviar, acelerar o casi detener a un satélite que viaja por el cosmos, y exigen que el diseñador de una trayectoria los tenga muy en cuenta.

Para diseñar la ruta de LCROSS, por ejemplo, Ocampo tuvo que incluir en las ecuaciones la gravedad ejercida por Júpiter. Era la única forma de garantizar la exactitud del impacto en el cráter Cabeus, versus haber impactado a cientos de metros.

“Copérnico es un software muy amigable al usuario, con un avanzado sistema de visualización, y que podría decirse ha democratizado el trabajo del controlador”, dice Ocampo echando a andar el programa en su ordenador. La pantalla cobra vida con una bonita animación de la tierra rotando sobre un fondo negro. Una serie de órbitas correspondientes a la luna, la tierra y la nave LCROSS se van formando en diferentes colores, a medida que sus trayectorias van siendo definidas por las ecuaciones matemáticas del sistema. Me hacen pensar en una coreografía entre los anillos olímpicos.

“El programa es diferente a los anteriores porque es muy visual y por eso mismo permite que muchas otras personas que no son expertas en optimización de trayectorias puedan usarlo. Hay que saber algo básico, como identificar variables, pero en general Copérnico le abre la puerta a muchos analistas, mientras que anteriormente era necesario ser experto en optimización de trayectorias. Por ejemplo, hace posible que una periodista científica, con dos copas de vino al colete, pueda diseñar una misión”, explica el profesor mirándome con una mueca divertida.

Es verdad. La entrevista se ha convertido en una clase en el bar del hotel, durante la cual yo misma debo diseñar –con bastante input del profe– mi propia trayectoria a la luna. La experiencia comienza con entrar una robusta cantidad de datos en el sistema, ordenándolos meticulosamente en columnas.

“Lo que estás haciendo ahora es buscar el valor de muchas variables independientes para satisfacer las condiciones, y a la vez optimizar algo, es decir, maximizarlo o minimizarlo. Ahora que vas a ir a la luna, tus variables incluyen cosas como cuándo vas a salir, o cuándo prenderás y apagarás los motores una vez en el espacio. Tus condiciones, lo que debes lograr, es colocarte en órbita alrededor de la luna, y optimizar tu cantidad de combustible. Ahora, el sistema va a jugar con todas esas variables para darle una respuesta a tu problema: para colocarte en órbita lunar, tu nave debe estar en una velocidad tal y una posición tal”.

Inserto algunas de esas variables en sus columnas y oprimo la tecla “enter”, que casi inmediatamente produce un gráfico similar al los anillos del LCROSS, pero incompleto.

“El gráfico no te muestra aún la trayectoria completa porque Copérnico trabaja a base de segmentos, que son como bloques de construcción, para que la ruta sea más exacta, menos susceptible a perturbaciones”, explica Ocampo anticipando mi pregunta. “Entonces lo que es necesario hacer es construir la trayectoria en partes; por ejemplo la salida de la tierra, la vuelta a la luna y la llegada a la tierra. Tres trayectorias totalmente independientes por el momento, pero al final pediremos a Copérnico que las conecte”.

Ocampo, cuyos padres están radicados en EE.UU. desde que él era un niño, comenzó a incursionar temprano en los problemas de la mecánica orbital. Su tesis de doctorado en la

carrera de ingeniería aeroespacial en la Universidad de Colorado (que completó como casi todos sus estudios, a punta de becas), tuvo que ver con la 'optimización de trayectorias para naves espaciales usando propulsión baja y operando en campos gravitacionales complejos'. Esa tesis le valió un trabajo con la Hughes Spacecraft and Communications Company, la fabricante de satélites artificiales más grande en ese entonces. La empresa estaba justamente desarrollando un satélite que iba a utilizar propulsión baja para llegar a su órbita final.

"Cuando estaba en Hughes también diseñé la trayectoria de rescate del AsiaSat-3, un satélite de comunicaciones que había quedado en una órbita averiada, y no había combustible para llevarlo a la órbita final", recuerda Ocampo. "Entonces lo lanzamos hacia la luna, sobrevolándola dos veces y usando su gravedad lunar para hacerle cambiar de órbita y regresar cerca de su órbita final". Eso lo convirtió, sin querer, en el primer satélite comercial a la luna, añadiendo. El logro colocó a Ocampo en la categoría de los "ingenieros promesa" en Estados Unidos y le abrió las puertas para colaborar con la agencia espacial, convenciendo a la NASA a que le ayudara monetariamente, para madurar las bases del software.

"Por ejemplo queríamos estudiar cómo ir a Marte, recoger una muestra y volver. Pues me tocó escribir un programa específico para resolver ese problema. Uno tardaba meses. O si estudiaba la manera de usar un cohete para enviar varios satélites a diferentes órbitas, era lo mismo: había que escribir un programa para ese problema específico. Después de varias veces de hacer eso me dije que era hora de inventarme un software generalizado que abarcara todos esos problemas en uno solo".

Pero Copérnico va más allá de ser útil en transferencias de órbitas, rendezvous, captura, escape, trayectorias de regreso libre, o asistidas por la gravedad planetaria. Una de las cosas que lo han hecho atractivo a la NASA es que es un sistema intuitivo e inteligente. Por ejemplo, la agencia espacial siempre había querido resolver la cuestión del "regreso a cualquier hora" (*anytime abort*) en caso de emergencia, de una tripulación en la luna.

"Si los astronautas están heridos, o no se pueden comunicar con la tierra, o lo que sea, de alguna manera necesitan un algoritmo para que la nave misma calcule la trayectoria de regreso a la tierra con cero input de parte de ellos. Copérnico resolvió el problema, de tal forma que lo único que el astronauta debe hacer es colocar la fecha, dónde está y cuánto combustible tiene. Y oprimir 'enter'. El programa producirá entonces una trayectoria totalmente optimizada. Hemos corrido el programa dos millones de veces con diferentes fechas y lugares. Si falla una sola vez lo corregimos y lo hacemos correr otras dos millones de veces. Porque debe funcionar siempre".

Últimamente, mientras los controladores de las misiones de la NASA mantienen a Copérnico al día desde sus trincheras en las salas de control, Ocampo, a sus 42 años, se limita a anticipar problemas y servir de consultor o científico principal. Mucho de su tiempo, aparte de las clases de mecánica orbital en la universidad (que en ocasiones abre gratuitamente a estudiantes de Latinoamérica por medio de una cámara de video), lo invierte en desarrollar algoritmos para

darle a Copérnico otras capacidades que lo lleven a nuevas alturas. Como aquella del 'regreso a cualquier hora'.

"Es importante destacar que detrás del éxito de Copérnico hay mucha gente ahora, gente muy capaz", insiste Ocampo. "El próximo paso en la evolución de la herramienta es desarrollar un sistema que incluya el movimiento de rotación de un satélite y acoplarlo con el de la traslación", dice el ingeniero, mientras yo juego con la animación de mi trayectoria lunar, haciéndola girar en la pantalla para verla desde varios ángulos. "El control y el movimiento del satélite alrededor de su centro de masa (con todo y sus paneles solares y antenas) también puede alterar su órbita. Copérnico no tiene el componente de la rotación".

Cuando termino mi flamante trayectoria tierra-luna-tierra, garantizando que mi nave espacial no haya sido desviada de su curso, César Ocampo me regala un secreto de navegación interplanetaria.

"Para ir a cualquier otro planeta del Sistema Solar sólo hay que tener el combustible para llegar a Venus", dice sirviéndonos la última copa de vino. "Sobrevuelas a Venus, la tierra, el sol, Júpiter, Saturno, regresas a Venus o a la tierra, todo usando la asistencia que te da la gravedad de esos planetas. Lo puedes hacer casi indefinidamente. Júpiter es estupendo porque es tan masivo, que te da un gran impulso. La limitante es que los planetas se están moviendo. Y mientras no estén alineados, debes darle la vuelta a la cuadra, es decir, ponerte en órbita solar. Hace un tiempo la norma era evitar trayectorias que incluyeran varios cuerpos celestes, porque eran una molesta perturbación. Pero ahora la mentalidad es usar esos cuerpos celestes para ayudar a diseñar trayectorias más complejas, casi caóticas. Por ejemplo hay una ruta a la luna que tarda 90 días y es mas barata en términos de combustible. Pero es indirecta: se va casi 2 millones de distancia, aprovechando la perturbación del sol".

Otra ruta rara es la que se le asignó a LCROSS. Puesto que la idea era causar un impacto con la mayor energía posible sobre la superficie lunar, había que buscar la manera de que el impactador cayera perpendicularmente, y no de lado. Así que la nave llegó a la luna en 5 días, pero no entró en órbita lunar sino semanas después. En cambio, entró en una Fase de Crucero, realizando tres órbitas a la tierra que colocaron a LCROSS en una posición ideal para el gran estrellón.

Cuando no está navegando entre algoritmos y ecuaciones, Ocampo viaja a Colombia para descubrirles a los niños el mundo de la ciencia y la astronomía. A veces le gusta llevar su telescopio e instalarlo en la plaza principal de algún pueblo y dejar que la gente se le acerque, y ponerlos a mirar por el visor –así se encontró con su esposa, Pilar, en 1997. Ahora les lee cuentos del espacio a sus mellizas de 6 años, y afirma que al retirarse trabajará de lleno en su fundación Stare at the Sky/Mira hacia el Cielo, para incentivar a los pequeños a que la ciencia no es inalcanzable y que es divertida.

Si logra que esos chicos se contagien con apenas una parte del entusiasmo que me produce haber creado mi propia trayectoria lunar, Ocampo habrá cumplido su cometido.

RECUADRO 1

Órbitas y trayectorias

Los términos '**trayectoria**' y '**órbita**' se refieren a la ruta de un cuerpo celeste en el espacio. Trayectoria se usa en conexión con proyectiles y se asocia con rutas limitadas, es decir, que claramente tienen un principio y un fin. La palabra órbita se usa en conexión con objetos naturales: planetas, lunas, etc., y está asociada con tránsitos que son de una extensión más o menos indefinida o de carácter repetitivo, como la órbita de la luna alrededor de la tierra.

Hay varias clases de órbitas:

--La **elíptica**, que es el típico camino que sigue un satélite artificial alrededor de un planeta. Es una órbita cerrada, que será recorrida repetitivamente.

--La **hiperbólica**, que es la que caracteriza el comienzo de un vuelo interplanetario. Es una órbita abierta, que se extiende hasta el infinito.

--La **parabólica**, está en medio de las otras dos. Es la que está asociada a vehículos espaciales que pueden estar atados a una ruta elíptica en la zona de su planeta madre, y también aquellos que pueden tomar rutas que se extienden a regiones remotas.

La **característica principal de una órbita es su velocidad**. Mientras más cercana a la tierra es la órbita, más rápida deberá ser su velocidad, y es por ello que la altura del objeto o satélite y la velocidad están íntimamente relacionadas. El camino que tome un vehículo no motorizado en el espacio depende de su velocidad de escape (la velocidad requerida en un lugar X para establecer una órbita parabólica). Si la velocidad con que se lance inicialmente el vehículo es mayor que la velocidad de escape, la nave enfilará en una órbita hiperbólica, o abierta. El valor de la velocidad de escape tiene que ver en parte con la masa del planeta del cual se quiere lanzar el vehículo.

Velocidades de escape de la superficie de varios planetas, en pies por segundo:

Mercurio:	13,600
Venus:	33,600
Tierra:	36,700
Luna:	7,800
Marte:	16,700
Júpiter:	197,000

APS

RECUADRO 2

Clases de satélites según sus órbitas relativas a la distancia de la tierra:

-- **Satélites GEO** (Órbita Geosincrónica); su velocidad de traslación igual a la velocidad de rotación de la Tierra. Para que el satélite sea geoestacionario, debe encontrarse a una distancia fija de 35.848 km sobre el ecuador. Esta órbita se conoce como órbita de Clarke, en honor al escritor Arthur C. Clarke, que escribió por primera vez en 1945 acerca de esta posibilidad. Se destinan a emisiones de televisión y de telefonía, a la transmisión de datos a larga distancia y a la detección y difusión de datos meteorológicos.

--**Satélites MEO (Medium Earth Orbit), o de órbitas medias.** Son satélites que se utilizan órbitas medianamente cercanas, de entre los 10.000 y 20.150 km. Al estar más cerca de la tierra su velocidad debe ser mayor a la de rotación de ésta, motivo por el cual se necesita una mayor cantidad de satélites para poder contar con una cobertura total del globo terrestre. Los satélites del sistema GPS, por ejemplo, están en esta órbita.

--**Satélites LEO, (Low Earth Orbit), órbitas bajas.** Transitan alrededor de la tierra a una distancia por debajo de los 5035 kilómetros, y la mayoría de ellos se encuentran mucho más abajo, entre los 600 y los 1600 kilómetros y su velocidad les permite dar una vuelta al mundo en pocos segundos según su órbita. Están destinados a aplicaciones de bajo ancho de banda como buscapersonas, servicios de telefonía móvil y transmisión de datos en forma limitada.

APS.