

Posicionamiento Astronómico del Satélite Venesat-1 (PASAVEN)

Astrometric Positioning of the Satellite Venesat-1 (PASAVEN)

Edgar A. Moreno *Investigador, ABAE*, Carlos Abad, *Investigador, CIDA*, y Elvis J. Lacruz *Investigador, CIDA*

Resumen—En este trabajo se informa de la colaboración entre dos instituciones venezolanas, la Agencia Bolivariana para Actividades Espaciales (ABAE) y el Centro de Investigaciones de Astronomía (CIDA), con el propósito de hacer uso de la Astrometría para el seguimiento del primer satélite geoestacionario venezolano VENESAT1 a partir de observaciones ópticas. Para ello, dos pequeños observatorios han sido instalados junto a las estaciones terrenas de control satelital que la ABAE posee en Venezuela, esperando que en un corto espacio de tiempo den los resultados deseados. Asimismo, es nuestro interés extender esta aplicación a futuros satélites venezolanos, e incluso a la búsqueda y determinación de trayectorias de basura espacial geoestacionaria.

Palabras Clave—Astrometría, Basura espacial, Geoestacionario, Satélite, Posicionamiento Astrométrico.

Abstract—By means this paper reports the collaboration between two Venezuelan institutions, the Bolivarian Agency for Space Activities (ABAE) and the Center for Astronomy Research (CIDA), with the purpose of using Astrometry to tracking the first Venezuelan geostationary satellite VENESAT1 base on optical observations. For this, two small observatories have been installed in the satellite earth stations control that the ABAE owns in Venezuela, hoping that in a short space of time they give the desired results. Likewise, it is our interest to extend this application to future Venezuelan satellites, and even to the search and determination of trajectories of geostationary space debris.

Index Terms—Astrometry, Astrometric Positioning, Geostationary, Space Debris, Satellite.

I. INTRODUCCIÓN

Desde hace mucho tiempo la órbita geoestacionaria representa un área de interés comercial y estratégico, por

lo que se han generado una gran cantidad de normas regulatorias y controladoras para su uso con satélites. En ese sentido, los satélites puestos en dicha órbita geoestacionaria deben cumplir con los reglamentos, entre los cuales se encuentra estar confinados a una ventana de operación, creada y aprobada por una comisión internacional, de aproximadamente 0.1×01 grados cuadrados [1].

Asimismo, el interés por conocer el comportamiento de los llamados escombros espaciales está en crecimiento, debido al peligro que representa para las distintas misiones espaciales, ya que estos llevan órbitas no controladas y por tanto van a la deriva en el espacio, implicando la posibilidad de colisiones con satélites operativos o los futuros que entraran en servicio. Las posibilidades de colisión son grandes y un pequeño error puede causar graves daños irreversibles que limitarían el uso de la plataforma satelital así como también de la órbita. Actualmente existe gran cantidad de escombros acumulados por las explosiones que han ocurrido en 1978 y 1992, por el Ekran y el cohete Titan [2] [3] [4].

En este sentido, un conocimiento de las trayectorias con una alta precisión representa ventajas que pueden contribuir favorablemente en la toma de decisiones de análisis de misión, mantenimiento en órbita de satélites activos, entre otros.

La astrometría es utilizada para conocer las posiciones de los cuerpos en el espacio y el registro de la posición a lo largo del tiempo permite determinar su movimiento o trayectoria. Con la aparición de los detectores, tales como CCD (Charge Coupled Device por sus siglas en inglés), la evolución de esta rama ha crecido rápidamente, permitiendo la observación de cuerpos sin luz propia, de magnitud débil y variable, con tiempos cortos de exposición. La astrometría alcanza fácilmente una precisión de una décima de segundo de arco y a la distancia media geocéntrica de la órbita geoestacionaria equivale a unos 10 metros.

Bajo esta premisa, nace el proyecto PASAVEN como producto de una visita interinstitucional del personal de la ABAE a la sede del CIDA. Ambas instituciones están adscritas al Ministerio del Poder Popular para Educación

E. A. Moreno Agencia Bolivariana para Actividades Espaciales (ABAE). Complejo Tecnológico Simón Rodríguez. Edificio Sede ABAE. Base Aérea Generalísimo Francisco de Miranda, La Carlota. Municipio Sucre, Estado Miranda, Caracas-Venezuela. (correo electrónico: emoreno@abae.gob.ve).

C. Abad, E. J. Lacruz Centro de Investigación de Astronomía (CIDA). Avenida Alberto Carnevalli, Edificio CIDA, la Hechicera, Mérida-Venezuela (correo electrónico: abad@cidad.gob.ve, elvis@cida.gob.ve).

Universitaria, Ciencia y Tecnología de Venezuela. En esa visita, se identificaron las áreas de intercambio para enriquecer a ambas instituciones. Durante ese evento, el CIDA mostró los avances de su participación en el proyecto PASAGE [5], liderado por el Observatorio de la Real Armada (ROA), donde realizaron el seguimiento de los satélites Hispasat 1C-1D y SpainSat, entre otros. El proyecto resultó viable y atractivo, en consecuencia, se estableció en Venezuela una red de rastreo óptico para realizar el seguimiento al satélite Venesat-1. El objetivo del sistema de seguimiento óptico no es sustituir el sistema de seguimiento de radiofrecuencia, sino aprovechar las ventajas que el sistema óptico ofrece en términos de precisión.

El satélite geostacionario Venesat-1 entró en órbita el 29 de octubre de 2008, destinado a proporcionar servicios de telecomunicaciones para casi todo el continente americano. Su punto de operación nominal es la longitud 78° oeste. Particularmente, los satélites en esta zona del espacio se ven afectados por fuerzas conservativas y no conservativas que tienden a modificar su posición orbital y degradar en menor medida el propio orbitador. Entre las principales fuerzas que afectan los satélites geostacionarios se encuentran:

- 1) La no esfericidad y no homogeneidad de la tierra. Esta fuerza perturbadora es la que más afecta a los satélites geostacionarios. Se debe a la asimetría del campo gravitatorio de la tierra, el cual no es esféricamente uniforme, ya que la distribución de la masa del planeta no es homogénea. Esta no uniformidad del campo gravitatorio tiene como efecto la variación de la posición orbital, reflejando un desplazamiento longitudinal de varias décimas de grados hacia el este o hacia el oeste, y será mayor o menor dependiendo de la posición nominal que ocupen [6].
- 2) La atracción gravitacional del sol y de la luna, ejercen sobre el plano orbital (en los satélites geostacionarios este plano es prácticamente igual al plano ecuatorial) una fuerza perpendicular a dicho plano. Estas fuerzas

generan variación de la posición orbital, cambiándola hacia el norte o hacia el sur reflejando un desplazamiento latitudinal de varias décimas de grados [7].

- 3) La presión de radiación solar es una fuerza que actúa sobre la superficie del satélite, en especial sobre los paneles solares por tener mayor área, generando una variación en la forma de la órbita, cambiando la excentricidad. Está caracterizada por el cociente entre el área y la masa del orbitador [8], evidenciando cambios en la excentricidad e inclinación, fundamentalmente. Flohrer [9], muestra que existen poblaciones de orbitadores en la órbita geostacionaria que sufren variaciones de hasta $+70$ grados de inclinación, pero la mayoría con cambios entre -20 y $+20$ grados.

En acción conjunta de estas principales fuerzas perturbadoras hacen que la trayectoria de un satélite en órbita geostacionaria cambie su posición en el tiempo, y por tanto, sus elementos orbitales oscilantes. De esta manera es necesario realizar periódicamente correcciones de órbita para devolver el satélite a su posición de trabajo nominal. Estas

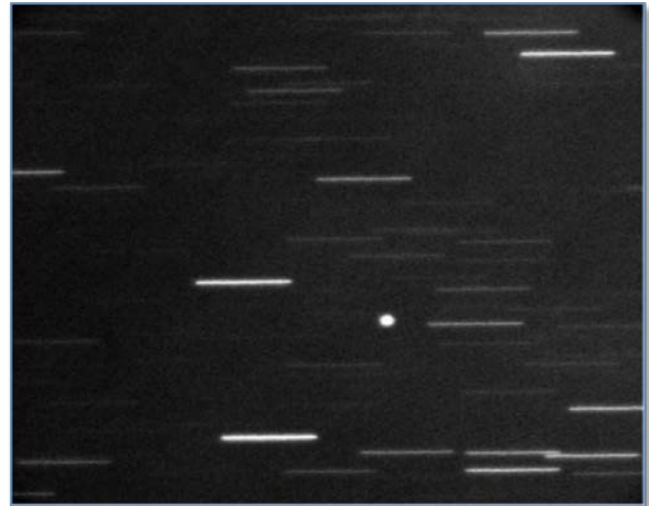


Fig. 2. Primera imagen del satélite Simón Bolívar con el doble astrógrafo del OAN Venezuela, tomada el 10 de febrero del año 2009. El punto en la imagen es el satélite y los trazos son las estrellas que aparecen en el CCD al momento de la captura.

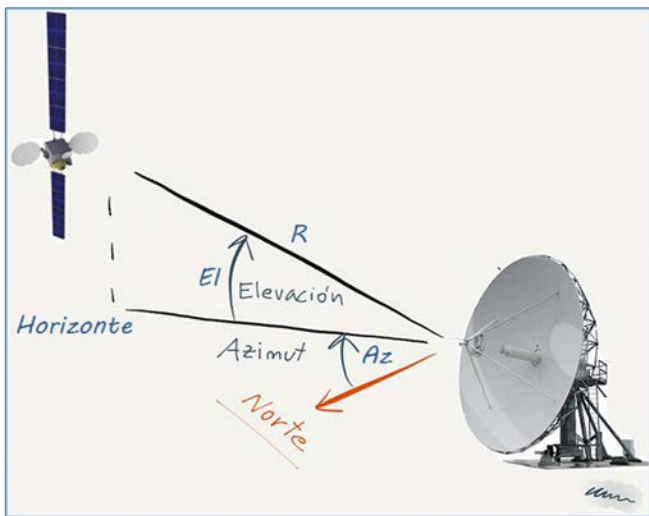


Fig. 1. Diagrama de los parámetros que definen el vector posición estación-satélite obtenido del seguimiento del satélite Venesat-1 a través de la estación terrena de control satelital en Venezuela.

correcciones son conocidas como maniobras en el plano o maniobras Este-Oeste, encargadas de realizar las correcciones de longitud y excentricidad, y las maniobras fuera del plano o maniobras Norte-Sur, las cuales corrigen la latitud o inclinación del plano orbital con respecto al plano fundamental (Ecuatorial). Para poder llevar a cabo estas correcciones, es necesario conocer con la mayor precisión posible la posición del satélite en el espacio, y para ello se recurre al cálculo de órbita. Este cálculo utiliza los parámetros de Azimut (Az) y Elevación (El) de la antena de seguimiento y control, al igual que el módulo del radio vector (R) que va desde el centro de control satelital hasta el satélite (Fig. 1), que forman una terna ordenada (Az , El , R) y representan las coordenadas topocéntricas. Para determinar la distancia desde la estación al satélite, se envían varios tonos de radiofrecuencia al satélite y éste los reenvía a la estación



Fig. 3. Mapa de Venezuela con la distribución de la red de telescopios destinados para el proyecto de Posicionamiento Astronómico del Satelital Simón Bolívar (Pasaven). El mapa nos da una idea de la posición relativa de los observatorios y su separación. Aproximadamente 400, 700 y 1300 kilómetros de distancia.

terrena, donde se obtiene la diferencia de fase de los tonos mencionados permitiendo así calcular dicha distancia. La terna de parámetros (Az , El , R) son procesados por un software de dinámica de vuelo para realizar los análisis de los parámetros orbitales de la misión.

Para mejorar la precisión del cálculo de órbita, se utilizan en simultáneo los datos de la estación de respaldo ubicada en el estado Bolívar, cuya distancia entre las dos estaciones es 1000 km aproximadamente. Si se utiliza solo una estación para determinar los parámetros orbitales, el error de posición calculado es inferior a 7 km y el error del semieje mayor (elementos transitorios) es inferior a 500 metros. Pero si se usan ambas estaciones, el error de posición calculado disminuye a menos de 3 km, y el error del semieje mayor (elementos transitorios) es menor a 200 m. El objetivo principal del proyecto PASAVEN es obtener efemérides mucho más precisas que permitan en una primera fase determinar la posición del satélite y en segunda fase utilizar técnicas de paralaje para la determinación de la distancia y como consecuencia obtener un sistema de seguimiento totalmente independiente del nominal.

II. PROYECTO PASAVEN

Las primeras observaciones del satélite Simón Bolívar (Venasat-1) se realizaron en el OAN, Observatorio Astronómico Nacional de Venezuela, utilizando uno de los astrógrafos del Doble Astrógrafo (0,5 m) instalado en dicho observatorio. Se obtuvo la primera imagen del satélite (Fig. 2).

La técnica de observación se basa en la colocación durante toda la noche del telescopio y, por lo tanto, de su detector acoplado para realizar exposiciones periódicas, con un tiempo de exposición corto. El satélite, por ser geostacionario se

refleja en las imágenes como un punto mientras que las estrellas en forma de trazos con un tamaño proporcional al tiempo de integración. Estas estrellas sirven de referencia para determinar la posición astronómica del satélite, además de poder verificar la estabilidad del telescopio-detector y de las condiciones de observación. La calidad de la reducción astrométrica de las observaciones está asociada a la determinación de la posición de las estrellas en la exposición y el tiempo asociado a esa posición. Dado que las estrellas en las imágenes aparecen como trazos, es necesario utilizar técnicas astrométricas especializadas. Para este caso, se utilizó la función de distribución llamada "tepuí" [10] para determinar una de las coordenadas sobre el CCD (coordenada de la ascensión recta (AR) o equivalente al Az). Mientras que la otra coordenada (coordenada de la declinación (DEC) o equivalente a la El) a través del ajuste de una función de distribución gaussiana bidimensional.

El posicionamiento del satélite sobre la exposición y las técnicas de reducción descritas por Stock [11] y Abad [12] incluyen la posible superposición entre las exposiciones. La red de seguimiento consiste en colocar telescopios y detectores CCD acoplados a ellos, que por conveniencia se instalaron en las estaciones terrenas de control satelital Baemari estado Guárico y Luepa estado Bolívar. También se utiliza el Doble Astrógrafo del OAN que servirá como referencia y que se utilizó en el proyecto PASAGE con muy buenos resultados. El mapa de Venezuela (Fig. 3) da una idea de la distribución de la red de telescopios destinados para obtener las observaciones. El proyecto ya está en fase de pruebas y obtención de datos. Los telescopios instalados en las estaciones terrenas de control satelital Baemari y Luepa tiene las siguientes características: Celestron, CGE PRO 1400



Fig. 4. Toma aérea de la cúpula con el telescopio instalado en el observatorio de la estación terrena de control satelital Baemari Venezuela.

EDGEHD y cámaras CCD, 3k, 3k, FLI ProLine PL09000.

En la estación de Luepa, el telescopio fue instalado utilizando el trípode con la montura computarizada, dispuesto de un toldo de apertura manual para protegerlo de las condiciones climatológicas. Sin embargo, en la estación terrena de control satelital de Baemari se dispuso de una cúpula de apertura motorizada y un pedestal tipo columna para la instalación de telescopio (Fig. 4), esto unido a la montura computarizada del mismo hacen del observatorio de la estación terrena de control satelital de Baemari muy versátil para observar no solo al satélite sino que también permitirá entre las capacidades instrumentales, el estudio de objetos sobre la esfera celeste.

III. PRESENTE Y FUTURO

La introducción de la astrometría como elemento de apoyo al seguimiento de los satélites geoestacionarios es el comienzo de una relación más amplia debido al potencial que implica la astrometría. Por un lado, está la incorporación de la calidad y precisión del posicionamiento del satélite sobre la esfera celeste. La precisión en la medida de distancia del satélite-

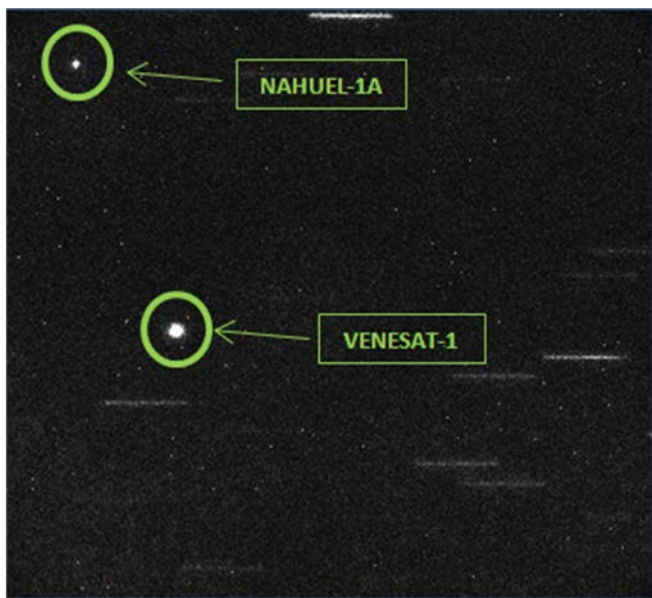


Fig. 5. Imagen capturada desde el OAN con el doble astrógrafo cuando el satélite Nahuel-1A cruza por la ventana orbital del Venesta-1.

estación debe coincidir o mejorar con la precisión obtenida a través de telemetría de radiofrecuencia ya que el triángulo de los 3 puntos de observación contiene lados con distancias entre 400 km y 1500 km. Por otro lado, también se abren las puertas al uso de tales observaciones astrométricas a futuros satélites venezolanos o de otros países, como ya se pudo verificar con el satélite Argentino Nahuel-1A, cuando fue reposicionado desde la órbita $71,8^\circ$ oeste a la $80,9^\circ$ oeste, pasando por la ventana operacional del Venesat-1 a finales de abril del año 2010 (Fig. 5). Finalmente, este equipamiento puede ser utilizado para el estudio de los escombros espaciales y especialmente los desechos en las orbitas geoestacionarias.

A finales de febrero de 2016 se realizó la instalación del telescopio del observatorio de la estación terrena de control satelital de Baemari, obteniéndose con éxito las primeras imágenes del Venesat-1 desde dicho observatorio. Al culminar la fase de prueba y verificación, se planificó una campaña de observación desde los 3 observatorios (OAN, Luepa y Baemari) que componen el proyecto PASAVEN, para los primeros días de abril del 2016, con la finalidad procesar el conjunto de imágenes para obtener los campos de distorsión, las posiciones *RA* y *DEC* del satélite en cada imagen y la obtención de la distancia del satélite-estación por medio de la paralaje, a través de los software creados para tal fin.

El proyecto se encuentra en su etapa final de manipulación de los programas para adaptar los resultados a los formatos de entrada del software de dinámica orbital. Al culminar con esta fase, se obtendrán los resultados de la órbita a partir de los siguientes datos:

- 1) Datos de radiofrecuencia, utilizando los valores de *Az*, *El* y *R*.
- 2) Datos de *RA* y *DEC* del satélite de cada una de las observaciones realizadas, y la distancia obtenida a través de la paralaje.
- 3) Unión de los datos de radiofrecuencia (*Az*, *El*, *R*) y de las observaciones (*RA*, *DEC*).

Con los resultados de los cálculos de órbita para cada uno de los casos planteados, se harán comparaciones de órbita para determinar y cuantificar el error de posición calculado y el error del semieje mayor, para luego validar si éstos disminuyen y en qué proporción con la ayuda de la astrometría.

Se espera que este proyecto aporte una serie de beneficios, para las instituciones venezolanas involucradas, así como para el país, entre los cuales se destacan:

- A. Incrementar la seguridad y ayudar en la toma de decisiones para la predicción de las maniobras de reposicionamiento satelital, aprovechando los datos astronómicos y sus consecuentes efemérides.
- B. Obtener un sistema de calibración independiente para la antena de seguimiento del sistema de radiofrecuencia.
- C. Desarrollar el área de astrodinámica, ofreciendo una oportunidad para estudiantes de física, matemáticas e ingeniería.
- D. Experimentar con la observación y estudio de desechos espaciales geoestacionarios.

- E. Impulsar el interés en la astronomía a los estudiantes y personas que vivan en las zonas aledañas a los observatorios.

REFERENCIAS

- [1] M. Capderou *Satellite Orbits and Mission*. Berlin: Springer, 2005, 360p.
- [2] Rykhlova, L. V., Kasimenko, T. V., Mikisha, A. M., & Smirnov, M. A. 1997. "Explosions in the geostationary orbit". Disponible en *Advances in Space Research*, 19, 313.
- [3] Schildknecht, T., Musci, R., Ploner, M., et al. 2004. Disponible en *Advances in Space Research*, 34, 901
- [4] Bordovitsyna, T. V., & Aleksandrova, A. G. 2010, Disponible en *Solar System Research*, 44, 238.
- [5] Montojo, F.J., López Moratalla, T., Abad, C. 2011, "Astrometric positioning and orbit determination of geostationary satellites". Disponible in *Advances in Space Research*, Volume 47, Issue 6, p. 1043-1053 (AdSpR Homepage).
- [6] Soop, E.M. 1994. "Handbook of Geostationary Orbits (Space technology Library)".
- [7] Anderson P V, Schaub H. 2016. "Local debris congestion in the geosynchronous environment with population augmentation". Disponible en *Acta Astronautica*, 2014, 94(2): 619.
- [8] Früh, C., & Schildknecht, T. 2012. "Variation of the area-to-mass ratio of high area-to-mass ratio space debris objects". Disponible en *MNRAS*, 419, 3521.
- [9] Flohrer, T. 2017. "Calsification of geosynchronous objects" Disponible en *TN ESOC*, 19, 1.
- [10] Abad, C., Docobo, J.A., Lanchares, V., Lahulla, H.F., Abellerira, P., Blanco, J., and Alvarez, C. 2004. "Reduction of CCD observations of visual binaries using the "Tepui" function as PSF". Disponible en: <http://www.aanda.org/articles/aa/ps/2004/11/aa3746.ps.gz>.
- [11] Stock, J. 1981. "Block Adjustment in Photographic Astrometry". Disponible en: <http://adsabs.harvard.edu/abs/1981RMxAA...6..115S>.
- [12] Abad, C. 1993. "Determination of Field Distortion by a Plate-Overlap Method". Disponible en: <http://articles.adsabs.harvard.edu/full/1993A%26AS...98....1A/0000001.000.html>.



Edgar A. Moreno nació en Zea estado Mérida Venezuela en el año de 1980. Es ingeniero electricista egresado de la Universidad de Los Andes, Mérida Venezuela, en diciembre de 2004. Recibió el título de operador satelital en el Instituto Shenzhou de CAST en la ciudad de Beijing China en el año de 2008. Realizo diplomado Online en

Instrumentación y Controles Industriales en el Centro de Extensión de la Universidad José Antonio Páez en el año 2016. Realizo diplomado en Docencia Universitaria en Universidad Pedagógica Experimental Libertador en el año 2017.

Desde el año 2008 ha estado trabajando en la Agencia Bolivariana para Actividades Espaciales en cumpliendo varias funciones tanto operacionales como supervisoras. En el año 2010 fue nombrado Coordinador de Control Satelital y posteriormente en 2014 promovido a Jefe de la Unidad de Operación de Vehículos Espaciales, donde se ha desempeñado garantizando, con su equipo de trabajo, las operaciones de las plataformas satelitales de Venezuela.



Carlos Abad nació en Zaragoza España, cursó sus estudios de matemáticas en la universidad de dicha ciudad. En 1985, después de 2 años de especialización en Astrometría Meridiana en el Instituto y Observatorio de Marina de San Fernando (ROA) de Cádiz España, es contratado por el CIDA para formar parte de su Sección de Astrometría, ingresando en el cuerpo de investigadores a principios de 1996, después de ser titulado por la Universidad de Zaragoza, como doctor en Ciencias Matemáticas.

Ha trabajado en la sección de astrometría, con la participación directa en la creación de dicha sección, en compañía del Dr. Stock, implantando y continuando en ella su larga carrera de investigación referente a la Astrometría Fotográfica. También ha realizado trabajos relacionado con el telescopio más importante que posee el CIDA, la cámara Schmidt, telescopio de gran potencial astrométrico que permite un campo extenso y profundo en las observaciones fotográficas. Ha sido investigador del CIDA desde 1996, abrió una puerta a los estudiantes de matemáticas a la Astronomía, que tradicionalmente estaba reservada a la carrera de Física.



Elvis J. La Cruz nació en Mérida Venezuela en el año 1980. Curso sus estudios en la Universidad de Los Andes (ULA) Mérida, Venezuela egresando como Licenciado en Matemáticas en mayo de 2008. Posteriormente, continuo sus estudios de maestría al cual atendió al master interuniversitario impartido en el

Instituto Universitario de Matemáticas y Aplicaciones (IUMA), en Zaragoza, Universidad Pública del País Vasco (UPUV), en Bilbao, Universidad Pública de Navarra (UPN), en Pamplona, Universidad de Oviedo (UO), Oviedo y Universidad de la Rioja (UR), España, titulado como Máster en Modelización Matemática, Estadística y Computación en septiembre de 2010. En febrero de 2014 se tituló por la Universidad de Zaragoza (UZ), como doctor en Matemáticas y sus Aplicaciones. Desde 2014 hasta la fecha ha sido investigador en el CIDA en donde abre la sección de astrodinámica y mecánica orbital, iniciando trabajos de investigación en el área de la determinación y programación de órbita y la detección de escombros espaciales.