

INSTITUTO GEOFISICO DEL PERU

SECTOR EDUCACION

Apartado 3747 - Lima 100 - Perú

Teljs. 462347 - 477254 - 471778

COHETERIA CIENTIFICA EN EL PERU: PROYECTO CONDOR

Ronald Woodman Pollit

Instituto Geofísico del Perú

Por las noticias periodísticas recientes es probable que el lector se haya enterado que en el mes de marzo del presente año se lanzaron 29 cohetes para la investigación atmosférica desde la base de Punta Lobos, Perú. De lo que el lector tal vez no esté enterado es que esta operación no sólo es de gran magnitud para nosotros sino que corresponde a la campaña de cohetaría más grande que haya tenido o que tendrá NASA entre los años 1981-1984. Alguno de los cohetes lograron alturas del orden de los 600 kilómetros con cargas útiles del orden de 100 kilogramos de peso, con un complejo sistema de instrumentación. La magnitud de la campaña implicó que en un momento tuviéramos 70 profesionales, entre ingenieros y científicos de diferentes partes del mundo, colaborando en el proyecto. El proyecto fue llevado a cabo como un programa colaborativo entre el Instituto Geofísico del Perú (IGP), NASA- Wallops Space Flight Center y la Comisión Nacional de Investigación y Desarrollo Aeroespacial (CONIDA). Bajo los auspicios de NASA, se coordinó la participación de una decena de Universidades de los EE.UU., del Max Planck Institute de Alemania y de la Universidad de Toulon, Francia.

Ante un proyecto de esta magnitud es natural preguntarse. ¿Por qué en el Perú? Antes de responder a esta pregunta, cabe mencionar que no es la primera vez que se hacen grandes campañas de cohetaría científica en

..//

-2-

el territorio nacional. Estas actividades empezaron el año 1974 con el lanzamiento del cohete "Ayacucho Juc" (nombre quechua en conmemoración del 150 Aniversario de la Batalla de Ayacucho) del Proyecto EQUION, llevado a cabo por científicos del Instituto Geofísico del Perú, la Universidad de Texas y la Aerospace Corporation. Fue en esta oportunidad que, por iniciativa del Instituto Geofísico del Perú, se adjudicó un área y se hicieron las primeras construcciones de lo que hoy en día es la base de Punta Lobos de CONIDA, de renombre internacional. Desde esa fecha se ha llevado a cabo tres campañas adicionales: ANTARQUI, CASTOR y esta última bautizada con el nombre de Proyecto CONDOR.

Las razones que podemos dar hoy en día por las que proyectos de la envergadura del Proyecto CONDOR se llevan a cabo desde territorio peruano son las mismas que esgrimiera el Instituto Geofísico del Perú, en 1973, para recibir el apoyo del Gobierno Peruano en la construcción de la base de Punta Lobos. Hay tres factores que nos ponen en condiciones muy especiales para atraer a la comunidad científica a hacer sus investigaciones por medio de coherencia desde territorio peruano, con el consiguiente beneficio para el desarrollo técnico y científico del Perú:

1. El Ecuador Magnético pasa por el centro de nuestro territorio a unos kilómetros al sur de Lima.
2. Poseemos el Observatorio de Jicamarca, uno de los instrumentos más poderosos para el estudio de la Alta Atmósfera que existen en cualquier parte del mundo, y

//..

3. Contamos con una base para el lanzamiento de cohetes, operada por la Comisión Nacional de Investigación y Desarrollo Aeroespacial -CONIDA, ubicada estratégicamente en Punta Lobos a unos kilómetros del Ecuador Magnético y no muy lejos del Observatorio de Jicamarca.

El hecho de que el Ecuador Magnético pase por territorio nacional es un factor importante. Así como las regiones polares tienen sus fenómenos ionosféricos peculiares, como son las vistosas Auroras Boreales, en latitudes ecuatoriales ocurren fenómenos igualmente espectaculares y de gran interés científico con la única diferencia que estos no son observables a simple vista y se muestran sólo en las pantallas de los radares y otros instrumentos.

Cabe mencionar que así como los polos norte y sur geográficos no coinciden con los polos norte y sur magnéticos (centro de las auroras) el Ecuador Magnético no coincide con el ecuador geográfico. El Ecuador Magnético es una línea imaginaria que envuelve el globo terrestre en los lugares en que una aguja imantada y balanceada toma una posición horizontal. En contraste, esta misma aguja en los polos norte y sur magnético asume una posición vertical. La horizontalidad del campo magnético en las latitudes magneto-ecuatoriales es razón para que se produzcan en estas irregularidades muy pronunciadas en las regiones F y E de la ionósfera; más específicamente en las alturas comprendidas entre los 250 y 1,000 kilómetros y entre los 85 y 130 kilómetros de altura, respectivamente. Estas irregularidades son responsables de dos fenómenos que se vienen observando desde que el hombre se interesó por la ionósfera y sus propiedades para reflejar las ondas de radio más allá del horizonte. Estos fenómenos son conocidos en el lenguaje de radio-física y

en la física-ionosférica con el nombre de "F-Dispersa" y de "E-Esporádica Ecuatorial". Ambos fueron descubiertos y estudiados por primera vez por los instrumentos del Observatorio de Huayao, Huancayo. Estos fenómenos se manifestaban como trazos irregulares en los registros que se producían en la ionosonda de Huancayo. La ionosonda es un instrumento que mide la altura a la cual se reflejan las ondas de radio en la ionósfera. Cabe mencionar que estos fenómenos no sólo fueron observados por primera vez en el Perú, sino que, años después, casi 30 años en el caso de la F-Dispersa, salen del Perú las teorías hoy mundialmente aceptadas de los procesos físicos responsables de su existencia.

La F-Dispersa es un fenómeno no sólo espectacular e interesante desde el punto de vista científico, sino que tiene consecuencias de carácter práctico. Este fenómeno es responsable de variaciones muy intensas en la intensidad de las señales provenientes de los satélites artificiales, con el consiguiente perjuicio en el uso de estas señales para las comunicaciones, la navegación y la geodesia. Como se sabe, estas ciencias y técnicas dependen casi exclusivamente, hoy en día, de satélites artificiales diseñados para este propósito. Ultimamente se ha descubierto que afecta también la calidad de las imágenes producidas por el novísimo sistema de sensoramiento remoto por radar desde satélites (Synthetic Aperture Radar - SAR); técnica capaz de producir imágenes que revelan detalles geológicos y geográficos aún cuando estos están cubiertos por capas de arena o sedimentos, o por mares o lagos.

Dos de los cohetes de gran envergadura (Terrier-Malemute) fueron lanzados con el propósito específico de estudiar las irregularidades de la

región F con instrumentos en situ a la vez que estas eran observadas desde tierra, principalmente con el radar de Jicamarca e instrumentos instalados en Ancón y Huancayo.

Las manifestaciones de la F-Dispersa son múltiples y muy variadas, pero todas se deben a la formación de fluctuaciones muy intensas en la densidad de electrones libres en la iónosfera, la que puede variar en espacimientos desde decenas de kilómetros así como en unos cuantos metros. La teoría antes mencionada, presentada por los científicos peruanos Woodman y La Hoz, explican la F-Dispersa como un fenómeno de turbulencia generado por una inestabilidad del tipo Raleigh-Taylor. Esta inestabilidad es responsable de la creación de grandes burbujas de plasma de baja densidad que nacen en las regiones inferiores de la ionósfera y que se levantan rápidamente por un proceso de flotación gravitacional a alturas más allá de los 1,000 kilómetros. Si bien esta teoría tiene hoy en día aceptación internacional, quedan todavía por explicar los fenómenos secundarios que hacen que esta turbulencia genere fluctuaciones a escalas tan pequeñas como las de tres metros, observadas tanto por satélites y cohetes como por el radar de Jicamarca. El entender estos procesos secundarios ha sido uno de los principales objetivos del Proyecto CONDOR.

Otro fenómeno de importancia, ya mencionado, son las irregularidades causantes de la E-Esporádica Ecuatorial. En latitudes como la nuestra y a unos 105 kilómetros de altura existe una corriente muy intensa producida por la interacción de los vientos de marea y del campo magnético

que recibe el nombre de Electrochorro Ecuatorial. Esta banda de corriente tiene un espesor de unos 10 kms en altura y un ancho, norte-sur, de 600 kilómetros. El movimiento relativo de los electrones libres con respecto a los iones, responsables de esta corriente produce una inestabilidad de contraflujo que se manifiesta como una gran turbulencia y que produce también fluctuaciones muy pronunciadas en la densidad de electrones a las alturas mencionadas (105 kilómetros-región E de la ionósfera). Esta teoría fue presentada por el Profesor D.T. Farley de la Universidad de Cornell, quien fuera en ese entonces Director del Observatorio de Jicamarca. Estas irregularidades tienen también un impacto en la vida práctica, esta vez beneficiosa. Las fluctuaciones de electrones producen fluctuaciones en el índice de refracción de la región E de la ionósfera capaces de dispersar eficientemente cualquier señal de radio de muy alta frecuencia que la incida. Es conocido que las señales de muy altas frecuencias (VHF) usadas por la televisión no pueden llegar mucho más allá del horizonte óptico de sus antenas. Esto limita el uso de estas frecuencias a comunicaciones locales. Pero, debido a la existencia de las irregularidades mencionadas en el Perú es posible comunicarse usando estas frecuencias hasta distancias del orden de 1,000 kilómetros. Esta posibilidad ha sido mostrada ya en trabajos de investigación efectuados por el Instituto Geofísico del Perú. El uso de las micro-ondas y los satélites para las comunicaciones le habían restado importancia a esta nueva forma de comunicación, pero, últimamente, esta ha recobrado importancia al considerar la vulnerabilidad de las receptoras de micro-ondas a acciones de sabotaje y terrorismo y la dependencia de países como el nuestro con respecto a las potencias internacionales en el uso de satélites.

Cuatro de los cohetes (2 Nike Orion y 2 Taurus Orion) de envergadura lanzados en el Proyecto CONDOR estuvieron diseñados para estudiar la estructura de las irregularidades de la región E mencionadas. Dos de las cargas útiles de estos experimentos fueron recobrados con éxito del mar, usando un sistema de paracaídas y flotación. Las operaciones de rescate estuvieron a cargo de la Fuerza Aérea y de la Marina.

El segundo factor importante mencionado para la selección del Perú como base de operaciones de la cohetería científica internacional es la existencia del Radio Observatorio de Jicamarca. El Radio Observatorio de Jicamarca consiste esencialmente en un radar gigantesco que opera en una frecuencia de 50 Megaciclos. Su antena, usada tanto para la transmisión como para la recepción, es la más grande del mundo, consistiendo en aproximadamente 20,000 dipolos interconectados cubriendo una extensión de 300 metros por 300 metros. Sus transmisores tienen una potencia pico de 6'000,000 de vatios, esto es, aproximadamente 100,000 veces mayor que la potencia de un transmisor de radio aficionado común. El radar fue construído en el año 1962 por el National Bureau of Standards con la participación de técnicos, ingenieros y científicos peruanos del Instituto Geofísico del Perú. El radar está situado a 15 kilómetros de Lima en la Quebrada seca de Jicamarca. En el año 1969 fue transferido en propiedad al Instituto Geofísico del Perú, quien lo opera y dirige desde ese entonces. El radar fue construído como un instrumento capaz de medir la densidad de electrones libres a alturas por encima de las máximas obtenidas por la ionosonda, pero año a año viene mostrando su potencial para hacer mediciones de otros parámetros igualmente importantes. Hoy en día es capaz de medir los siguientes parámetros ionosféricos adicionales: la densidad y constitución química de

los iones, la temperatura de los electrones libres y de los iones, la velocidad de desplazamiento de éstos, la intensidad de los campos eléctricos, la dirección del campo magnético y la intensidad de las fluctuaciones producidas por las irregularidades descritas anteriormente. Todo esto en forma continua, produciendo perfiles de estos parámetros aproximadamente cada 10 minutos, cubriendo un rango que va desde los 100 hasta los 10,000 kilómetros de altura. Muchas de las técnicas para la medición de los parámetros arriba mencionados fueron desarrolladas por científicos peruanos.

Aparte de las mediciones ionosféricas mencionadas, últimamente se ha desarrollado una técnica que permite estudiar la morfología de zonas turbulentas y los vientos de la atmósfera terrestre neutra entre los 10 y 85 kilómetros de altura. Esta técnica, también desarrollada por peruanos, fue publicada en el Journal of Atmospheric Sciences por R. F. Woodman y A. Guillen en 1974, y hoy en día se han construido y están construyendo radares en otras partes del mundo (Estados Unidos, Japón, Alemania) usando esta técnica. Tres de los cohetes lanzados desde Punta Lobos estuvieron diseñados para hacer medidas comparativas entre esta técnica de radar y los instrumentos del cohete.

Aparte de los cohetes grandes mencionados, la campaña incluyó el lanzamiento de cerca de seis cohetes medianos y 11 relativamente pequeños para el estudio de la atmósfera comprendida entre los 30 y 85 kilómetros de altura. Dentro de la variedad de objetivos científicos de estos lanzamientos, vale la pena mencionar un esfuerzo bastante grande en

tratar de medir la intensidad de campos eléctricos a alturas mesosféricas y las condiciones del ambiente donde se generan éstos. Recientemente se ha descubierto la existencia de campos eléctricos con gradientes tan altas como un voltio por metro, para los cuales no se ha encontrado todavía una fuente posible que los genere. El experimento se ha hecho en regiones ecuatoriales por presentar éstas condiciones mucho más controladas, en lo que se refiere a fuentes de ionización y la consiguiente conductividad que presenta la atmósfera neutra a estas alturas.

La campaña incluyó, también, el lanzamiento de dos cohetes adicionales del tipo Taurus Orion, los que transportaron cargas explosivas de bario y estroncio. Estas cargas produjeron lo que podría llamarse fuegos artificiales a alturas ionosféricas, del orden de los 450 y 550 kilómetros de altura. Las cargas produjeron nubes de diferentes colores correspondiendo a los diferentes metales atomizados y a sus condiciones de ionización. Las nubes pudieron ser observadas desde cualquier lugar de la República, incluyendo Lima, en donde se presentaron cielos claros no obstante lo temprano del lanzamiento (04:45 a.m.). Su luminosidad se debe al hecho de que si bien los puntos de observación estaban a oscuras, debido a la hora del lanzamiento, la luz solar incidía ya a las alturas a las que se depositaron las nubes. Las nubes de metal neutro atomizado sirven de trazadoras de los vientos neutros a estas alturas. Las nubes ionizadas, por otra parte, no responden a los vientos neutros, pues los iones giran alrededor de un centro fijado a las líneas de campo magnético como resultado de las fuerzas de Lorenz (proporcionales al producto de la velocidad, la intensidad del campo magnético y la carga eléctrica del ion). Esta nube, con un color diferente que la de los

nuetros, se queda estacionaria en caso de no existir un campo eléctrico, o se desplaza con una velocidad proporcional a éste y en una dirección transversal a la dirección de éste y de las líneas de campo magnético . Esta proporcionalidad entre la velocidad de desplazamiento y la magnitud del campo eléctrico sirve para hacer mediciones vectoriales de la intensidad y dirección de los campos eléctricos, parámetro que también es obtenido por el radar de Jicamarca. El experimento aparte de hacer mediciones de la intensidad de vientos y campos eléctricos tuvo como misión estudiar los efectos ionizantes y la inestabilidad producidas por las grandes velocidades de eyección de los metales gasificados en el momento de la explosión.

Otro de los factores mencionados como razones para escoger el Perú es la existencia de nuestra base en Punta Lobos. La base de Punta Lobos queda a unos pocos kilómetros al sur de Pucusana, no muy lejos del eje central del ecuador magnético. La base se inició, como se mencionó anteriormente por el lanzamiento del primer cohete - Proyecto EQUION - con un esfuerzo mínimo por parte del Gobierno, que consistió en adjudicar un terreno, la construcción de una casamata, de un hangar para el ensamble de cohetes y los cimientos del primer lanzador HAD que fue donado por la Aerospace Corporation. Hoy en día cuenta además con oficinas para la operación, desarrollo y puesta a punto de las cargas útiles de los cohetes, un radar para el seguimiento de la trayectoria de éstos, un equipo de lanzamiento y telemetría de globos meteorológicos, tres lanzadores de cohetes de envergadura y otros para cohetes medianos y pequeños. Todo esto logrado como aporte y donación gratuita de agencias, como la NASA, que han hecho uso de las facilidades. La base está

operada en la actualidad por la Comisión Nacional de Investigación y Desarrollo Aeroespacial (CONIDA) la que fuera creada poco después del Proyecto EQUION. CONIDA ha participado ya en tres de estas campañas y cuenta hoy en día con personal capacitado para apoyar las operaciones de lanzamiento. Esperamos que el próximo proyecto, aunque no sea de la envergadura de los últimos, sea un proyecto llevado a cabo enteramente por peruanos.

Hemos mencionado en esta oportunidad algunos de los objetivos más importantes de carácter científico que motivó el Proyecto CONDOR y las razones para que campañas de esta envergadura se lleven a cabo en el Perú. No estamos en posición todavía de discutir los resultados, pues éstos serán recién objeto de análisis durante el próximo año, pero sí podemos mencionar ya, que el Proyecto CONDOR se llevó a cabo con todo éxito. Se lanzaron todos los cohetes programados y los instrumentos funcionaron en la totalidad de los casos. Muchos de los experimentos requerían de condiciones especiales en la ionósfera. Aún en esto tuvimos suerte. La naturaleza colaboró con nosotros y las condiciones deseadas se presentaron a satisfacción de los requerimientos. Desde ya, nos podemos sentir orgullosos de haber participado, codo a codo con las instituciones más prestigiosas del mundo, en lo que a investigaciones espaciales y atmosféricas por medio de cohetes se refieren, una de las campañas de cohetaría de mayor magnitud llevadas a cabo en los últimos tiempos.

BIBLIOGRAFIA

- Farley, D.T., Two-stream plasma instability as a source of irregularities in the ionosphere, Phys. Rev. Lett., 10, 279, 1963a
- Farley, D.T., A plasma instability resulting in field-aligned irregularities in the ionosphere, J. Geophys. Res., 68, 6083, 1963b.
- Farley, D.T., The Ionospheric plasma, Ch III-1-7, in Solar System Plasma Physics, edited by C.F. Kennel, L.J. Lanzerotti, and E.N. Parker , North-Holland, Amsterdam, 1979.
- Fejer, B.G., and M.C. Kelley, Ionospheric irregularities, Rev. Geophys. Space Phys., 18, 401, 1980.
- Morse, F.A., B.C. Edger, H.C. Koons, C.J. Rice, R.F. Woodman, W.J. Heikkila, J.H. Hoffman, B.A. Tinsley, J.C. Winningham, A. B. Christensen , J. Pomalaza, N.R. Teixeira, EQUION, and Equatorial Ionospheric Irregularity Experiment, J. Geophys. Res., 82, No. 4, Feb. 1, 1977.
- Walker, James C.G., Radar Measurement of the Upper Atmosphere, Science, Vol. 206, pp. 180-189, 12 Oct., 1979.
- Woodman, R.F., and C. La Hoz, Radar observations of F region equatorial irregularities, J. Geophys. Res., 81, 5447, 1976.
- Woodman, R.F., and A. Guillen, Radar observations of winds and turbulence in the stratosphere and mesosphere, J. Atmos. Sci., 31, 493, 1974.

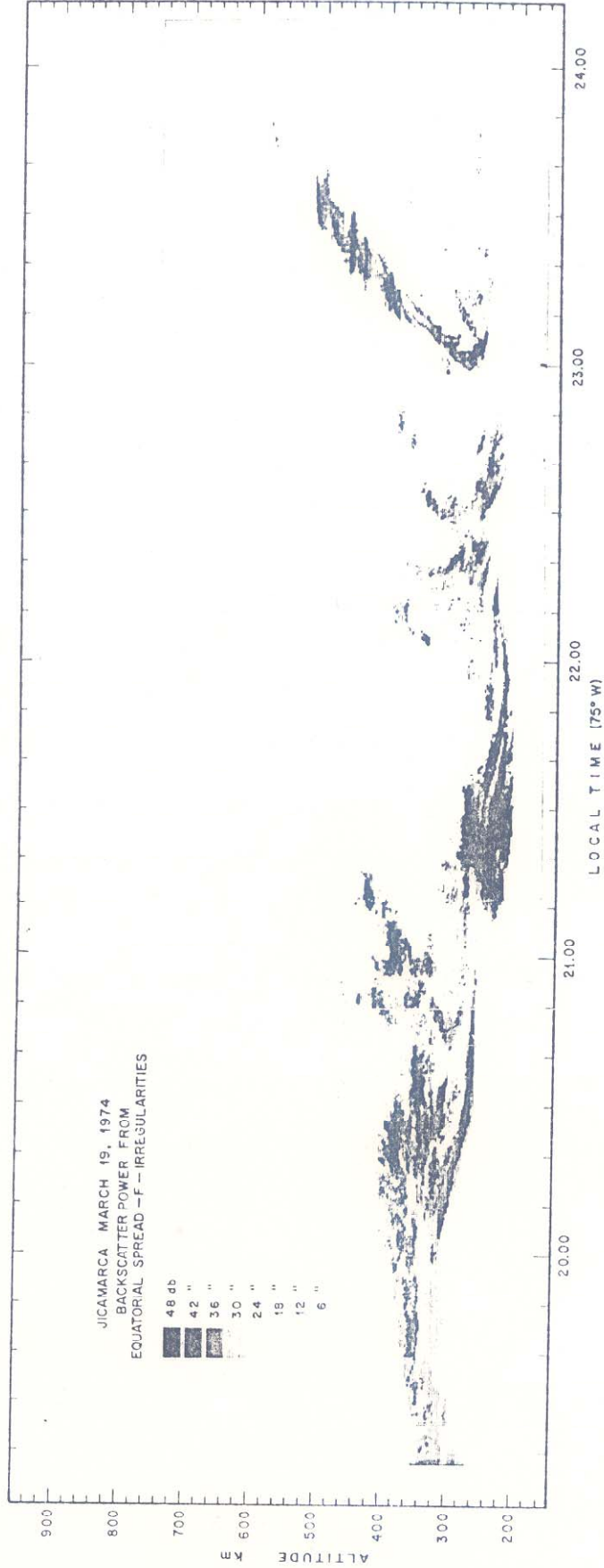


Fig. 1. "Fotografía" tomada por el Radio Observatorio de Jicamarca de las irregularidades que constituyen el fenómeno de F-Dispersa. El estudio de estas irregularidades fue uno de los objetivos principales del Proyecto CONDOR. El descubrimiento del detalle que se observa a las 23:00, que abarca desde 260 a 750 km. de altura, fue clave y fundamento de la teoría presentada por científicos peruanos que explica los procesos físicos responsables de su formación. Es evidencia del trazo de una gran "burbuja" de baja densidad de electrones que "flotó" hasta llegar a los 750 kms. de altura. (Fuente: Woodman y La Hoz, del Journal of Geophysical Research, 1975).