

Ciencias Espaciales

Publicación Semestral de la Facultad de Ciencias Espaciales (FACES) de la
Universidad Nacional Autónoma de Honduras
Número 1, Volúmen 1, 2009



AÑO INTERNACIONAL DE LA
ASTRONOMÍA 2009



HONDURAS
MODO NACIONAL

EL UNIVERSO PARA QUE LO DESCUBRAS

Ciencias Espaciales

Publicación Semestral de la Facultad de Ciencias Espaciales (FACES) de la
Universidad Nacional Autónoma de Honduras
Número 1, Volúmen 1, 2009



AÑO INTERNACIONAL DE LA
ASTRONOMÍA 2009



UNAH
UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE HONDURAS

EL UNIVERSO PARA QUE LO DESCUBRAS

Ciencias Espaciales

Universidad Nacional Autónoma de Honduras

Facultad de Ciencias Espaciales

Número 1, Volúmen 1, 2009

Portada: Estrellas recién formadas de una región de la pequeña
Nube de Magallanes

Fotografía: Telescopio Espacial Hubble (HST)

María Cristina Pineda de Carías
Decana FACES - OACS/UNAH

María de Jesús Quiróz
Jefe GO Departamento Astronomía
y Astrofísica

Jacky Nasif Saadeh Asfura
Coordinadora Maestría Regional
Centroamericana Astronomía y Astrofísica

Mauricio Xavier González Mantilla
Jefe GO Departamento Ciencia y Tecnologías
de la Información Geográfica

Vilma Lorena Ochoa López
Coordinadora Maestría en Ordenamiento y
Gestión del Territorio

Santos Vito Veliz Ramírez
Jefe GO Departamento Arqueoastronomía

Martha Lorena Talavera Briones
Coordinadora Unidad de Investigación

Virginia Mejía
Edición
Departamento de Documentación
Dirección de Investigación Científica

Karol Herrera
Diseño y Diagramación
Departamento de Documentación
Dirección de Investigación Científica

Facultad de Ciencias Espaciales

El 17 de Abril de 2009, mediante Acuerdo No. CU-O-043-03-2009 el Consejo Universitario de la UNAH creó la Facultad de Ciencias Espaciales en reconocimiento al funcionamiento del Observatorio Astronómico Centroamericano de Suyapa (OACS/UNAH).

La Revista Ciencias Espaciales es una publicación bianual de la Facultad de Ciencias Espaciales. El contenido de cada artículo es responsabilidad de su(s) autor(es). La suscripción de esta publicación es gratuita, solamente se cobrará el costo de su envío.

Contenido

Artículo de Fondo

- Eppur si muove ó el triunfo de galileo
Marcos Carías 3

Astronomía y Astrofísica

- Propiedades fundamentales de cúmulos estelares azules, compactos y de alto brillo superficial en la nube mayor de magallanes
M. L. Talavera, A. V. Ahumada, J. J. Clariá, J. F. C. Santos Jr., E. Bica y M. C. Parisi. 43

- Emisiones máseres en regiones de formación de estrellas de gran masa: ¿trazadores de discos o de jets?
J. Umanzor y M. Gómez. 56

- Dinámica de objetos en sistemas planetarios.
J. J. Gámez y S. M. Fernández 69

- Metodología para cálculo del seeing en el Observatorio Astronómico Centroamericano de Suyapa, Tegucigalpa, Honduras
R. Schöngarth 77

Ciencia y Tecnologías de la Información Geográfica

- Catálogo de firmas espectrales de especies florales, en la Ciudad Universitaria, Tegucigalpa. fase 1
R. Corrales 91

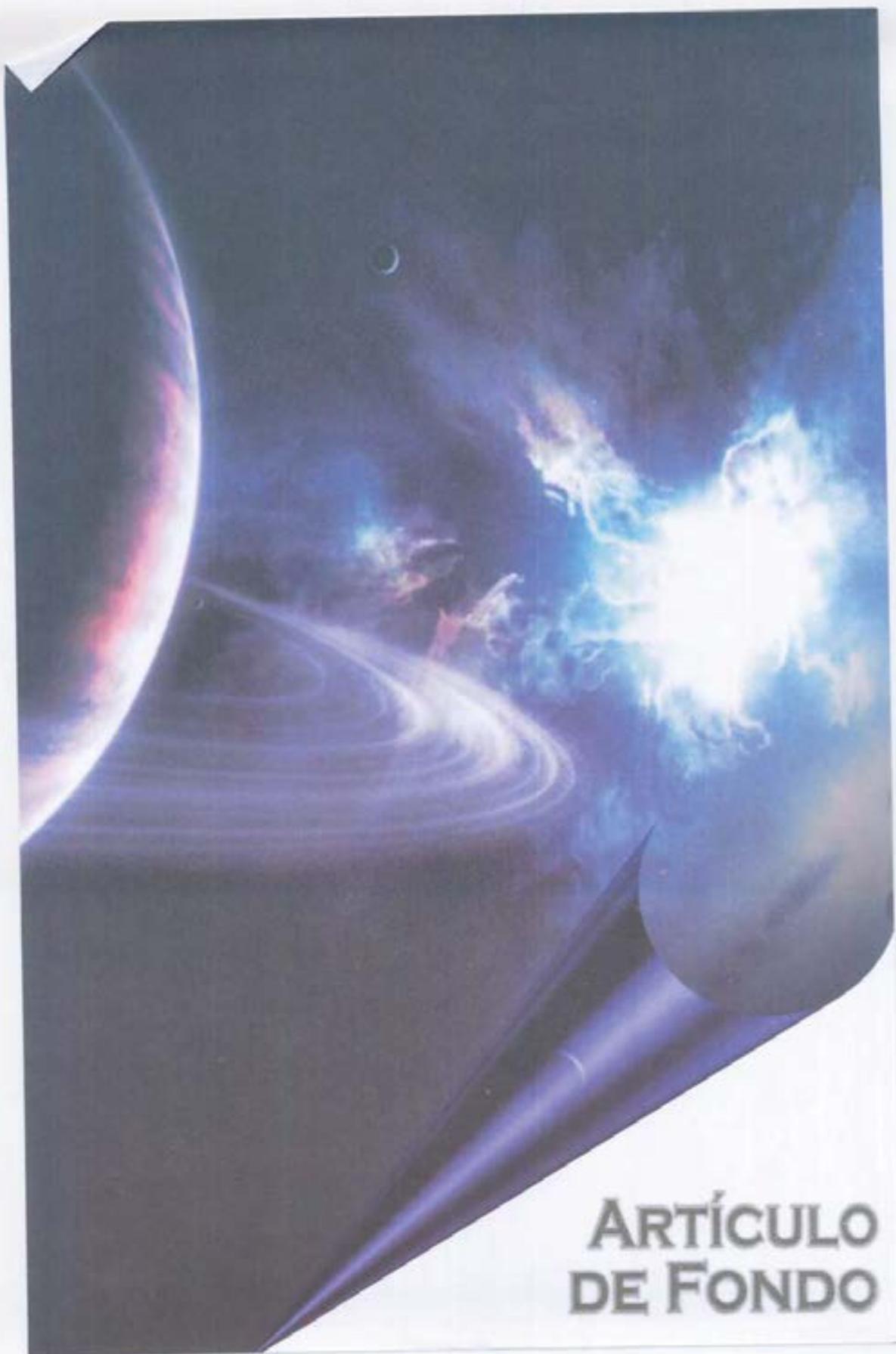
- Maestría en ordenamiento y gestión del territorio: líneas de investigación
V. L. Ochoa 105

Arqueoastronomía

- Aseguramiento de datos digitales en arqueoastronomía
J. I. Zablah 121

Notas Informativas

- Criterios para la publicación en la Revista Ciencias Espaciales 135



**ARTÍCULO
DE FONDO**

Eppur si muove o El triunfo de galileo

Marcos Carías*

RESUMEN

En la primera parte de este documento se hace un recorrido por la vida de Galileo Galilei y su lucha, a partir de sus primeras observaciones con el telescopio, a favor del sistema copernicano. Esta lucha culmina en su proceso en manos de la Inquisición, la condena de sus ideas y la obligada abjuración de las mismas. En la segunda parte se recogen algunos textos de Galileo Galilei que reflejan su manera de discutir los problemas relacionados con sus descubrimientos y con los debates que suscitaron para la astronomía de su tiempo. 2009 ha sido designado por Naciones Unidas como Año Internacional de la Astronomía, a propuesta de la Unión Astronómica Internacional (IAU) y la UNESCO. En este contexto de celebración de los 400 años desde que Galileo apuntó su telescopio al cielo, se inscribe este trabajo.

Palabras clave: *heliocentrismo, telescopio, modernidad, abjuración, ciencia*

ABSTRACT

In the first part of this document a tour is done by Galileo Galilei's life and his fight from his first observations by the telescope, in favour of the Copernican system. This fight culminates in his process in hands of the Inquisition, the condemnation of his ideas and the obliged abjuration of the same ones. In the second part there are gathered some Galileo Galilei's texts that reflect his way of discuss the problems related to his discoveries and to the debates that they provoked for the astronomy of his time. 2009 has been designated by United Nations as International Year of the Astronomy, at the suggestion of the Astronomic International Union and UNESCO. In this context of celebrating the 400 years since Galileo turned his telescope to the sky, falls this work.

Keywords: *heliocentric universe, telescope, modernity, abjuration, science.*

* Marcos Carías, mcarias@cablecolor.hn
Facultad de Ciencias Espaciales, Observatorio Astronómico Centroamericano de Suyapa,
Universidad Nacional Autónoma de Honduras.

I. VIDA DE GALILEO

El padre de Galileo

Galileo Galilei nació en Pisa el quince de febrero de 1564, pero de una familia con viejas raíces en Florencia. Se le considera el científico en quien se anudan los hilos que marcan el tránsito histórico hacia la modernidad. Desde los diez años vivió en Florencia siempre al lado de los suyos; se le envió a Pisa en 1581 matriculado en la Universidad para estudiar medicina, carrera que no terminó.

El ejemplo de su padre, Vincenzo Galilei, no le fue para nada ajeno al desarrollo de su vocación si bien su progenitor había luchado para convencerlo de que estudiara medicina y no matemática, aún siendo músico y teórico del arte musical, que desde Pitágoras se consideraba vinculado, precisamente, con la matemática. Su padre, además de virtuoso del laúd, era un técnico, un artesano que fabricaba y perfeccionaba instrumentos musicales. Y Galileo, de joven, trabajó en el taller de su padre don Vincenzo. De su padre aprendió a valerse de tecnologías innovadoras para apoyar sus teorías así como a no aceptar como buenas, teorías que no hubieran sido previamente comprobadas.

"Me parece que actúan de manera absurda" le enseñó don Vincenzo, "quienes para probar cualquier enunciado, se basan simplemente en el peso de la autoridad, sin introducir ningún argumento probatorio". Este razonamiento, al pie de la letra, habría de suscribirlo también su hijo. Sus conceptos a favor de la libertad de investigación y de avanzar con cuestionamientos propios para perseguir la senda de la verdad, los expuso su padre en una obra al estilo de aquella época y que su hijo Galileo llevaría a un elevado grado de perfección; esa obra se denominó "Diálogo entre la Antigua y la Música Moderna". Andando el tiempo y ya en plena madurez científica su hijo Galileo habría de escribir su famoso "Diálogo sobre los dos máximos sistemas del Mundo" (el antiguo apoyado en la tradición y en la obediencia al "peso de la autoridad" y el moderno que él y otros entusiastas defendían, apoyado en la libre investigación y en el método experimental).

Las razones de don Vincenzo en contra de los estudios de matemática eran en gran manera prácticas, sabiendo que a su muerte, su hijo mayor tendría que convertirse en el sostén de toda la familia: un profesor de matemática ganaba, entonces, un promedio anual de sesenta escudos, mientras un cura confesor podía acreditarse unos doscientos escudos por año, un médico unos trescientos, un profesor en el prestigiado campo de la filosofía podía llegar a cuatrocientos en tanto que los comandantes militares andaban entre los mil y los dos mil quinientos escudos

anuales.

Gracias a sus cualidades como cultivador de la matemática, manifestadas y reconocidas por sus maestros desde que era muy joven, Galileo inició su vida académica como profesor en la Universidad de Pisa en 1589, y pasó luego como catedrático a la Universidad de Padua en 1592. Pisa, en aquella Italia dividida en una variedad de Estados, aunque unidos por una lengua común, pertenecía al Ducado de Florencia, regido entonces por la familia Médicis; Padua formaba parte de la República de Venecia.

Al llegar a Padua, su fama le precedió. Era tenido como un excelente profesor y eso le valió de auxilio para su peculio pues servía además clases particulares a jóvenes de buenas familias. El heredero de los Médicis, gobernantes de su natal Florencia, fue uno de estos alumnos. Era tenido, también, como un extraordinario conferencista y conversador: dinámico, satírico, controversial y siempre portavoz y defensor de novedades. Incluso había generado cierta imagen de discolo por su negativa a usar, en Pisa, la toga de rigor, obligatoria para todos los catedráticos. Hasta hizo un poema al respecto que así terminaba: "...a los ignorantes que tienen por más sabio y más valioso a éste o a aquél a tenor de que lleve toga de raso o toga de velludo ¡Y sabe Dios como andará la cosa!" Famosos eran ya algunos de sus experimentos al aire libre sobre la caída de los cuerpos y sus demostraciones al respecto desde la Torre de Pisa. Su habilidad técnica no se hizo esperar al servicio del Duce y los comerciantes de Venecia: inventó y les puso en funcionamiento una máquina para irrigar y un compás, una especie de calculadora para ingenieros militares con la que determinar la carga apropiada para cualquier tipo de cañón, situar, ventajosamente, la armada en orden de batalla y hasta precisar cambios de moneda. Estos inventos, Galileo pasaba luego a producirlos en su taller, con su pequeño equipo de operarios, (a veces solamente uno pero con el auxilio de unos quince o veinte estudiantes particulares en sus clases prácticas) y luego los comercializaba, elaborando y vendiendo los manuales para su uso (algún cliente le reclamó falta de garantía en cuanto a la calidad del producto, explicable por la prisa con la que trabajaba Galileo debido a las permanentes presiones económicas que le asediaban y a su muy peculiar manera de producir a base de constante ensayo-error-acierto-perfeccionamiento).

El padre intelectual de Galileo fue Nicolás Copérnico. Este sacerdote y astrónomo polaco, en un libro titulado "De Revolutionibus Orbium" publicado en 1543, había sostenido que el sistema del universo no era geocéntrico o sea con la tierra inmóvil en el centro alrededor de la cual giraban la luna, los planetas y el sol sino que, todo lo contrario, era heliocéntrico, o sea que la luna, los planetas y la misma tierra

giraban alrededor del sol, que estaba en el centro. El título del libro de Copérnico alude a los movimientos (revoluciones) de los astros pero lo que había introducido el canónigo polaco en la ciencia de su tiempo equivalía a una revolución (en el sentido de un cambio radical).

Había transcurrido medio siglo, sin embargo, y de la teoría copernicana sólo podía hablarse a media voz. Siglos de tradición y el propio testimonio de los sentidos apoyaban el modelo geocéntrico. Se fundamentaba en la ingente labor de Ptolomeo, reconocido como el mayor astrónomo de la antigüedad quien en su obra "El Almagesto" (por su nombre en árabe) había explicado suficientemente los movimientos de los astros en el firmamento, dando cuenta de su forma de producirse, girando con la tierra en el centro. Y aún se apoyaba en las doctrinas de Aristóteles, tenido como el mayor y más certero pensador de todos los filósofos que habían tratado los problemas de la naturaleza y las causas del movimiento de los cuerpos, en la tierra y en los cielos. Por si fuera poco, la poderosa Iglesia Católica sostenía el modelo geocéntrico casi como si fuera un artículo de fe.

Copérnico murió justo en el año cuando se publicó su revolucionario libro. Concluyó el siglo XVI y su teoría seguía siendo rechazada por absurda, aunque se le reconocía su sensatez matemática. Galileo Galilei, al parecer, se había adherido al modelo copernicano desde 1597, pero sin manifestarlo públicamente. Y no tanto por un prudente temor sino porque, y era un punto para él de decisiva importancia, no existía una comprobación experimental de lo que Copérnico sostenía. Era, básicamente, una teoría convincente pero sin sustentación en hechos verificables.

En 1591, don Vincenzo Galileo, su padre, murió. Y como estaba previsto, su hijo mayor, profesor de Universidad, heredó un serio compromiso familiar que no dudó en asumir y en cumplir. Pero también heredó Galileo Galilei de don Vincenzo una firme actitud en defensa de sus ideas y también, un permanente deseo de compartir sus conocimientos no ya sólo con la élite intelectual sino, y de forma acusada, con los artesanos, operarios, y trabajadores con quienes había mantenido contacto en el taller de su padre y en el suyo propio, o en los muelles y almacenes de Venecia. En ellos encontraba Galileo una predisposición a comprender y a aceptar novedades que contrastaba con la de los intelectuales doctos, aferrados dogmáticamente a sus ideas tradicionales.

Los amores de Galileo

Galileo fue un hombre apasionado en sus afectos y en su trabajo. Según propia confesión los diez y ocho años que vivió en Padua, de 1592 a 1610, entre sus

veintiocho y cuarenta y seis años de edad, fueron los más felices de su vida. Entonces conoció a Marina Gamba, hermosa y humilde muchacha, madre de sus tres hijos: dos niñas y un varón. Galileo no se casó con ella. ¿Albergó excesivos prejuicios sociales debido a la diferente condición entre un científico universitario y una chica de un hogar de artesanos? Se apunta que su caso era frecuente en esa época y que intelectuales y artistas, sin hacer desde luego algún voto de castidad, preferían el celibato para no perder su libertad de acción. No vivieron bajo el mismo techo, ella en Venecia, él en Padua, y cuando regresó a Florencia en 1610 la dejó cubierta con una suficiente pensión, con la que cumpliría hasta la muerte de Marina en 1619. Luego de su separación, cuando ella contrajo un matrimonio favorable con Giovanni Bartolezzi, un buen artesano de aquella localidad, Galileo le ayudó a conseguir empleo y durante un tiempo mantuvo con él lazos comerciales comprándole cristales de Murano, para la confección de lentes que usaba en sus telescopios.

Galileo amó a su familia y, como varón primogénito, veló por ella tal como se lo prometiera a su padre, con quien siempre mantuvo un lazo afectivo intenso. Cuidó de su madre en su ancianidad, mujer de fuerte carácter, difícil para la convivencia; casó y dotó a sus dos hermanas de forma conveniente en atención a su futuro. La dote comprendía gastos de ajuar, fiesta de boda y acuerdo negociado para ir aportando a plazos un capital "semilla" a favor de la pareja y Galileo se encargó de que sus hermanas fueran bien provistas; ayudó así mismo a su hermano menor Miguel Ángel, que había seguido la carrera musical del padre, para sus gastos de traslado cuando fue contratado para trabajar en Polonia y poco después desde Polonia a Munich. Dentro del margen de sus posibilidades, la familia siempre contó con su ayuda, todo esto, distando de ser él mismo un potentado y viviendo inicialmente de su salario de la universidad sobre el cual se veía obligado a pedir adelantos, más los extras que se procuraba con clases particulares y con la confección y patente de diversos artilugios mecánicos de su invención o debidamente perfeccionados. Su salario mejoró notablemente, llegó hasta los mil escudos, con su traslado a Florencia pero así mismo la familia de sus tres hermanos aumentó y como siempre sucede hubo momentos de estrechez y urgente necesidad para alguno de ellos, que Galileo siempre generoso solventó.

Para nuestra actual sensibilidad puede parecer egoísta el destino que les fijó a sus dos hijas. Ambas ingresaron niñas a un convento y luego profesaron para monjas. Quizás acertó con Virginia, la mayor, cuya correspondencia con su padre seguida al detalle por la historiadora Dava Sobel en su libro "La Hija de Galileo" nos la muestra contenta y eficiente en el convento, adonde regentaba la farmacia; pero quizás no acertó con Livia, la menor, tímida y retraída desde niña, cuyo retraimiento y

melancolía se acentuó dentro de las paredes de su clausura. Cuando empezaron a arreciar las críticas contra Galileo por las ideas que profesaba, pero también en momentos en los que su prestigio se había acrecentado, logró para sus hijas un doble privilegio: por un lado, ser admitidas en convento antes de cumplir la edad requerida para profesar y además poder estar juntas, aunque la regla no lo permitía, en la misma institución, en el Convento de San Mateo de las Clarisas Franciscanas de Arcetri, cercano a Florencia y cercano a las dos fincas adonde residió Galileo hasta sus últimos años. Pagó en ellas o pagaron ellas por él, la falta de no haberse casado con Marina, ya que sin haber matrimonio entre la pareja, eran asentadas en el registro como hijas de padre desconocido aunque Galileo las hubiera considerado como propias desde su nacimiento. Y en esas circunstancias resultaba casi imposible, en aquella época, que una muchacha se casara, siendo el convento uno de los destinos más seguros. Fruto de esos años de influencia dentro del círculo de los Médicis, gobernantes de Florencia, fue lograr que se reconociera como hijo legítimo suyo a Vincenzo, el menor, cuando tenía trece años -1619- lo que le facilitó más adelante proseguir una carrera universitaria.

Rodeado por esta trama sentimental, el amor más profundo de Galileo fue, con todo, por la ciencia, o propiamente dicho, por la verdad científica. Galileo persiguió con toda la fuerza de su intelecto y de su voluntad esclarecer la verdad encerrada en los fenómenos de la naturaleza, buscó leer con claridad y certeza en ese maravilloso y enigmático libro de la naturaleza. Y la verdad por él buscada era la que, utilizando la razón, produce un conocimiento científico. Y para llegar a ella impulsó un camino a seguir, un método (método en griego quiere decir camino) convirtiéndose en uno de los más denodados pioneros del método científico que sentaría las bases de la ciencia moderna.

Requisito para esta nueva ciencia, tal como Galileo la entendió, fue la de ser asequible y compartida por sabios y por legos, que no estuviera enclaustrada entre las cuatro paredes de las universidades, fuerte eco del taller artesanal de su padre y de su convivencia con operarios y trabajadores; debido a ello y luego de sus primeros escritos redactados en el idioma docto europeo que era el latín, pronto comenzó a escribir en italiano para así poder llegar a un público más amplio. Escogió un lenguaje coloquial pensando en esos trabajadores del arsenal de Venecia, pulidores de lentes o sopladores de vidrio de Murano, en su vasta experiencia práctica y en la necesidad de exhortarlos a cultivar sus capacidades intelectuales sin dudar de que ellos podían superar a tantos privilegiados que ingresaban a las universidades para ser físicos o filósofos, sin suficiente capacidad o vocación. Galileo aparece por lo tanto como un científico humanista, o sea un cultivador de la ciencia y un promotor de la educación popular.

Galileo vivió en dos fincas en las colinas adyacentes a Florencia: primero, desde 1617, en Bellosguardo (Bella Vista) y después, a partir de 1631, en Arcetri, todavía más cerca del convento de sus hijas. Y mientras su salud se lo permitió no desdeñó cultivar y hacer producir la tierra. En su huerta, hortalizas desde luego, para su propio sustento, pero sobre todo un sabroso y fuerte rojo vino de la Toscana, del que estaba particularmente orgulloso y del que obtenía buenas rentas. Pero ¡cuidado! le advertía en sus cartas su hija Sor María Celeste (Virginia antes de adoptar ese nombre conventual en evidente homenaje a su progenitor) no fuera a abusar y consumiera él mismo más de lo que destinaba a la venta. Porque Galileo amaba ese su vino casero y a Sor María Celeste le preocupaba no fuera a hacerle daño a su inapreciable salud y ahora desde esa colina sobre Florencia podemos imaginarlo con su buen vaso de tinto, admirando aquel cielo en cuyos secretos había penetrado como nadie antes lo había podido hacer.

Galileo: 400 Años

La Organización de las Naciones Unidas ha proclamado el año de 2009 como Año Internacional de la Astronomía. Hace cuatrocientos años, en 1609, Galileo Galilei apuntó su telescopio hacia el firmamento y a partir de ese momento dio comienzo una nueva era para la ciencia y para la comprensión del Universo que nos rodea. El salto en esta aventura del conocimiento humano para explicar el cosmos, no se debió tanto a una nueva teoría como a una innovación tecnológica. Pero Galileo no fue el inventor del telescopio, aunque lo afirmara, (talvez tampoco fue el primero que lo usó para ver el cielo) si bien el aparato que empleó era de su propio diseño.

Quienes califican para adjudicarse el invento, sin mencionar otros variados antecedentes, parecen ser cada uno por su lado, Hans Lipperhey y la pareja J. Metius y Z. Janssen todos de los Países Bajos, que casi al mismo tiempo reclamaron su patente en 1608 no siéndoles acreditada a ninguno en virtud de esa disputa. La verdad es que no se trataba de un hallazgo difícil o inusitado. Desde finales de la Edad Media, en materia de óptica, lo instrumental aventajaba con mucho a lo teórico. El mismo Galileo nunca fue muy avisado en este campo en el que lo superaba Johannes Kepler quien en 1611 publicó su "Dioptrica", en la que explica, mejor que Galileo, el funcionamiento del anteojo de Galileo, si bien Kepler nunca fabricó un aparato de estos. En los talleres de muchas ciudades europeas se construían y pulían lentes para corregir la presbicia o la miopía y se estaba generalizando el uso de los anteojos. No sorprende que, por diferentes razones, se llegara a construir un aparato que magnificara y aproximara a la visión, los objetos que estaban distantes.

Galileo tuvo noticias de un aparato de este tipo a finales de la primavera de 1609. En verano, ya estaba ofreciéndoles una demostración a las autoridades y comerciantes de Venecia que pudieron ver por este anteojo embarcaciones que se dirigían al puerto, ocultas a simple vista. Ponderaron la utilidad del artilugio con fines de defensa y protección para los navios. Lo que ya es aporte de Galileo es que este "su" aparato de exhibición era seis veces más potente que el que sus amigos le habían traído de Francia y de los modelos corrientes. Para el mes de octubre ya se había fabricado uno cuya potencia era de 20 aumentos; éste fue el que apuntó a los cielos. Y a diferencia de otros que quizás lo hicieron antes que él, por entretenimiento, Galileo lo hizo según un propósito que orientó su búsqueda, lo cual es buen consejo para quien emprende el camino científico o sea que hay que "saber" o al menos "intuir", tener un idea para buscar y un fin, un posible resultado comprobable, que se espera encontrar.

Luego, durante una serie de frenéticas y particularmente frías noches de noviembre y diciembre de 1609 y de enero y febrero de 1610, escudriñó el firmamento y le arrancó extraordinarios secretos. Y a partir de ese momento, hace cuatrocientos años, todo cambió en la historia. Siderius Nuncius

"Siderius Nuncius" es el nombre del libro, de pequeño formato, en el que Galileo Galilei dio a conocer sus descubrimientos. Se le traduce, usualmente, como "El Mensajero de las Estrellas" pero también como "El Mensaje de las Estrellas" e incluso como "La Gaceta Sideral". Entre "mensajero" o "mensaje" hubo desde el inicio esa ambigüedad de significado, a la cual el autor no resultó ajeno, porque el título podía indicar ambas cosas: el mensaje del cielo, proveniente de un mensajero; lo de Gaceta, muy poco frecuente en todas las ediciones conocidas, quiere señalar el carácter, digase, periodístico del mensaje: era un texto caliente, puesto que las últimas observaciones de Galileo datan del dos de marzo y el libro vio la luz el doce de marzo de 1610 (550 ejemplares vendidos todos en sólo una semana).

El debate, con sordina, había comenzado en 1604. Un interesante fenómeno, particularmente inquietante, había hecho su aparición en el firmamento en la forma de una muy brillante nueva estrella que se mantuvo en el cielo durante un mes, fulgurando y ocasionando diversas y encontradas opiniones. Contra el testimonio de los sentidos y de muy simples cálculos, los partidarios de la tradición aristotélica afirmaban que esta nova estrella se encontraba por debajo de la luna. Para Galileo y otros "modernos" observadores estaba mucho más allá de la luna, en los lejanos dominios estelares. Pero la cuestión era más que astronómica, era física, metafísica y en última y primera instancia teológica. El mundo estelar, sostenía la

secular tradición, por encima de la luna, era un mundo inmutable, o sea, que no admitía cambios ni apariciones súbitas, siendo por ello divino y eterno. El mundo de las cosas mudables, cambiantes, que nacían y morían, que aparecían de improviso y desaparecían, era el mundo terrenal o sublunar. La controversia sobre el lugar que ocupaba la nova estrella, remitía a los cielos y al movimiento de los astros, obligaba, de paso, a desempolvar y a tomar de una vez partido en pro o en contra de las tesis expuestas, desde 1543, por el canónigo polaco Nicolás Copérnico en su libro "De Revolutionibus Orbium". Al respecto, la tradición sostenía que la tierra era el centro del universo y que a su alrededor giraban el sol, la luna, y los planetas, sobre el fondo esférico pero también móvil, de las estrellas fijas. Copérnico, a base de cálculos matemáticos, sostenía que el centro estaba en el sol y que la tierra, al igual que los otros planetas giraba, se movía en su alrededor. La teoría copernicana, que muchos competentes hombres de ciencia rechazaban, aunque muchos otros la admiraban y aceptaban, carecía aún de asidero objetivo o prueba experimental. Galileo había participado, un tanto incómodo por esa falta de pruebas concretas, en los debates generados por la nova, pero ahora, armado con su telescopio (bautizado así por uno de sus admiradores, en Roma, un año después) esperaba comprobar la revolucionaria teoría.

El "Siderius Nuncius" es un vademécum, un prontuario, una ruta de navegación. Cada noche, entre octubre y marzo, el astrónomo Galileo anotó lo que observó y si el tiempo no se lo permitía anotaba ese contratiempo: por ejemplo que el día quinto de febrero el cielo estuvo nublado, igual el 14 de enero y por coincidencia el 14 de febrero lo mismo que el día 20 de ese mes, en general tuvo suerte dado el clima invernal europeo y fueron pocas las noches en las que no pudo observar, si bien hay que hacer constar que aunque observaba desde la terraza de sus casas, en Padua para la composición de este libro y desde Florencia en sus observaciones posteriores, las condiciones del cielo (el seeing) no se veían entonces en lo más mínimo perturbadas por la contaminación lumínica.

Hoy en día, los astrónomos no necesitan permanecer bajo la cúpula abierta, a bajas temperaturas, pegados al ocular del telescopio muchas y sufridas horas porque desde sus oficinas en las instalaciones de los observatorios, pueden seguir lo que hace el telescopio gracias al potente instrumental con que cuentan y lo siguen desde computadoras que pueden conectarlos no sólo con lo que hace su telescopio sino con otros telescopios situados en lugares muy lejanos. Tampoco necesita el astrónomo de hoy ser un buen dibujante y hay que apreciar la ingrata tarea de Galileo, con su aparato incipiente que necesitaba de un continuo alinearse con un objeto, desde sus ojos falibles y con su mano alerta y rápida, haciendo los trazos de lo que observaba; hoy gracias a la fotografía y nuevas tecnologías, los telescopios

están provistos de cámaras CCD que captan lo que se necesita captar. El *Siderius Nuncius* está ilustrado con esos dibujos originales de Galileo que dan cuenta de sus primeros y trascendentales descubrimientos. Pero nada de guardar secretos fue la política de este investigador y que es exigencia para todo científico. La pronta publicación de sus hallazgos condujo de inmediato a una polémica sin precedentes.

Mundos Nuevos

Usted niño, niña o joven ¿quieren ver la luna? En Honduras, pueden hacerlo, cualquier viernes del año, desde los telescopios instalados en el Observatorio Astronómico Centroamericano de Suyapa, en Tegucigalpa, con pequeños aparatos de ocho pulgadas para uso de todo el público asistente y aún así, más potentes que el utilizado por Galileo. Y al igual, que en otros muchos puntos de la tierra, en este Año Internacional de la Astronomía, podrán hacerlo desde un duplicado del incipiente artilugio empleado por este descubridor de nuevos mundos hace cuatrocientos años.

Parte de las inquietantes novedades aportadas por Galileo tuvieron que ver con la luna, el objeto más próximo en el cielo y hasta entonces erróneamente concebido. Contra lo que filósofos y astrónomos del pasado sostenían, es decir, que la luna era un astro circular y perfecto, el ojo del telescopio mostraba rugosidades en la cara de la luna, valles, montañas, cráteres. Era imperfecta, al tenor de aquellas nociones. Para Galileo, que transcribió sus observaciones y dibujos de la luna en cuarto creciente, hechas durante el mes de noviembre, estos accidentes eran las características objetivas, observables de este satélite, ni perfecto o imperfecto, categorías que escapaban a la consideración científica.

Otro hallazgo que se sigue dramáticamente en ese plan de viaje que fue el *Siderius Nuncius*, fue el apareamiento, gracias al ojo del telescopio, de los satélites de Júpiter. Tres primero, perfectamente discernibles, un cuarto después, cuando ya no le quedaron dudas de lo que se trataba: cuerpos como lunas girando alrededor del gigantesco planeta, con lo que de algún modo se superaba la idea de que todo en el cielo giraba alrededor de la tierra. Galileo comenzó a observar a Júpiter y sus satélites desde el 7 de enero de 1610, el 13 de enero apunta que vio por primera vez "las cuatro estrellitas" y continuó sus observaciones con sus apuntes y dibujos hasta el 2 de marzo. Estos satélites fueron nombrados por su descubridor "cosmicianos" o "cósmicos" en honor del Gran Duque Cosme de Médicis, gobernante de Florencia, ex alumno suyo quien a su vez le sugirió que los nombrara mediceos, en honor a la familia, de modo que Galileo tuvo que ir corrigiendo sobre la marcha los ejemplares que iban saliendo de la imprenta.

Pero la ciencia es una demandante rigurosa. Que hubieran astros girando en torno a Júpiter no probaba que todo el sistema girara en torno al sol. Tycho Brahe, el acucioso contemplador y máximo catalogador de objetos del cielo de la época anterior al telescopio, que había barrido de forma exhaustiva el firmamento desde su Uranenborg en las heladas latitudes de Dinamarca, tras conocer los hallazgos de Galileo sustentó una teoría híbrida: los cinco planetas – Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno- giraban alrededor del Sol y el Sol y este conjunto de planetas a su vez, giraban alrededor de la Tierra inmóvil. Galileo mismo, como tesis probatoria del movimiento de la tierra propuso una explicación (incorrecta) sobre el flujo y reflujo de las mareas. En su teoría sobre las mareas, Galileo rechazó tomar en cuenta una posible influencia de la luna a la distancia, debido a la simpatía o antipatía entre los cuerpos, que le parecían asuntos ligados al ocultismo astrológico y no a una seria explicación de los movimientos, influencia a la distancia que no tendría sentido hasta el siguiente siglo, dentro de la teoría de la gravitación universal de Newton.

Otras observaciones contenidas en el *Siderius Nuncius* tienen que ver con las estrellas fijas ya conocidas y una multitud vistas por primera vez gracias al telescopio, con la Vía Láctea ahora entendida como una galaxia poblada por una ingente cantidad de estrellas y con las nebulosas "descubiertas" como cúmulos de pequeñas estrellas habiendo contado 21 en la denominada Cabeza de Orión. Pero ante la sorpresa producida y el éxito escandaloso de su libro, Galileo no se detuvo y a renglón seguido fue presentando los resultados obtenidos de nuevas observaciones ocurridas, ya desde Florencia, en 1610. Fueron, singularmente, lo relacionado con las fases de Venus, similares a las de la luna, sólo explicables si este planeta va girando y recibiendo su luz desde un foco fijo, en este caso, el Sol, y algo, relacionado con el mismo Sol, muy impactante: en la superficie del divino astro se observaban manchas, de tamaño variable. Algunos quisieron interpretar, para salvar la perfección del sol, que se trataba de miríadas de pequeñas estrellas, próximas a su superficie y que lo circundaban, pero el telescopio, nuevo juez, descartó tal posibilidad. Aunque de incierto material, confesó Galileo, estas manchas se movían con el sol, cambiaban de forma y densidad, se producían o disolvían en la superficie del sol. Estas manchas, por lo tanto, atestiguaban una actividad solar, el mismo Sol distaba de ser inmutable como pretendía la tradición.

El problema de las manchas solares, las fases de Venus y el movimiento de la tierra fue discutido por Galileo en sus escritos "Discurso en torno a los cuerpos que están sobre el agua o que en ella se mueven" de mayo de 1612, seguido por una nueva edición en diciembre de ese año lo que muestra el gran interés suscitado y en "Historia y demostración en torno a las manchas solares" de 1613 en forma de cartas de respuesta al Sr. Markus Wesler, en ocasión de las misivas enviadas a éste por el

jesuita Christoph Scheiner. (Antes de que Galileo hubiera dado a conocer formalmente su hallazgo, aunque su intervención prioritaria era ampliamente conocida, este jesuita se había proclamado como primer y verdadero descubridor de las manchas solares). También, especialmente en las cartas al padre Benedetto Castelli, del 21 de diciembre de 1613, las dos cartas a Monseñor Piero Dini del 16 de febrero y 23 de marzo de 1615 y en la dirigida, sin fecha, pero inmediatamente posterior en ese mismo año a la Gran Duquesa de Toscana Cristina de Lorena, (la madre de los poderosos Médicis de Florencia), en las que enfatiza en los problemas teológicos además de los astronómicos. Estas misivas no eran estrictamente privadas y resultaban un mecanismo de ese entonces para divulgar opiniones y para recabar criterios de otros especialistas en pro o en contra. Se hacían de ellas muchas copias que podían circular por todo el país y por Europa, aunque luego del Siderius Nuncius, Galileo había abandonado el latín, idioma continental, a favor del italiano, que no todos los científicos europeos entendían. Esta correspondencia le representó una ventaja a la hora de la batalla que pronto lo envolvió, desatada por los partidarios de la tradición, ya que estas opiniones epistolares no constituían, todavía, letra impresa.

Pero sus adversarios resultaron difíciles de convencer. El sistema de Ptolomeo, aunque incorrecto, no era una inútil superchería. Explicaba los fenómenos celestes, trataba de salvar las apariencias como solía decirse. Porque para la concepción de un firmamento perfecto y regular había que dar cuenta, para el caso, del porqué las estaciones del año no lo dividían en cuatro partes totalmente simétricas o porqué la luminosidad de Venus o de Marte variaba con tanta frecuencia, lo que parecía indicar que su distancia también cambiaba. Y el sistema de Ptolomeo suplía, al parecer, las respuestas a estas supuestas irregularidades. Pero de una manera harto complicada. Tal vez por esto gustaba a los escolásticos eruditos, por su difícil comprensión. La nueva ciencia en cambio vendría a recomendar que entre teorías en disputa se acogiera como más plausible la más sencilla y directa. En total, el sistema de Ptolomeo ponía a girar 59 esferas cristalinas concéntricas, que a diario circundaban la tierra a velocidad inimaginable. Pero los movimientos de los planetas, para dar cuenta de las apariencias observables, obligaban a sostener que estos astros giraban en un círculo en torno a un punto, al que llamaban epiciclo, y que el centro de este epiciclo giraba a su vez en un segundo círculo mayor, al que llamaban deferente, en torno al centro de la tierra. O sea, una especie de girar diferido alrededor de la tierra. Y esta combinación de epiciclos y deferentes se repetía para cada planeta (denominación que a Platón disgustaba ya que en griego significa vagabundo, feo nombre para un ente divino). Copérnico, echando a andar su imaginación matemática y habida cuenta que en la misma antigüedad existían precedentes como el de Aristarco, intentó salvar las apariencias y explicar los

fenómenos observables a base de otro modelo y encontró que, matemáticamente, funcionaba. El modelo de los movimientos del universo no era seguro ni claro, para Copérnico; era preocupante, por ejemplo la increíble, inimaginable velocidad que se requería, según el antiguo modelo, para explicar la rotación diaria de la esfera cristalina de las estrellas fijas alrededor de la tierra inmóvil. Comenzó entonces, casi como un ejercicio de pensamiento, a considerar explicarlos moviendo la tierra y así propuso, teóricamente, que ésta y los planetas eran los que giraban alrededor del sol. El problema era que sacaba a la tierra de su inmovilidad y con esto contrariaba no sólo la astronomía sino algunos fundamentos capitales del saber antiguo así como al sentido común y Copérnico encontró que su propuesta a muchos se les hacía aborrecible puesto que ¿si la tierra daba vueltas, cómo es que no vivimos permanentemente mareados?

En el caso de Galileo, más de medio siglo después, muchos oponentes, simple y llanamente, se negaron a ver por el telescopio porque les daba dolor de cabeza; alguno, ya anciano, se defendió alegando que durante toda su vida había visto el universo de una cierta manera y que en su vejez no iba a ponerlo patas arriba por la culpa de aquel aparato o de un tal Ipernicus o como se llame, protestaba un viejo dominico. Galileo a veces con paciencia pero las más usando del debate sarcástico para el que estaba muy bien dotado, les recomendaba que era mejor no pensar que pensar torpemente, o los satirizaba como en este epitafio dirigido a uno de sus opositores: "ha muerto en Pisa el filósofo Libri, acérrimo impugnador de estas fruslerías mías, el cual no habiéndolas querido ver en la tierra, quizás las vea al irse al cielo". También les reclamaba que eran infieles a su propio maestro puesto que Aristóteles siempre había enseñado que todo conocimiento comenzaba a partir del testimonio de los sentidos y que se fundamentaba necesariamente en hechos empíricos, fruto de la observación. Aristóteles, el gran maestro por cierto, había entrado a Occidente de la mano de filósofos árabes, es decir paganos como Averroes y en su momento sus obras sufrieron también el ostracismo cuando una veintena de sus proposiciones fueron consideradas peligrosas de herejía, en la Universidad de París, en 1215; sin embargo la prohibición no funcionó y ante el poderoso sistema intelectual del filósofo griego el reto no fue desconocerlo sino cristianizarlo. Hasta convertirlo en máxima e indiscutible autoridad. Y es que del viejo sistema se desprendía un fuerte olor a paganismo politeísta al sostener la divinidad de los múltiples entes del cielo, y desde el mismo Aristóteles podría desprenderse el concepto no admitido de la eternidad de la materia. Pero por otro lado, el filósofo griego proveyó a Santo Tomás de Aquino con sólidos argumentos sobre la existencia de Dios al probar la necesidad de la existencia de un Primer Motor Inmóvil (o sea Dios, definía Aristóteles) para poner en marcha todos los movimientos del cielo y de la tierra. Ahora, Galileo los criticaba: los repetidores de

Aristóteles pretendían contrariar lo que sus ojos les ponían de manifiesto, contrariando al mismo maestro.

Sin embargo, el testimonio de los sentidos, aunque ayudado por la técnica, podía ser incierto, engañoso y Galileo lo sabía: su aparato podía producir imágenes distorsionadas por los mismos lentes ¿y si lo que se contemplaba: cráteres en la luna, manchas solares, provenía de defectos técnicos de su telescopio y no de la realidad objetiva? Cuando desde Florencia observó Saturno, entonces el planeta más alejado, su anteojo apenas le permitió vislumbrar el gran anillo y lo único que pudo apuntar fue que había contemplado en Saturno dos satélites y que era un planeta con tres cuerpos. Era el viejo problema sobre la confiabilidad en el testimonio de los sentidos que en Grecia ya había dividido a las escuelas de Platón, que extremaba la desconfianza en ellos y a la escuela de Aristóteles que tomaba ese testimonio como necesario punto de partida. Pero Galileo da un paso adelante: el anteojo servía para potenciar los sentidos más que para deformarlos, reclamando así, para el futuro, el papel de la tecnología como auxiliar y parte imprescindible de la investigación científica.

Los grandes viajes marítimos de los siglos XV y XVI, el nuevo mundo americano, habían obligado a cambiar la visión de la tierra hasta entonces conocida. A esa misma tierra, los astrónomos de los siglos XVI y XVII Copérnico, Kepler y Galileo la estaban a su vez colocando en un nuevo horizonte cósmico: La estaban privando de su inmovilidad y la habían lanzado a viajar con los otros planetas en torno al Sol. ¿Qué la tierra se mueve? ¿Quién lo dice, quién lo siente? Era difícil de creer, tanto en la calle como en las aulas universitarias.

Galileo y la Iglesia

Como un campeón librepensador se presentó a Galileo a partir del siglo XIX por científicos y filósofos positivistas o por políticos liberales. Se le ponía en paralelo con Giordano Bruno, el pensador que sustentó también el heliocentrismo y que por esa y otras tesis juzgadas heréticas había sido condenado, por la Inquisición, a la hoguera, en 1600: Bruno el ineludible, Galileo, humillado y torturado por los inquisidores en 1633 y obligado a retractarse de sus ideas, ambos en lucha abierta contra el oscurantismo religioso.

Actualmente la presentación no es tan simple. Los hombres de ciencia, en los siglos XVI y XVII no fueron, necesariamente, pensadores escépticos o ateos como muchos a partir del siglo XIX y hasta los tiempos actuales. Sir Isaac Newton profesó siempre una acendrada fe religiosa. Copérnico fue un sacerdote cumplidor de sus

deberes eclesiásticos. Kepler, (vida en paralelo con la de Galileo, nacido en 1571, muerto en 1630) que avanzó sobre los descubrimientos de Galileo con sus tres leyes para regular los movimientos celestes, en sus obras *Astronomia Nova* de 1609 y *Harmonia Mundi* de 1619, al establecer que las órbitas de los planetas en torno al sol eran elípticas y no circulares, con el sol en uno de los focos de la elíptica, además de creyente fue propenso a la fantasía y hasta a la superstición. Cuando Galileo se trasladó de Padua a Florencia, en 1610, pidió al Gran Duque le confiriese el rango de matemático y filósofo de la corte, obviando el de astrónomo, (pidió además que se le sustrajese de la pesada carga de dar clases para dedicarse sólo a la investigación). Y es que entonces, tarea normal del astrónomo era producir vaticinios y preparar horóscopos. Galileo rechazaba esos horóscopos aunque los hizo alguna vez por salir del paso, pero Kepler era un entusiasta de los mismos (su madre casi fue procesada por bruja por dedicarse a las artes adivinatorias) y tanto se dejó llevar Kepler por su fantasía que llegó a ver a Júpiter poblado por una raza de enanitos verdes o a los pobladores de la luna realizando proyectos urbanísticos. Fe, fantasía, hasta superstición se maridaban en estos ilustres científicos que distaron mucho de ser unos fríos racionalistas.

Galileo nunca quiso romper con la Iglesia. Y aún siendo bastante tibio en su piedad, como se refleja en su correspondencia, siempre fue un fiel seguidor de las enseñanzas cristianas. Pero sí quiso romper con Aristóteles. Pilar fundamental de la física de los griegos fue sostener la existencia de cuatro elementos como componentes de las cosas y estos eran fuego, aire, agua y tierra. Aristóteles consideró que el movimiento se producía en virtud de la esencia propia de cada sustancia: así era propio de la sustancia fuego, por su ligereza, ir hacia lo alto de la atmósfera, propio de la tierra, por su pesantez, ir hacia abajo. Que la tierra estuviese en el centro no fue en principio darle un lugar de privilegio sino situarla al fondo, donde le correspondía estar. Pero, experiencias de siglos en diversas culturas, contemplaban el firmamento girando de manera circular alrededor del observador plantado en tierra, tanto en los movimientos diarios como en los movimientos anuales que en diversos pueblos habían dado origen a los calendarios. E idea recurrente entre los pensadores griegos era la de que el movimiento circular, sin principio ni fin, era eterno o sea divino. Movimiento implicaba todo cambio, también el paso del nacimiento a la muerte y esto no acontecía en las esferas circulares de los eternos astros, en la que además existía una sustancia perfecta: la quintaesencia. Galileo había comenzado a contradecir a Aristóteles desde sus investigaciones de juventud, en Pisa, sobre la caída de los cuerpos, pero a raíz de sus descubrimientos astronómicos, al parecer hizo un paréntesis en sus investigaciones físicas sobre el movimiento para convertirse en propagandista de la nueva ciencia y de la nueva visión cosmológica, iniciada por Copérnico. El cúmulo de observaciones y de datos

era cada vez mayor y aportado por mentes muy lúcidas de Italia y Europa a favor de la teoría copernicana. Preocupaba a Galileo que estas evidencias en poco tiempo llegaran a ser tales que el movimiento de la tierra alrededor del sol fuera cuestión compartida por cualquier persona, leiga o erudita y entonces ¿cómo sería juzgada la Iglesia Católica, a la que tanto respetaba, si se mantenía acérrima defensora del viejo orden obsoleto? Sencillamente era el ridículo y la falta de credibilidad lo que le esperaba. Y por otra parte, ¿qué mejor impulso y soporte podría tener la nueva ciencia y la nueva visión del mundo, hasta obtener un universal consenso, si contaba con el apoyo de la Iglesia, suprema maestra de las conciencias?

Galileo Galilei, con su aureola de mensajero de las estrellas, armado con su innovador artilugio, viajó a Roma en 1611. Y le fue muy bien. Con su habitual puesta en escena, seductora y dramática, elevó los dos extremos mencionados ante la más alta jerarquía en el Vaticano: o el ridículo para la Iglesia o su incorporación al desarrollo de la ciencia. Entretuvo e ilustró a los académicos civiles y religiosos de Roma, en los jardines de sus palacios, mostrándoles las maravillas del cielo. Durante una de esas veladas, fue que el matemático de origen griego Giovanni Demisiani bautizó aquel aparato como telescopio, en la noche del 14 de abril de 1611. Ingresó el visitante florentino en la ya prestigiosa academia de los Linceos y quién mejor que él para adjudicarse el epíteto de ojos de lince, cuyos ojos habían penetrado más lejos en el cielo que los de todo mortal. Alternó con cardenales y obispos y con los profesores jesuitas, la orden más intelectual con que contaba la Iglesia, haciéndose de buenos amigos y de partidarios o al menos de respetuosos e interesados oyentes. No le fue mal con el poderoso Cardenal Roberto Bellarmino (hoy Santo Roberto Bellarmino, canonizado en 1930) el inquisidor, conocido como el martillo de los herejes, que había conducido a la hoguera a Giordano Bruno. Entabló una buena relación con el Papa Paulo V y una excelente amistad con el Cardenal Maffeo Barberini aficionado a la poesía y a la ciencia e, igual que él, originario de Florencia, cuya elección en 1623 como Papa Urbano VIII abrió grandes expectativas entre quienes como Galileo confiaban en el apoyo del Vaticano para el nuevo orden científico.

Regresaría a Roma en diciembre de 1615, pero para ese entonces, la atmósfera se había enrarecido en su contra y en contra de los que como él pensaban.

Cuestiones de teología

¿Sustentó Galileo la doctrina de la doble verdad? Este punto de vista venía siendo esgrimido desde fines de la Edad Media. Unas eran las verdades de la filosofía natural obtenidas con la luz de la razón y otras las verdades de la fe, manifestadas,

mediante revelación divina, contenidas en la Biblia. Esta tesis de dos rangos de verdades separadas no complacía a la Iglesia. Galileo no se apuntó a ella. Había una sola verdad y era fundamentalmente la verdad revelada. En esto, concedía Galileo, que la Biblia superaba a la ciencia. Pero el geocentrismo se había convertido, prácticamente, en artículo de fe porque estaba en la Biblia y una lectura literal del texto sagrado lo avalaba, sin discusión posible. La diferencia estaba en la forma de expresión. La verdad era una, pero expresada en un doble lenguaje. A muy pocas personas habría alcanzado la revelación, si Dios hubiera optado en la Biblia, fuente de la verdad divina, por el lenguaje de la ciencia con sus fórmulas matemáticas. Pero la Biblia había sido escrita en un lenguaje popular, asequible a todos mientras que el Gran Libro de la Naturaleza, creación divina, era asequible a quienes para descubrir sus leyes se pertrechaban con un método científico, experimental y racional, utilizando un lenguaje físico-matemático. Las verdades científicas que expresaban las leyes de la Naturaleza y la verdad revelada no se contradecían. Esto creía Galileo, en la no contradicción entre la fe y la razón, igual que muchos otros pensadores cristianos. Pero, con denuedo, reclamaba el espacio para los científicos, su autonomía de acción dentro de una búsqueda racional y metódica, no entreverada por dogmas citados fuera de contexto ni por criterios tomados de autoridades del pasado, aunque venerables como los de los Padres de la Iglesia. Introducir, por ejemplo, la idea de perfección (de los cielos) no era un recurso científico, era una concesión a la teología y ni siquiera a la teología cristiana. Si era un hecho comprobado por la ciencia el movimiento de la Tierra nadie podía cambiar ese hecho y hacer que no se moviera. Se le criticaría, años después, cuando fue juzgado, por haber incurrido en contradicción, (haberse metido a la sacristía, se le reclamó) puesto que para defender sus asertos científicos echó mano de argumentos teológicos provenientes de los Padres de la Iglesia, en especial, San Agustín.

¿Qué la Tierra se mueve y el Sol no? ¿Mentía la Biblia en aquel episodio cuando la toma de Jericó por Josué, cuando éste caudillo del pueblo elegido, con el fin de que le rindiera mejor el día y triunfar en la batalla, le había pedido a Jehová que detuviera el curso del sol hacia el ocaso y el todopoderoso Jehová atendió su ruego? ¿Acaso no era herejía contradecir a la Biblia que evidencia que había un Sol en movimiento y no quieto como Galileo afirmaba? Galileo abundó en argumentos, algunos de ellos de la tradición patristica para demostrar la correcta interpretación de éste y otros pasajes, otros del mismo sistema ptolemaico. Ptolomeo y Aristóteles proponían como causa primera y última de todo movimiento en los cielos a un Primer Motor Inmóvil. Dentro de dicho sistema, hubiera sido inútil y hubiera alterado todo el orden celestial detener al Sol, que era movido por dicho Primer Motor, el cual en buena lógica era quien debía ser detenido. Esto podría haberse visto como un atrevimiento

puesto que para Aristóteles el Primer Motor era Dios. Los intérpretes de la Biblia defensores de aquel sistema más bien tendrían que cuidarse porque podían dejar mal parados a ambos: a la Sagrada Escritura y a Ptolomeo. Pero la mezcla que hizo de diversos argumentos, unos mecánicos y matemáticos, otros teológicos, no le reportó, al final, mejores conclusiones.

Y es que realmente, se había metido en terreno vedado. Hacía un siglo, desde 1517, que la división se había apoderado de la Iglesia y de las conciencias y Europa se debatía y hasta se desangraba en guerras religiosas entre católicos y protestantes. Una de las tesis condenadas por la Iglesia contra Lutero, el iniciador de aquella ruptura, era el reclamo que éste hizo en el sentido de que cualquier cristiano, sin la intromisión de una jerarquía eclesiástica o de autoridades del pasado, podía leer e interpretar la Biblia. ¿Era esto lo que proponía Galileo? Nunca lo manifestó, y desde luego, nunca dio pie a que se le acusara de ello. Pero, entonces, ¿por qué tanto discurso interpretativo con ribetes teológicos por alguien que no era de ese campo? y ¿acaso no podría suceder con el tiempo que la autonomía que Galileo reclamaba para el análisis científico, apto para la naturaleza, se extendiera, peligrosamente y con el mismo afán crítico al terreno de las cuestiones humanas, morales y religiosas?

Galileo insiste: la autoridad bíblica recae sobre toda vida personal que busca su salvación; la autoridad de la ciencia sobre las leyes contenidas en el libro de la Naturaleza, obra del Creador, indagadas y descubiertas por la mente humana. Trae a colación a San Agustín cuando se preguntaba "¿cuál debe creerse que es la forma y figura del cielo?... Con brevedad hay que decir, sobre la forma del cielo, que nuestros escritores sagrados sabían la verdad, pero el Espíritu de Dios que hablaba por ellos, no ha querido enseñar a los hombres las cosas que no le servirán para la salvación". A su manera, había dado el mismo resumen el bibliotecario del Vaticano, el Cardenal Baronio, quien expresaba que la Biblia nos enseña a movernos hacia el cielo; la ciencia nos enseña cómo se mueven los cielos. Era una sola y única verdad a la que podía accederse por esos dos caminos. Pero, después de su exitoso viaje a Roma, en algunos púlpitos de su nativa Florencia, sacerdotes poco ilustrados y un tanto fanáticos comenzaron a denostar a Galileo y sus seguidores, e, incluso, a condenar en bloque a la matemática y a los matemáticos como engendros del demonio.

En 1616 la Iglesia resolvió juzgar la teoría copernicana. Galileo estaba en Roma. Más se valió la Iglesia de los argumentos de aquellos sacerdotes sin ilustración que de los proveídos por el sector más culto y de mentalidad más avanzada. El juicio fue desfavorable a Copérnico. Pero no totalmente desfavorable. Se concluyó que su

libro no era en bloque condenable, pero que precisaba de correcciones para poder circular sin peligro para las conciencias. Y que el modelo heliocéntrico tendría que ser considerado como una hipótesis teórica y no como una realidad objetiva, fáctica. Necesitado de correcciones se juzgó también el libro "Comentarios sobre Job" del español Diego de Zúñiga. Más dura fue la condena contra el fraile carmelita Paolo Foscarini, cuya obra sobre el nuevo sistema pitagórico del mundo en defensa de Copérnico fue prohibida. Es posible que al astrónomo Copérnico se le hubiera agradecido póstumamente su contribución notable a la reforma del calendario, adoptada en 1582 por el Papa Gregorio XIII y por su contribución para determinar la ocurrencia anual de la Pascua de Resurrección. El nombre de Galileo no se mencionó en este juicio. En parte, porque sus principales ideas al respecto no habían sido impresas y circulaban en forma de cartas privadas. Se hizo circular, con todo, la especie de que el florentino había sido reprendido duramente, en entrevista privada, por el cardenal Bellarmino. Pero Galileo consiguió que dicho Cardenal le extendiera un testimonio en el que se negaba esa reprensión. Bellarmino aclaró que tanto en la sesión del 26 de febrero en presencia del Comisario del Santo Oficio, de la cual se levantó Acta, como en la entrevista privada con Galileo, un mes después, el dicho Cardenal se había limitado a notificarle que la doctrina de Copérnico era contraria a las Sagradas Escrituras y que por lo tanto no se podía defender ni mantener. Serían, más adelante, cruciales para su proceso, las diferencias en algunos giros del lenguaje entre el acta de la sesión y el testimonio del Cardenal Bellarmino al que Galileo, de buena fe, siempre se atuvo. Sin embargo, había quedado advertido y con una mordaza en la boca para que dejara de propalar ideas que colindaban con la herejía.

Fracasó, pues, en esta primera confrontación, el plan de Galileo para atraer a favor de la nueva ciencia el apoyo de la Iglesia y del Vaticano; la Iglesia había optado en contra del avance científico que a su pesar, sin embargo se iría abriendo camino.

Galileo y la modernidad

El apelativo de "modernos" se le aplicó, al parecer y de primeros, en el siglo XIV, a todos los que se oponían a las enseñanzas de Aristóteles, entre ellos a los seguidores del filósofo Guillermo de Occam, a quienes se les denominaba "nominalistas". Según los aristotélico-tomistas existía una esencia universal real incorporada en cada conjunto de cosas que la compartían, así la de mesa en todas las mesas, la de estrella en todas las estrellas; para los nominalistas estas esencias universales eran nombres, solamente términos empleados para designar cosas con las mismas características. La no creencia en la existencia real de los universales enunciada por "los modernos" era un fuerte rechazo contra tesis fundamentales del

aristotelismo y empezaba a abrir brechas en la filosofía prevaleciente. Durante el Renacimiento, lo moderno se fue aplicando a todo lo nuevo, a lo que surgía y tómesese en cuenta la eclosión prodigiosa que en literatura y sobre todo en arte (pintura, escultura, arquitectura) se fue produciendo en esos siglos; moderno, pues, llegó a implicar innovación y ya se ha visto como don Vincenzo, el padre de Galileo, lo usó para titular su obra: Diálogos entre la antigua y la música moderna. Se le vinculó así mismo a un movimiento piadoso, llamado de la "devotio moderna", ligado al Concilio de Trento, que entre 1545 y 1566, le dio un nuevo rumbo a la Iglesia Católica, y que introdujo una forma de vida religiosa con mayor participación de los laicos, una devoción con frecuente oración y meditación personal y con una constante práctica sacramental: asistencia a misa incluso diaria, confesión y comunión al menos semanal; participación de los laicos, introspección y prácticas piadosas y sacramentales que no habían sido importantes en la Edad Media.

El filósofo español José Ortega y Gasset coloca a Galileo en el punto de iniciación de la edad moderna, como fondo y sustento de la actual civilización caracterizada por la ciencia y la técnica. Y con Galileo a otros como Francis Bacon y Descartes. Esta distinción no se refiere a que él y sus inmediatos coetáneos hubieran sido los primeros en el tiempo sino a que luego del despegue crítico que significó para la modernidad el Renacimiento, estos ya fueron modernos a plenitud y Galileo su portavoz (sirviendo en 1619 al ejército de Baviera, al calor de una estufa, inicia René Descartes sus meditaciones sobre el método, pero en 1633 se abstiene de publicar sus trabajos sobre física al enterarse de la condena contra Galileo, hasta que en 1637 aparece su Discurso del Método, pequeña obra que se considera la base de la filosofía moderna, seguida, en la misma publicación a la que sirve de prólogo, por La Dióptrica, Los Meteoros y La Geometría).

Repárese en la palabra "método". La controversia a favor o en contra de Copérnico pudo haberse resuelto teóricamente y en las aulas, en parte por la pretensión oficial de que se tomara como una hipótesis interesante pero alejada de la realidad y así, al igual que con los nominalistas de Occam, se habría mantenido como un diferendo escolástico. Pero estaba la cuestión del método. Cuando Galileo comienza a establecer y a exigir la autonomía de la ciencia frente a la teología lo hace reivindicando un método, una forma de trabajar propia e independiente que desvincula la ciencia del pensamiento teológico. Esta pretensión de libertad quizás más que el contenido de sus ideas, se juzgó del todo inconveniente y peligrosa.

Han transcurrido quince años. Galileo vive en Bellosguardo en las colinas próximas a Florencia. No está para nada distante del convento en que se albergan sus hijas. Lo visitan intelectuales de Europa, como el poeta inglés John Milton, autor de El

Paraiso Perdido. Mantiene viva correspondencia con los hombres de ciencia de todo el continente y lo rodean discípulos, uno de ellos Evangelista Torricelli, quien se destacaría con sus invenciones físicas como el barómetro de mercurio. Muchas de sus investigaciones datan de los tiempos de su juventud, ahora llegando a los setenta años, Galileo vuelve a ellas. Porque siempre trabajó de esa forma; avanzando, sorteando escollos, estudiando e investigando más, haciendo pausas a veces de varios años, experimentando, fiel a los principios de su método. Ahora lo tiene todo dispuesto para sentar las bases y trabajar en sus dos obras fundamentales de madurez: "Discurso y demostración matemática en torno a dos nuevas ciencias" y el "Diálogo sobre los Dos Máximos Sistemas del Mundo". Esta segunda es la que todos los partidarios de la nueva ciencia han estado esperando, la obra que a todos ellos debe Galileo.

En la época de entre-guerras, Ortega vislumbraba la crisis del Occidente "moderno" como crisis de aquella racionalidad y confianza en la razón que habían cimentado Galileo y Descartes, continuada por Newton, por los ilustrados del XVIII y los positivistas del XIX. Ortega veía y vivía esa crisis como la irrupción del irracionalismo, que en la vida política ya se manifestaba con la virulenta aparición del fascismo. Además, desde ese periodo entre-guerras como después de la II Guerra Mundial, la revitalización del sentimiento y prácticas religiosas a partir de diferentes credos ha venido, así mismo, a poner en jaque al racionalismo moderno. Dentro de este asalto a la razón, que cobra fuerza, y aunque según muchos proponen, ya la modernidad ha dado paso a una post-modernidad que la niega, la trascendencia del pensamiento de los tiempos modernos hacia el futuro se seguirá sustentando del desarrollo de la ciencia y de la tecnología aparejada a ella, como sus valores centrales. Avanzar en el esclarecimiento de la realidad natural o social, desentrañar sus secretos, de manera metódica, racional y sistemática, sin dogmatismos políticos o integrismos religiosos de ningún género, como aspiración central de la modernidad, sigue y se espera seguirá contando como una empresa de la mayor importancia en beneficio de la vida humana y de la misma vida de este planeta.

Eppur si muove

Cuando estábamos en la escuela, nos entreteníamos llenando álbumes de vistas; había uno de Historia Universal. Ni qué pensar que hoy en día, en una educación formal tan enflaquecida, estos temas se traten en las aulas o que se comercialicen entre los escolares. A veces se tenía que acudir a negocios en barrios alejados del propio para conseguir las vistas y se imponía el intercambio y hasta hacíamos juegos de apuestas para obtener las vistas que nos faltaban. Había una, con sabor bíblico, en letras rojas de sangre en la pared escrito "Mene Tequel Parsin"; otra "¡Ay

de los vencidos!" cuando los bárbaros triunfaron sobre el Imperio Romano. Y desde luego la que decía "Eppur si muove" con una imagen de Galileo encadenado y humillado por los jueces de la Inquisición.

Eppur si muove: Y sin embargo se mueve, frase, entre dientes, del Galileo torturado, aludiendo al movimiento de la tierra como un postrer pero definitivo acto de íntima rebelión ante sus jueces. La frase, sin embargo, no fue pronunciada en ese trance por Galileo, aunque talvez lo fuera pero en otras circunstancias. Su éxito se debió a que es un buen resumen del proceso que lo condenó y también a que la imaginación popular gusta del drama en situaciones extremas. Tortura física, azotes y otras infamias no llegó a haberla pero ¿qué mayor tortura que el confinamiento aunque fuera por pocos días, la angustia sufrida, el irrespeto hacia una persona de setenta años que nunca gozó de buena salud, aquejado por la artritis y por un progresivo debilitamiento de la vista? Añádase la tortura moral infringida a una personalidad asertiva, dispuesta al combate y además a un hombre reconocido como el científico más distinguido de Europa. El desengaño amargo, desesperante, porque Galileo pudo haberse preparado para alguna fuerte reprimenda eclesiástica pero nunca a que lo sometieran a una abyecta renuncia de sus convicciones científicas. No sin razón al regresar de su confinamiento, a la Embajada de Florencia en Roma, su amigo el embajador Francesco Niccolini anotó que venía más muerto que vivo.

Cuatro fueron las comparecencias del reo ante sus acusadores. En la primera, el 12 de abril de 1633, un tanto breve, se le puso en autos de su delito. ¿Había sido Galileo desleal a la promesa hecha, en 1616, al ya fallecido Cardenal Bellarmino, de nunca volver a tocar el tema del movimiento terrestre? Galileo se defendió trayendo a cuenta el testimonio o *affidávit* que el mismo Bellarmino le entregó después de la entrevista que sostuvieron, expresando que no había ido más allá de lo que en el mismo se contenía. Galileo no recordaba que se le hubiera advertido que no podía tocar el tema "de ningún modo" y esa frase aparentemente había sido añadida después (punto todavía en discusión entre los especialistas) al acta de la sesión del mes anterior a su entrevista con Bellarmino y por lo tanto, no figuraba en el *affidávit*. Esta discusión casi semántica habría de ser clave en el proceso. Sin embargo, había escrito y había publicado un libro en el que ampliamente se discutía sobre el sistema de Copérnico que, como era sabido, sostenía la inmovilidad del sol, en el centro, y la movilidad de la tierra. Esto, se le dijo a Galileo, lo había hecho a pesar de fuertes advertencias en contra y aquí no pudo menos que sentirse transitar por blando terreno porque como científico buscador de la verdad manifestada por la naturaleza, no podía permanecer callado frente a las evidencias que surgían en apoyo de esas nuevas ideas y so pena de parecer desleal, aunque insistía en no

haberlo sido, menos quería que se le motejara de irresponsable. Galileo no había ocultado entre sus amigos, su disgusto por el compromiso de 1616: no toleraba que se le hicieran "correcciones" a Copérnico: o se condena todo o se le deja como está, sin alterarlo, alegaba y añadía que para prohibir a Copérnico había que prohibir que los seres humanos mirasen el cielo. Puntualizó a su favor, ante sus jueces, que pudiendo haber publicado el texto en Venecia, Francia o Alemania, pues ofrecimientos no le faltaron, lo sometió a la censura romana y se lo había enviado al director de la misma, el padre dominico Nicolás Riccardi. Esta máxima autoridad, que posiblemente lo había hecho del conocimiento del Pontífice, le había dado su visto bueno, el nihil obstat, recomendándole que en el prólogo insistiera en el carácter hipotético de la doctrina de Copérnico, como mandaba la Iglesia, sin admitir la realidad de aquel sistema.

Sucedió que una virulenta peste bubónica asoló entonces Italia y las ciudades quedaron aisladas por rígidas cuarentenas, no pudiendo hacer llegar Galileo a Roma el ejemplar destinado a la imprenta, obligándose a imprimirlo en Florencia adonde su texto fue nuevamente examinado por los censores de la Inquisición sin que se le hicieran más que algunas correcciones de forma y no de fondo. Entre los censores, la peste y la lentitud para editar mil ejemplares se fueron, sin embargo, tres años y el texto del Diálogo sobre los Dos Máximos Sistemas del Mundo, prácticamente terminado en la navidad de 1629 se puso a la venta hasta en 1632. Esta espera probó ser muy perjudicial para la causa de Galileo puesto que en este lapso perdió nada menos que el apoyo del Papa.

Galileo permaneció confinado en las habitaciones del Fiscal del Santo Oficio hasta la segunda comparecencia, el 30 de abril. Expertos jesuitas, en parte instigados desde afuera por rivales de Galileo como el padre Scheiner, que le había objetado la primacía del descubrimiento de las manchas solares, habían vuelto a examinar su obra y por unanimidad, la condenaron. Galileo nunca entendió la animadversión de los jesuitas en su contra, luego que anteriormente muchos de ellos le habían profesado simpatía a sus ideas; de algunos hasta se decía que profesaban, secretamente, la teoría copernicana. Galileo no sabía que estaba comprando un pleito ajeno entre jesuitas y dominicos, y que los primeros disparaban contra el dominico Riccardi para desprestigiarlo y lo acusaban, porque había interpretado mal el libro de Galileo autorizándolo, imperdonable error en todo un censor como era él o que había sido engañado por Galileo quien le había ocultado y mentido sobre el acuerdo que tenía con el Cardenal Bellarmino, lo cual desde la posición propia del censor era también inexcusable. Los jesuitas, frente a los dominicos, aparecían como los verdaderos intérpretes de la fe y le hacían ver a Galileo que mejor le hubiera ido si se hubiera puesto bajo su protección. En esta segunda

comparecencia, sus acusadores comenzaron a levantar el estigma de herejía añadido al de evidente desobediencia a la jerarquía eclesiástica y sus preceptos.

Antes, en septiembre de 1632, desdiciéndose del fallo del censor, la Inquisición romana había prohibido la circulación del libro y ordenado su requisición, acción que no pudo llevarse a cabo porque se encontraron que en Florencia toda la edición ya se había vendido. Esta proscripción sirvió más bien para acelerar la circulación del libro, atraer la curiosidad hacia su contenido para enfado de los inquisidores que hasta inculparon a Galileo de mala fe porque al haberlo escrito en italiano lo ponía a disposición de personas incultas, incapaces de entenderlo ni de juzgar sanamente su temática. Fue así que en diciembre se le requirió viajar a Roma de inmediato, o ser traído preso; Galileo, invocando su permanente mala salud, se había puesto en camino hasta finales de enero y llegó el 13 de febrero a Roma, adonde esperó dos meses en la Embajada de Florencia, para esas primeras comparecencias de abril, haciéndose todavía ilusiones.

Al final de la segunda comparecencia y en la tercera, del 10 de mayo, en la que los jueces le solicitaron poner su causa por escrito, la defensa de Galileo fue ingenua. Bastaba para él con leer el título completo del libro: "Diálogo de Galileo Galilei, linceano, matemático extraordinario del Estudio de Pisa, y primer filósofo y matemático del Serenísimo Gran Duque de Toscana, donde en las conversaciones de cuatro jornadas se discurre sobre Los Dos Máximos Sistemas del Mundo, ptolemaico y copernicano, proponiendo de modo neutral, las razones filosóficas y naturales de una como de otra parte". Este título daba a entender que se había realizado en el libro un balance entre los dos sistemas, y que de su lectura, según su autor, debía traslucirse que se inclinaba hacia la doctrina tradicional y que para la de Copérnico no aportaba pruebas concluyentes. Pero era todo lo contrario y no se necesitaba ser un avisado lector - siendo sus jueces más que avisados- para percatarse de que el libro era una paladina defensa del modelo copernicano.

Al final de la segunda comparecencia, Galileo, siguiendo consejos de sus amistades, decidió manifestarse arrepentido. Confesó que a la distancia de varios años, había releído su obra y había encontrado haberse dejado llevar por un malsano entusiasmo dialéctico en muchos de sus pasajes y debido a ello haber caído en afirmaciones contradictorias y hasta inconvenientes a la hora de sostener el movimiento de la tierra y la inmovilidad del sol. Pero que siendo fiel a su religión y sin pensar en sobrepasar las enseñanzas y la autoridad de la Iglesia, pedía perdón por esos yerros que podían ser enmendados o suprimidos de su libro, tal cual había ocurrido con la obra de Copérnico, a partir del fallo de 1616. Propuso incluso añadir una quinta jornada favorable a la enseñanza tradicional. Luego, al finalizar su

resumen escrito, del 10 de mayo, pidió clemencia a sus jueces. Algunos de ellos, en especial el Cardenal Francesco Barberini, sobrino del Papa, fueron del parecer que con esta contrición de Galileo podía darse el juicio por finalizado. Desde su lejano convento, la fiel sor María Celeste podía sentirse aliviada.

Galileo había comenzado a sentir en carne viva y contrario a sus mejores esperanzas, el rigor con el que pensaban someterlo. Había arriesgado tanto porque su ilusión había sido, vana ilusión, convencer y atraer a la Iglesia hacia la nueva ciencia y el nuevo sistema del mundo, aprovechando la ocasión para hacer una irrefutable defensa científica de ese nuevo sistema. Pero nunca se trató de eso ni se llevaron las cosas a ese terreno; como fantasmas el contenido exacto de su acuerdo con Bellarmino y la condena, aunque no terminante, contra Copérnico de 1616 gravitaron decisivamente sobre el proceso y no la cuestión relacionada con los sistemas astronómicos en pugna. Y sus jueces estaban interesados en avanzar un punto: a más de desleal al compromiso establecido, al sostener todavía el sistema de Copérnico, Galileo se hacía fuertemente sospechoso de herejía. Deprimido frente al muro que encontró, Galileo pidió clemencia, para al menos salvarse de ser tenido como hereje, lo cual era una conclusión terrible para su conciencia de cristiano.

Pero en eso, el Papa Urbano VIII retornó de sus vacaciones en Castel Gandolfo y volvía muy alterado. En el reciente pasado, ninguno de sus problemas se había solucionado satisfactoriamente. De por sí, la muy ingrata peste bubónica le había conturbado el ánimo. Existían preocupantes situaciones políticas: al interior de Italia, el Vaticano y Florencia habían disputado por la sucesión y control del pequeño ducado de Urbino. Era un bocado menor pero el Pontífice y los Médicis se jugaban su prestigio y aunque Galileo no intervenía en política era un reconocido hijo de Florencia. Peor era la coyuntura en política internacional: de un altercado en Praga, que databa de 1618, entre católicos y protestantes alemanes, la situación de guerra (que luego sería denominada por los historiadores "la de los treinta años") involucraba ya a todas las potencias europeas e incluso por encima de cuestiones religiosas pues monarquías católicas como España y Francia eran rivales. El Papa se inclinaba hacia los franceses (Florencia hacia los españoles). Desde España, en respuesta, se había lanzado una fuerte crítica contra el Pontífice acusándolo de ser un pobre defensor del catolicismo y de ser hasta pusilánime en su ataque a los protestantes europeos. En 1632, una embajada de dignatarios españoles y delegados papales, en el Vaticano, tuvieron que ser separados por la Guardia Suiza, debido a un violento altercado. El asunto de Galileo no era político pero quedó inmerso en esta coyuntura puesto que ¿qué vendría a decirse de un Papa como defensor de la fe si se mostraba débil y comprensivo contra un científico rebelde, que

escribía sobre temas prohibidos expresamente, sólo porque se trataba de un antiguo amigo y de un personaje de muy crecida fama? No quería el Papa abonar la propaganda española en su contra. Pero lo más insidioso del asunto y que le causaría la peor alteración contra Galileo fue que se le comparase con Simplicio el actor menos notable del Diálogo. Simplicio era un personaje que Galileo presentó en varios de sus diálogos como la voz cantante a favor de las ideas tradicionales. Simplicio podía equivaler a simplón, a irreflexivo seguidor y mecánico repetidor de lo que siempre habían enseñado otros, sin asomo de actitud crítica. Y los enemigos de Galileo al parecer lograron convencer al Papa que su otrora amigo lo había personificado en ese simplón, haciendo de las ideas de su Santidad una caricatura. Entre este resentimiento personal y el hecho de que en la alta política entre las naciones, Galileo quedaba como un peón sacrificable, la clemencia solicitada no se produjo.

La cuarta comparecencia, la del 21 de junio, era para hacer un examen final del proceso y preparar la sentencia, para el siguiente día. Galileo entró con la túnica blanca de los penitentes, se le puso de rodillas y con su mano derecha sobre el Evangelio. Entre la segunda y la tercera sesión había permanecido, de nuevo, en la Embajada florentina; pero entre la tercera y la cuarta, más de un mes, lo habían retenido en las celdas de la Inquisición. Se llegó a hablar de cárcel infamante, torturas físicas, confinamiento de por vida. Al final, Galileo, totalmente abatido, sí llegó a expresar una frase de orgulloso desdén ante sus jueces y ¡hagan lo que les plazca! les manifestó. Su libro fue condenado, se le sentenció a prisión, a una serie de penitencias de piedad y oración y se le presentó para firma un texto de abjuración pública. Galileo, conocida su sentencia, firmó el día 22 de junio de 1633, una humillación extrema, porque se le obligaba a desdecirse y renunciar a sus ideas y a sostener que renegaba de ellas, las maldecía y las detestaba y que inmediatamente denunciaría a todo aquel que las sostuviera. De los diez jueces, tres se abstuvieron de votar. Sus amistades habían logrado ya una vez que se le mantuviera recluido en la Embajada de Florencia y no en una celda, dispensa que nuevamente obtuvieron. Más muerto que vivo lo recibió el embajador al verlo llegar la primera vez, ¡cómo lo habría visto de deprimido y agotado esta segunda!; meses después, todavía, el viejo Galileo se despertaba por las noches llorando y aún gritando de rabia e impotencia.

Hacia la libertad

Una libertad condicional. La animadversión papal no se detuvo allí. Pasaron meses antes de que se le permitiese dejar la Embajada y partir hacia Florencia. El Papa intrigó ante el nuevo y débil Duque de Toscana y consiguió se le suspendieran los

emolumentos destinados a la manutención de Galileo en la embajada, mezquina resolución que el embajador florentino y su esposa no atendieron. Aún así, se le asignó un arredo a medio camino, bajo la tutela del Arzobispo de Siena. Pero el Arzobispo de Siena, Monseñor Ascanio Piccolomini, era un ferviente admirador de Galileo y gracias a sus cuidados comenzó a reponerse física y psicológicamente. A medida que su salud mejoraba, el Arzobispo le organizaba cenas y veladas con personas ilustradas conocedoras de sus trabajos. La correspondencia con su hija se regularizó y siendo él mismo un académico gustaba el Arzobispo de discutir con Galileo problemas sobre el movimiento de los cuerpos. Fue así como logró el interés y la diligencia de Galileo para reiniciar la redacción de su otra obra de madurez *Discorsi e dimostrazioni matematiche in torno a due nuove scienze*, publicada en 1638.

En su *Diálogo*, Galileo consolidó la moderna astronomía; los *Discorsi* se consideran la base de la física moderna. Dos principios fundamentales se le acreditan como iniciador a Galileo: la ley de inercia y la ley del movimiento uniformemente acelerado. Le correspondería, años después, a Isaac Newton formalizar y formular matemáticamente estas leyes esbozadas por Galileo. (Primera Ley: un objeto en reposo permanecerá en reposo o moviéndose con velocidad constante en línea recta continuará moviéndose de esta manera a menos que una fuerza externa actúe sobre él; Segunda Ley: la aceleración de un cuerpo es directamente proporcional a la fuerza neta que actúa sobre él e inversamente proporcional a su masa). De los antiguos, su inspiración proviene más de Arquímedes que de Aristóteles pero como este último considera también que el movimiento es el tema central de los estudios físicos y como aquél podía afirmar: ignorar el movimiento es ignorar la naturaleza. El aporte decisivo de Galileo para provocar el cambio fue que sacó la física de consideraciones sobre la esencia o naturaleza de las cosas en relación con las causas del movimiento (temas metafísicos propios del aristotelismo) y trasladó la indagación hacia elementos cuantificables como tiempo, distancia y aceleración. La expresión cuantificable de estos elementos necesitaba de la matemática y esto en sí ya significó un nuevo paradigma científico.

Como otros muchos transformadores del saber, Galileo nunca produjo un tratado didáctico sobre su método. Se considera que las principales alusiones se contienen en el libro que denominó *Il Saggiatore* (El Ensayador) de 1623, que fuera su regalo al Cardenal Barberini cuando lo eligieron Papa. De nuevo se contiene aquí la crítica contra los que tratan de probar con el auxilio de un testigo (autoridad) lo que puede ser visto mediante un experimento. La novedad metodológica no sólo está en la reivindicación de la experiencia sino en la introducción del experimento. El método de Galileo no puede desprenderse de su quehacer y lo había comenzado joven, en

Pisa y Padua y en su madurez vuelve a resumirlo: para averiguar el secreto de la aceleración del movimiento, Galileo se construyó un plano inclinado, por el que echaba a rodar pequeñas bolas de bronce, teniendo necesidad de añadir ingeniosos instrumentos para poder ir midiendo su desplazamiento ya que se carecía entonces de cronómetros. O sea, el investigador produce su experimento, crea las condiciones ideales para que se reproduzca el fenómeno natural con el objeto de analizarlo y explicarlo, no en términos filosóficos sino cuantificables, expresados matemáticamente. Esto fue decisivo para el desarrollo de la ciencia, tal como se ha venido entendiendo e implicó la transformación del taller del artesano en el laboratorio del científico.

Por fin el Papa, para sacarlo de su favorable exilio en Siena, consintió en que se fuera para otra villa que sus familiares le habían alquilado en Arcetri, siempre en la vecindad del convento de sus hijas, pero con medidas más rigurosas de aislamiento y con la casa por cárcel. El año de su regreso -1634- le trajo, sin embargo, una profunda amargura, al morir su hija sor María Celeste. Compartimos esa amargura y aún otra porque sus cartas de respuesta a las de su querida hija, aunque buscadas afanosamente, no se conservan. Que existieron se infiere de la frecuencia con que María Celeste le escribe que no se cansa de leerlas y que las guarda con amor. Se cree que la buena de la madre abadesa una vez muerta la hija de Galileo las quemó, sea por extremar la regla de la pobreza en lo de no dejar en este mundo ningún bien material, sea por el temor a mantener en el convento los escritos de un presunto hereje. Su última obra, los Discorsi, aparecida en 1638 ya no pudo leerla, puesto que entre el verano y el invierno del año anterior, 1637, la ceguera apagó la visión de sus ojos de lince. La rigurosidad y crueldad de su confinamiento se fue mitigando y así se le permitía la visita de Benedetto Castelli, su discípulo de toda la vida, y también la presencia a su lado de un auxiliar – el joven Vincenzo Viviani- que después escribiría su biografía y hasta la de su propio hijo Vincenzo además de la de Evangelista Torricelli; fueron estos tres los que estuvieron con él a la hora de su muerte, el ocho de enero de 1642.

El triunfo de Galileo

Eppur si muove. Frase no pronunciada frente a sus inquisidores pero vertida quizás ante algún auditorio amigable en Siena. Sin embargo se mueve. Como Galileo lo había previsto, el método experimental de la ciencia moderna triunfó sobre el dogmatismo de la Iglesia. Fue su victoria y tuvo toda la razón del mundo cuando afirmó que la ciencia misma no puede más que avanzar. Y su avance en cuatro siglos ha sido vertiginoso. El sistema de los cielos introducido por Copérnico y defendido por Galileo triunfó sobre el sistema de los cielos sostenido por Ptolomeo,

Aristóteles y la Iglesia Católica. La traducción al latín del Diálogo prohibido, para que circulara por toda Europa, la publicó Mathias Bernegger, austriaco, en Estrasburgo, tres años después, en 1635, luego que un ejemplar fuera sacado clandestinamente de Italia; en tanto que en el mercado negro, en Italia, las copias se vendían a elevados precios, habiendo aumentado del inicial medio escudo a cuatro y seis escudos debido a la demanda. La propia Iglesia contribuyó a hacerle propaganda, ya que siendo pública su abjuración debió ser leída en todas las iglesias católicas, levantando, sobre todo fuera de Italia, más rechazo que aceptación y mucha indignación en los sectores cultos. Una consecuencia del proceso contra Galileo, repudiado en Europa, fue el blindaje del Vaticano, cabeza del catolicismo, contra el progreso de la ciencia y el desplazamiento hacia los países del norte, del futuro avance científico en desmedro de Italia, antes fuente de la transformación cultural e intelectual durante el Renacimiento.

En la edición del Index de los libros prohibidos por la Iglesia de Roma, de 1664, se incorporó la obra condenada de Galileo. El Vaticano fue deshaciendo a cuenta gotas el grave error cometido. El Diálogo sobre los Dos Sistemas permaneció en el Index hasta su edición de 1835, aunque ya en el siglo XVIII la Iglesia enseñaba y prácticamente reconocía la doctrina de Copérnico y había suspendido la prohibición contra ella en 1822. En 1966, dentro del ambiente regenerador del Concilio Vaticano II, al Index de los libros prohibidos le tocó el turno de ser a su vez prohibido. Y luego, en un tardío arrepentimiento y con afán de reconciliar ciencia moderna y religión, el Papa Juan Pablo II nombró en 1982 una comisión para reabrir el proceso contra Galileo, como si Galileo por ser quien fue o la ciencia moderna para justificar su avance, necesitaran de alguna rehabilitación, que al fin se dio, por parte de la Iglesia en 1992 cuando exoneró a Galileo y lo consideró inocente víctima de aquel lastimoso episodio.

La ciencia moderna se edificó sobre la base metodológica construida, sobre todo, por Galileo Galilei. Hace cuatrocientos años apuntó su telescopio al cielo. Maestro de astrónomos no le gustaba este título porque conllevaba entonces la tarea de confeccionar horóscopos. Pero esa tarea sí gustaba al otro gran coetáneo y edificador de la ciencia moderna Johannes Kepler. Bien podría haber confeccionado Kepler (desde ultratumba porque se había muerto en 1630) un horóscopo sobre la marcha del reloj del mundo, la que en sucesivas generaciones, va marcando el movimiento irresistible del progreso científico, a partir de estos datos: Año de 1642, 8 de enero, muere en Arcetri, Galileo Galilei, fundador de la ciencia moderna. Año de 1642, ese mismo año, el círculo se cierra pero deja un resquicio para que se colmen las esperanzas, 25 de diciembre, nace en Londres Isaac Newton el gran sistematizador de esa ciencia.

II. TEXTOS DE GALILEO

"Grande cosa es sin duda añadir a la numerosa multitud de las estrellas fijas que hasta nuestros días se han podido observar con la facultad natural, otras innumerables nunca vistas con anterioridad, exponiéndolas patentemente ante los ojos en un número más de diez veces superior al de las antiguas ya conocidas.

Bellísima cosa es, y sobremanera agradable a la vista, poder contemplar el cuerpo lunar, apartado de nosotros casi sesenta diámetros terrestres, tan próximo como si se hallase tan sólo a dos de tales medidas, de manera que su diámetro aparezca casi treinta veces mayor, la superficie casi novecientas y el volumen, por tanto, aproximadamente veintisiete mil veces mayor que cuando se observa a simple vista. Gracias a ello, cualquiera puede saber con la certeza de los sentidos que la Luna no se halla cubierta por una superficie lisa y pulida, sino áspera y desigual, y que, a la manera de la faz de la Tierra, hállase recubierta por doquier de ingentes prominencias, profundas oquedades y anfractuosidades.

Otrosí, haber puesto fin a las disputas atinentes a la Galaxia o Vía Láctea, descubriendo a los sentidos y no ya al intelecto su esencia, no creo que haya de tenerse por cosa baladí. Asimismo bellísimo y grato será demostrar ostensiblemente que la naturaleza de aquellas estrellas que hasta el presente los astrónomos han denominado Nebulosas es muy otra de lo que hasta ahora se ha pensado.

Más lo que supera con mucho todo lo imaginable, y que principalmente nos ha movido a llamar a la vez la atención de astrónomos y filósofos, es precisamente haber descubierto cuatro estrellas errantes que nadie antes que nosotros ha conocido ni observado, las cuales, a semejanza de Venus y Mercurio en torno al Sol, presentan sus propios períodos en torno a una estrella insigne que se cuenta entre las conocidas, ora precediéndola, ora siguiéndola, no alejándose jamás de ella fuera de ciertos límites. Cosas todas ellas por mí observadas y descubiertas no ha muchos días, mediante un anteojo de mi invención, previamente iluminado por la divina gracia"

"Ciertamente, nunca nadie las observó antes que nosotros, por lo que de las tantas veces repetida inspección de las mismas hemos derivado la opinión, que tenemos por firme, de que la superficie de la Luna y de los demás cuerpos celestes no es de hecho lisa, uniforme y de esfericidad exactísima, tal y como ha enseñado de ésta y de otros cuerpos celestes una numerosa cohorte de filósofos, sino que, por el contrario, es desigual, escabrosa y llena de cavidades y prominencias, no de otro

modo que la propia faz de la Tierra, que presenta aquí y allá las crestas de las montañas y los abismos de los valles. He aquí las apariencias a partir de las cuales he podido inferir tales cosas.

Al cuarto o quinto día tras la conjunción, cuando la Luna se nos muestra con los resplandecientes cuernos, ya el límite que divide la parte oscura de la luminosa no se extiende uniformemente según una línea oval, tal y como habría de ocurrir en un sólido perfectamente esférico, sino que se halla trazado por una línea desigual, áspera y notablemente sinuosa, tal y como muestra la figura adjunta"

"Lo que en tercer lugar observamos fue la naturaleza o sustancia de la propia VÍA LÁCTEA, que pudimos examinar con los sentidos gracias al anteojo, dirimiendo así con la certeza que dan los ojos todos los altercados que han atormentado durante tantos siglos a los filósofos y liberándonos de las disputas verbales. La GALAXIA no es, pues, otra cosa que un conglomerado de innumerables estrellas reunidas en montón. Hacia cualquier región que se dirija el anteojo, inmediatamente se presenta a la vista una ingente cantidad de estrellas, muchas de las cuales aparecen bastante grandes y conspicuas, si bien resulta completamente inexplorable el número de las pequeñas"

"Además (lo que más aún te habrá de asombrar), las estrellas que hasta este día han denominado todos los astrónomos NEBULOSAS son cúmulos de estrellitas admirablemente esparcidas; por la mezcla de cuyos rayos, al escapar del alcance de la vista por su pequeñez o gran alejamiento de nosotros, surge aquella blancura que hasta ahora se había tomado por una parte más densa del cielo capaz de reflejar los rayos del Sol o las estrellas. Observamos algunas, decidiendo adjuntar las constelaciones de dos de ellas.

En la primera tienes la NEBULOSA denominada Cabeza de Orión, en la que contamos veintiuna estrellas"

"Éstas son las observaciones de los cuatro Planetas Mediceos por mí descubiertos recientemente por vez primera, mediante las cuales, por más que sus períodos aún no se puedan conocer numéricamente, es posible al menos señalar observaciones dignas de consideración. En primer lugar, puesto que unas veces siguen y otras preceden a Júpiter con intervalos similares, alejándose de él ora hacia el orto, ora hacia el ocaso tan sólo con desviaciones pequeñísimas y acompañándolo no sólo en su movimiento directo, sino también en el retrógrado, para nadie puede ofrecer duda que realizan sus revoluciones en torno a él, al tiempo que todos a una cumplen sus períodos de doce años en torno al centro del mundo. Giran además en círculos

desiguales, cosa que deriva manifiestamente del hecho de que, en los mayores alejamientos respecto a Júpiter, nunca se pueden ver dos planetas juntos, siendo así que cerca de Júpiter se pueden hallar concentrados a la vez dos, tres, e incluso todos. Despréndese también que son más veloces los giros de los planetas que describen círculos más estrechos en torno a Júpiter, pues las estrellas más próximas a Júpiter se ven más a menudo al oriente después de haber aparecido a occidente el día anterior y viceversa.

Tenemos además un argumento notable y óptimo para eliminar los escrúpulos de quienes, aceptando con ecuanimidad el giro de los planetas en torno al Sol según el sistema copernicano, se sienten con todo turbados por el movimiento de la sola Luna en torno a la Tierra, al tiempo que ambas trazan una órbita anual en torno al Sol, hasta el punto de considerar que se debe rechazar por imposible esta ordenación del universo. En efecto, ahora tenemos no ya un planeta girando en torno a otro al tiempo que ambos recorren una gran órbita en torno al sol, sino ciertamente cuatro estrellas que, como la Luna alrededor de la Tierra, nuestros sentidos nos ofrecen errando en torno a Júpiter, a la vez que todos ellos recorren junto con Júpiter una gran órbita en torno al Sol en el lapso de doce años”

(Siderius Nuncius)

“Yo más bien creo que la autoridad de las Sagradas Escrituras haya tenido solamente la intención de enseñar a los hombres aquellos artículos y proposiciones que, siendo necesarios para su salvación y superando toda reflexión humana, no podían hacerse creíbles por otra ciencia ni por otro medio, a no ser por boca del Espíritu Santo. Pero que aquel mismo Dios que nos ha dotado de sentidos, de razonamiento y de inteligencia, haya querido, posponiendo el uso de éstos, darnos por otro medio los conocimientos que podíamos conseguir por aquellos, no pienso que sea necesario creerlo, y, sobre todo, a propósito de aquellas ciencias a las que se refiere la Escritura sólo en una mínima parte y de forma dispersa; éste es precisamente el caso de la astronomía, de la que se habla tan poco, que no se encuentran ni siquiera nombrados los planetas. Pero si los primeros escritores sagrados hubiesen tenido la intención de enseñar al pueblo las disposiciones y movimientos de los cuerpos celestes, no habrían tratado tan poco de ellos, que es como nada en comparación de las infinitas, profundísimas y admirables enseñanzas que en tal ciencia se contienen”

(Carta a D. Benedetto Castelli)

“El motivo, pues, que ellos aducen para condenar la teoría del movimiento de la Tierra, y la inmovilidad del Sol, es que, leyéndose en las Sagradas Escrituras en muchos pasajes que el Sol se mueve y que la Tierra está quieta, no pudiendo jamás

la Escritura mentir o equivocarse, necesariamente se sigue que es errónea y condenable la proposición de quien quiera afirmar que el Sol es por sí mismo inmóvil y móvil la Tierra.

Sobre este razonamiento me parece ante todo digno de tenerse en cuenta, que está santísimamente dicho y prudentemente establecido que no puede jamás mentir la Sagrada Escritura, siempre que se haya comprendido su verdadero espíritu, el cual no creo que pueda negarse que está muchas veces oculto y que es muy distinto de lo que dice el puro significado de las palabras. De lo que se sigue, que si alguna vez alguno, al interpretarla, quisiese atenerse siempre al estricto sentido literal, podría, equivocándose en eso, hacer aparecer en las Escrituras no sólo contradicciones y proposiciones alejadas de la verdad, sino graves herejías e incluso blasfemias, pues sería necesario atribuir a Dios pies, manos y ojos y también, sentimientos corporales y humanos, como de ira, de arrepentimiento, de odio y también alguna vez el olvido de las cosas pasadas y la ignorancia de las futuras."

"Pero incluso también cuando en pasajes de la Escritura, encontremos proposiciones naturales interpretadas de forma unánime en el mismo sentido por todos los Padres, se fuese a tomar la resolución de condenarlas o admitirlas, no veo, no obstante, que esta regla tuviese aplicación en nuestro caso, puesto que sobre los mismos pasajes se leen en los Padres diversas interpretaciones, diciendo Dionisio Areopagita que no fue el Sol, sino el primer motor el que se paró; lo mismo piensa San Agustín, esto es, que se pararon todos los cuerpos celestes; de la misma opinión es el Abulense. Pero además, entre los autores hebreos, a los que alaba Josefo, algunos han creído que verdaderamente el Sol no se paró, sino que pareció así por la brevedad del tiempo en el que los israelitas derrotaron a sus enemigos".

"Si para suprimir del mundo esta opinión y doctrina bastase con cerrar la boca a uno solo, como tal vez se creen aquellos que, midiendo los juicios de los demás con el suyo propio les parece imposible que tal opinión pueda permanecer y encontrar seguidores, eso sería facilísimo el hacerlo. Pero las cosas son de muy distinta forma, porque para llevar a cabo una tal decisión sería necesario prohibir no sólo el libro de Copérnico y los escritos de sus seguidores, sino que sería necesario prohibir por completo toda la ciencia de la astronomía e incluso más, prohibir a los hombres mirar hacia el cielo, de forma que no viesen Marte y Venus ahora muy cercanos a la Tierra, después muy alejados, con tanta diferencia que ésta se divisa 40 veces y aquél 60 veces mayor una vez que la otra; y de forma que la misma Venus no se divisase ahora redonda, después falciforme con sutilísimos cuernos, y muchas otras observaciones sensibles que de ninguna forma se pueden adaptar al sistema ptolemaico, pero son muy sólidos argumentos del copernicano. Pero prohibir a

Copérnico, ahora que debido a un gran número de nuevas observaciones y a la atención prestada a la lectura del mismo por parte de muchos sabios, se va de día en día descubriendo más verdadera su posición y firme su doctrina, habiendo sido aceptado durante tantos años mientras era menos seguido y estaba menos justificado, me parecería, a mi entender, un ir contra la verdad, y tratar cuanto más de ocultarla y suprimirla cuanto más evidente y clara se muestra”

(Carta a la señora Cristina de Lorena, Gran Duquesa de Toscana)

“Es verdad que no es lo mismo demostrar que con el movimiento de la Tierra y la inmovilidad del Sol se salvan las apariencias que el demostrar que tales hipótesis son realmente verdaderas en la naturaleza; pero es igualmente correcto y más verdadero que con el otro sistema comúnmente aceptado no se puede dar razón de tales apariencias. Aquél es incuestionablemente falso, de la misma forma que es claro que éste, que se ajusta muy bien, puede ser verdadero. No se puede o se debe buscar otra verdad mayor en una posición que el dar respuesta a todas las particulares apariencias”

(Apuntes previos al proceso de 1616)

“Pero en cuanto a Copérnico, él a mi modo de ver, no puede ser corregido, siendo el tema central y el fundamento general de toda su doctrina el movimiento de la Tierra y la inmovilidad del Sol. Por eso, o se le condena del todo o se le deja tal como está”
(Carta a monseñor Piero Dini).

“Escribe Aristóteles: lo que se genera, se hace de un contrario en algún sujeto, e igualmente se corrompe en algún sujeto de un contrario a un contrario, de modo que (recordadlo bien) la corrupción y la generación lo es sólo de contrarios. Si, por tanto, al cuerpo celeste no se le puede asignar contrario, puesto que ningún movimiento es contrario al circular, la naturaleza ha actuado inmejorablemente al hacer libre de contrarios lo que debía ser ingenerable e incorruptible. Sentado este primer fundamento, se sigue fácilmente que el cuerpo celeste es inaugmentable, inalterable, impasible, y finalmente eterno y morada adecuada a los dioses inmortales, de acuerdo con la opinión de todos los hombres que tienen idea de los dioses”.

“Así pues, volviendo al tema, insisto, las cosas descubiertas en los cielos en nuestros tiempos son y han sido tales que pueden satisfacer enteramente a todos los filósofos, puesto que tanto en los cuerpos concretos como en toda la extensión del cielo se han visto y se ven aun accidentes parecidos a los que, entre nosotros, llamamos generaciones y corrupciones. Efectivamente, excelentes astrónomos

han observado muchos cometas generados y deshechos en las partes más altas de la esfera lunar, además de las dos estrellas nuevas de los años 1572 y 1604, sin ninguna duda por encima de todos los planetas. Y en la faz del propio Sol se ve, gracias al telescopio, que se forman y disuelven materias densas y oscuras, de aspecto muy parecido a las nubes en torno a la Tierra, y muchas de ellas son tan grandes que superan con mucho, no sólo la cuenca del Mediterráneo, sino África entera y además Asia. Así pues, si Aristóteles viese estas cosas, ¿qué creéis, Sr. Simplicio, que diría o haría?

(Dialogo sobre los dos máximos sistemas del mundo ptolemaico y copernicano)

COMPLEMENTOS

Affidávit:

"Nos, Roberto Cardenal Bellarmino, habiendo llegado a nuestros oídos que el señor Galileo Galilei es calumniado con que ha adjurado en nuestra presencia y que se le han impuesto por ello saludables penitencias, y habiendo sido requerido para manifestar la verdad, declaramos que el susodicho señor Galileo no ha adjurado ante nos ni, que nosotros sepamos, ante ningún otro aquí en Roma o en cualquier otro lugar, de opinión o doctrina suya alguna, ni se le ha impuesto ninguna penitencia saludable, sino que solamente se le ha comunicado la declaración hecha por el Santo Padre y promulgada por la Sagrada Congregación del Índice en la que se afirma que la doctrina atribuida a Copérnico, de que la Tierra se mueve en torno al Sol y que el Sol esta inmóvil en el centro del mundo y que no se mueve de oriente a occidente es contraria a las Sagradas Escrituras y, por consiguiente, no se la puede defender ni mantener. En fe de lo cual hemos escrito y firmado la presente con nuestra mano, el veintiséis de mayo de 1616".

Abjuración Pública

"Yo Galileo, hijo del d. Vinc. Galileo de Florencia, de 70 años de edad, constituido personalmente en juicio y arrodillado ante vosotros Emmos. y Rvdmos. Cardenales, Inquisidores generales contra la perversidad herética en toda la República Cristiana, teniendo ante mis ojos los sacrosantos Evangelios, que toco con mis propias manos, juro que siempre he creído, creo ahora y con la ayuda de Dios creeré en el porvenir, todo lo que sostiene y predica la Santa Católica y Apostólica Iglesia. Pero puesto que por este Santo Oficio, por haber yo, después de haber sido intimado jurídicamente con mandato por este que de todos modos debía abandonar la falsa opinión de que el Sol es el centro del mundo y no se mueve, y que la Tierra no es el centro del mundo y se mueve, y que no podía sostener, defender ni enseñar en modo alguno, ni de

palabra ni por escrito, la falsa doctrina mencionada, y después de haberme sido notificado que la citada doctrina es contraria a la Sagrada Escritura, haber escrito y dado a la imprenta un libro en el que trato de la misma doctrina ya condenada y aporte razones de mucha eficacia en favor de ella, sin aportar ninguna solución, he sido juzgado fuertemente sospechoso de herejía, esto es, de haber creído y sostenido que el Sol es el centro del mundo y esta inmóvil y que la Tierra no es centro y que se mueve.

Por tanto, queriendo quitar de la mente de Vuestras Eminencias y de todo fiel cristiano esa fuerte sospecha, justamente concebida a mi propósito, con corazón sincero y no fingida fe abjuro, maldigo y aborrezco los susodichos errores y herejías, y en general cualquier otro error, herejía y secta contraria a la Santa Iglesia; y juro que en el futuro no diré nunca más ni afirmaré, por escrito o de palabra cosas por las cuales se pueda tener de mi semejante sospecha, y que si conozco a algún herético o a alguno que sea sospechoso de herejía lo denunciaré a este Santo Oficio, o al Inquisidor u Ordinario del lugar donde me halle.

Juro igualmente y prometo cumplir y observar enteramente todas las penitencias que me han sido o me sean impuesta por este Santo Oficio, y si contravengo a alguna de mis promesas y juramentos, cosa que no quisiera Dios, me someto a todas las penas y castigos de los sagrados cánones y otras constituciones generales y particulares contra semejantes delincuentes impuestas y promulgadas. Así me ayude Dios, y estos sus santos Evangelios, que toco con mis propias manos.

Yo Galileo Galilei, supraescrito, he abjurado, jurado, prometido y me he obligado como figura más arriba; y en testimonio de la verdad he escrito la presente cedula de abjuración y la he recitado palabra por palabra en Roma, en el convento de Minerva, este 22 de junio de 1633"

BIBLIOGRAFÍA

- Bokenkotter, Thomas. *A Concise History of the Catholic Church*. New York: Doubleday & Company; 1979.
- Butterfield, H. *Los Orígenes de la Ciencia Moderna*. Madrid: Taurus; 1958.
- Farrington, Benjamín. *Ciencia Griega*. Buenos Aires: Hachette S.A; 1957.
- Galilei, Galileo. *Carta a Cristina de Lorena*. González García, M. editor. Madrid: Alianza.
- Galilei, Galileo. *Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo ptolemaico y copernicano*. Beltrán Mari, A. editor. Madrid: Alianza; 1994.

- Galilei, Galileo. *Siderius Nuncius*. Solís Santos, C. editor. Madrid: Alianza.
- Geymonat, Ludovico. *Galileo Galilei*. Barcelona: Nexos. Ediciones de Bolsillo; 1969.
- González García, Moisés. Traducción, introducción y notas a *Carta a Cristina de Lorena* y otros textos sobre ciencia y religión de Galileo Galilei. Madrid: Alianza; 2006.
- Ortega y Gasset, José. *En torno a Galileo*. Madrid: Biblioteca Nueva; 2005.
- Sobel, Dava. *Galileo's Daughter*. Great Britain: Fourth Estate Limited; 1999.
- Solís, Santos, Carlos. Introducción, traducción y notas a la *Gaceta Sideral* de Galileo Galilei. Madrid: Alianza; 2007. Con: Kepler, Johannes. *Conversaciones con el mensajero sideral*. Madrid: Alianza; 2007.



**ASTRONOMÍA
Y ASTROFÍSICA**

Propiedades fundamentales de cúmulos estelares azules, compactos y de alto brillo superficial en la nube mayor de magallanes

Martha Lorena Talavera¹
Andrea Veronica Ahumada^{2,3,4}
Juan Jose Clariá^{3,4}
Joao F.C. Santos Jr.⁵
Eduardo Bica⁶
Celeste Parisi^{2,4}

RESUMEN

Presentamos espectros integrados en el rango óptico (3600-6800Å) de 29 cúmulos azules compactos y de alto brillo superficial de la Nube Mayor de Magallanes (NMM). Estimamos enrojecimiento a partir del método de ajuste de plantillas y usando mapas de extinción interestelar en la región de los cúmulos, las edades las determinamos a partir del método de ajuste de plantillas y de los anchos equivalentes (AEs). En este último caso, usamos calibraciones empíricas en función de la edad, junto con diagrama de diagnóstico que involucran la suma de AEs de características espectrales seleccionadas (K Call, G band (CH), Mgl, H, H and H. El rango de edades derivadas oscila entre ~5 millones y 800 millones de años. Obtuvimos un buen acuerdo entre los resultados de los dos métodos. Los espectros obtenidos mejoran y complementan las bases de datos espectrales actualmente existente para la NMM.

Palabras clave: *Nube Mayor de Magallanes, cúmulos estelares, espectroscopia integrada.*

¹ Observatorio Astronómico Centroamericano de Suyapa, UNAH, Tegucigalpa

² loren.briones@gmail.com; aahumada@eso.org

³ European Southern Observatory- ESO, Chile

⁴ Observatorio Astronómico, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina

⁵ CONICET, Argentina

⁶ Departamento de Física, ICEx, UFMG, Belo Horizonte, Brasil

ABSTRACT

Integrated spectroscopy in the optical range (3600-6800Å) of a sample of 29 blue compact and high surface brightness Large Magellanic Cloud (LMC) star clusters is presented. Cluster reddening values were estimated using the available interstellar extinction maps, while cluster ages were derived from template matching and equivalent width (EW) methods. In the latter case, age-metallicity calibrations were used together with diagnostic diagrams involving the sum of Ews of selected spectral lines (K CaII, G band (CH), MgI, H, H and H. The derived cluster ages range from 5 to 800 Myr, a good agreement between the results of the two methods being obtained. The present cluster sample complements previous ones, in an attempt to provide a spectral library with several clusters per age interval.

Key words: *Large Magellanic Cloud*

1. INTRODUCCIÓN

El sistema de cúmulos estelares de la Nube Mayor de Magallanes (NMM) constituye, sin lugar a dudas, un excelente laboratorio en el cual es posible examinar con cierto detalle los procesos de formación estelar y de enriquecimiento metálico ocurridos a lo largo del tiempo. Esto se debe básicamente a la riqueza, a la diversidad y a la proximidad de estos sistemas estelares de nuestra mayor galaxia satélite.

Sabemos desde hace tiempo que la Nube Mayor contiene aproximadamente 4200 cúmulos ricos en estrellas y de todas las edades, todos los cuales son comparativamente más masivos que sus pares de la misma edad de nuestra Galaxia.

Una característica particularmente interesante en la Nube Mayor es que en ella parecen haber ocurrido al menos dos etapas o épocas bien diferenciadas de formación de cúmulos estelares: una época comparativamente reciente que habría dado lugar a la formación de los cúmulos más jóvenes que unos 3 mil millones de años y otra comparativamente muy vieja que habría dado lugar a la formación de los cúmulos globulares genuinos, con edades que superan los 11 ó 12 mil millones de años.

Nos damos cuenta que este aparente período de "quietud" de unos 8 o 9 mil millones de años, sin formación de cúmulos, representa más del 50% de la edad de la Nube Mayor. ¿Habrá estado realmente "dormida" la NMM durante más de la mitad de su existencia?

En este trabajo nosotros presentamos y analizamos los espectros integrados de una muestra de 29 cúmulos azules, compactos, y de alto brillo superficial de la NMM, 15 de los cuales no presentan ningún estudio previo. Como vemos en la figura 1, la mayoría de los cúmulos seleccionados se encuentran proyectados muy cerca de la barra de la NMM.

Utilizamos los espectros obtenidos no sólo para determinar enrojecimiento y edad de todos los objetos - ya que queremos examinar la historia de formación de cúmulos en esta galaxia - sino también para construir nuevos espectros templates correspondientes a la metalicidad típica de esta galaxia.

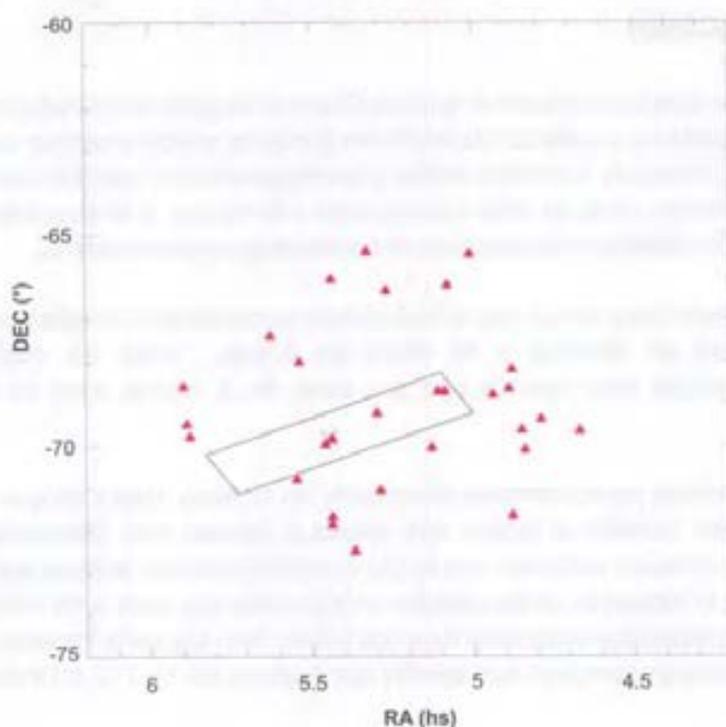


Figura 1. Posición de los 29 cúmulos estudiados (triángulos) en relación al centro óptico (cruz) y la barra de la Nube Mayor de Magallanes (rectángulo)

2. OBSERVACIONES ESPECTROSCÓPICAS

Todos los espectros los obtuvimos con el telescopio de 2.15 m del Complejo Astronómico El Leoncito en San Juan (Argentina), utilizando un CCD de 1024x1024 píxeles, el espectrógrafo REOSC en el modo de "dispersión simple" y una red de 300 líneas/mm. La dispersión resultante fue de 3.46 Å/píxel. El ancho de la ranura lo elegimos en 4.2", lo que produce una resolución de 14 Å.

Los espectros integrados que vemos en las figuras 2, 3 y 4, los obtuvimos "paseando" la ranura sobre cada objeto en la dirección norte-sur, salvo excepciones. Todos los espectros en esta figura han sido calibrados en unidades de flujo, normalizados a la unidad en 5800 Å y desplazados por constantes arbitrarias para facilitar su comparación. Las diferentes pendientes en las distribuciones de energía del continuo de los espectros observados, reflejan efectos combinados de edad y enrojecimiento.

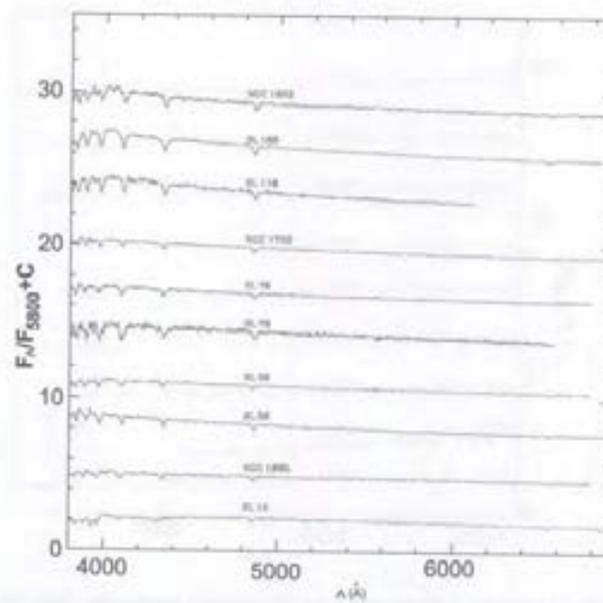


Figura 2. Espectros integrados observados de 10 cúmulos estelares de la Nube Mayor de Magallanes. Los espectros están calibrados en unidades relativas de flujo, han sido normalizados a la unidad en $\approx 6800 \text{ \AA}$ y desplazados por constantes arbitrarias.

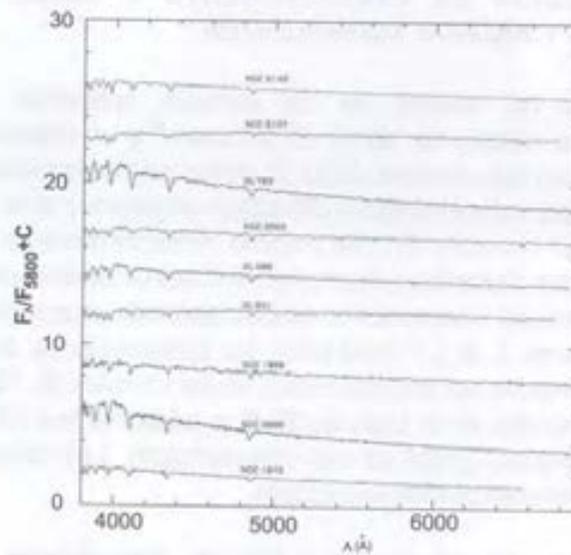


Figura 3. Espectros integrados observados de 10 cúmulos estelares de la Nube Mayor de Magallanes. Los espectros están calibrados en unidades relativas de flujo, han sido normalizados a la unidad en $\approx 6800 \text{ \AA}$ y desplazados por constantes arbitrarias.

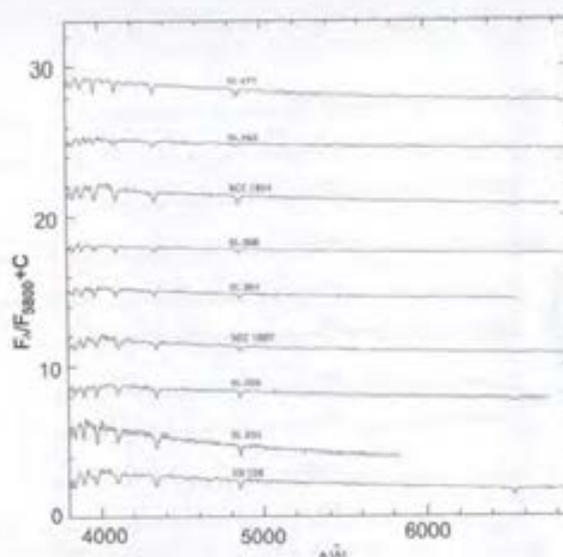


Figura 4. Espectros integrados observados de 10 cúmulos estelares de la Nube Mayor de Magallanes. Los espectros están calibrados en unidades relativas de flujo, han sido normalizados a la unidad en $\approx 5800 \text{ \AA}$ y desplazados por constantes arbitrarias.

3. DETERMINACIÓN DE ENROJECIMIENTO Y EDAD: AJUSTE DE TEMPLATES Y ANCHOS EQUIVALENTES

Para determinar las edades de los cúmulos aplicamos dos métodos independientes: el método de "ajuste de templates" y un método basado en la medición de anchos equivalentes (AEs). El primer método consiste en obtener el mejor ajuste posible entre el espectro del cúmulo analizado y el de un template de edad y metalicidad conocida. En este proceso, seleccionamos de entre todos los espectros templates disponibles, aquél que minimiza el denominado flujo residual. A partir de este método determinamos simultáneamente exceso de color $E(B-V)$ y edad. En las figuras 5, 6 y 7 mostramos las comparaciones de los espectros observados (corregidos por enrojecimiento) de los cúmulos SL 168, SL 551 y SL 360, con los templates de la base de Piatti y colaboradores (2002) que mejor reproducen el conjunto global de sus características. Las comparaciones son realmente excelentes en casi todos los casos.

Para el segundo método, medimos AEs de determinadas características espectrales y utilizamos diagramas de diagnóstico que involucran la suma de los AEs de líneas espectrales seleccionadas, juntamente con las respectivas

calibraciones de edad y metalicidad obtenidas por Santos y Piatti (2004). En pocas palabras, medimos primero los AEs de las primeras 4 líneas de Balmer, de la línea K del calcio ionizado, de la banda G de CH (hidrocarburo) y del triplete de MgI en ~ 5170 Å. Luego, formamos la suma de los AEs de las 3 características metálicas y de las 3 líneas de Balmer H_β, H_γ y H_δ y las llamamos S_m y S_n, respectivamente. Dado que el AE de cada línea de Balmer es una función bivaluada de la edad, usamos la suma S_m para obtener una primera estimación de la edad a partir de la expresión:

$$\log t = a_0 + a_1 + a_2 (S_m)^2,$$

en la cual la edad t está expresada en miles de millones de años y los coeficientes han sido determinados por Santos y Piatti (2004). Luego, guiados por este primer valor, usamos la suma S_n para obtener una segunda estimación de la edad, ya que para S_n hay dos soluciones posibles:

$$\log t = -b \pm [(b^2 - 4a(c - S_n))^{1/2}]/(2a),$$

en la cual t está en las mismas unidades y los coeficientes a, b y c también han sido determinados por Santos y Piatti (2004).

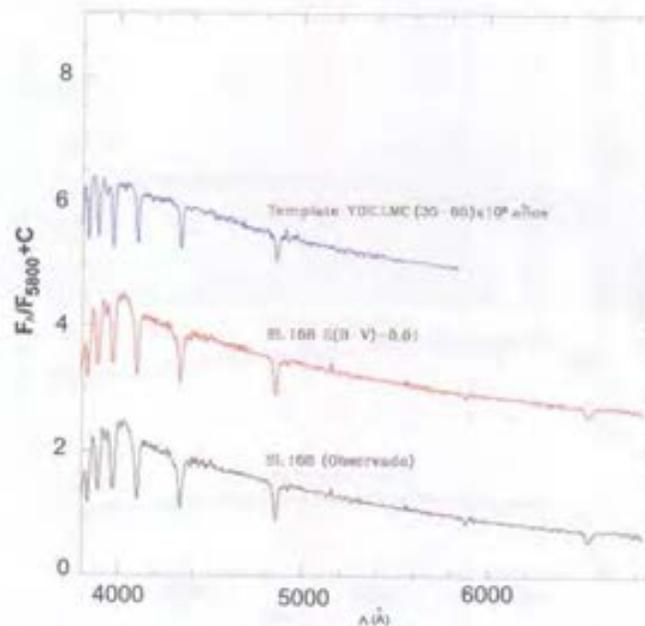


Figura 5. Espectro observado de SL 168 (abajo), el espectro corregido por enrojecimiento (medio) y el template que mejor se ajusta

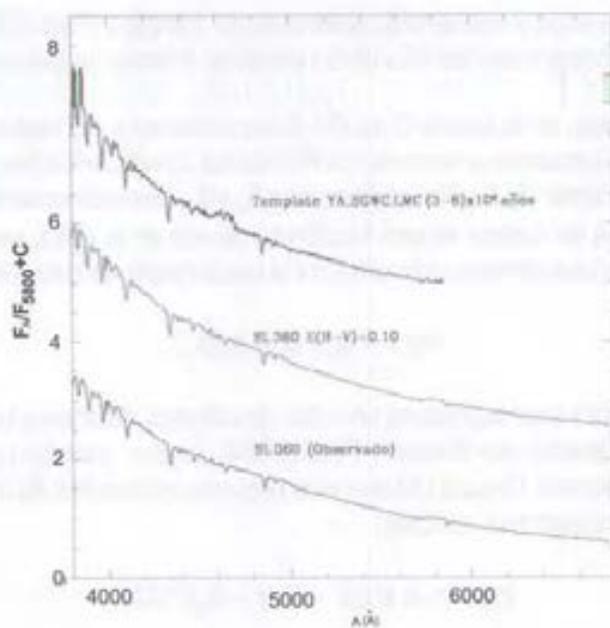


Figura 6. El espectro observado (abajo), el espectro corregido por enrojecimiento (medio) y el template que mejor se ajusta (arriba).

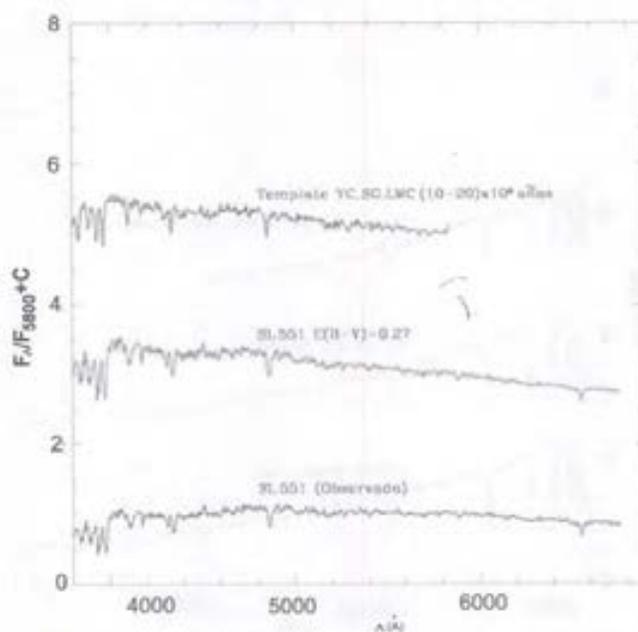


Figura 7. Espectro integrado de SL 551 (abajo), el espectro integrado corregido por $E(B-V)=0.27$ (medio) y el template que mejor se ajusta

En la **Tabla 1** mostramos los resultados finalmente obtenidos para los 29 cúmulos estudiados. Las sucesivas columnas presentan: los excesos de color $E(B-V)$ derivados a partir del método de ajuste de templates, aquellos derivados usando los mapas de extinción interestelar publicados por Burstein y Heiles (1982), las edades inferidas a partir de las líneas de Balmer, aquellas determinadas por los dos métodos antes mencionados (AEs y ajuste de templates) y las edades finalmente adoptadas. Vemos que existe un acuerdo razonablemente bueno entre las edades inferidas por los dos métodos mencionados.

Tabla 1. Resultados obtenidos para los 29 cúmulos de la Nube Mayor de Magallanes.

Objeto	$E(B-V)$ Template	$E(B-V)$ B&H	Edad Balmer ($\times 10^6$ años)	Edad Sh, Sm ($\times 10^6$ años)	Edad Template ($\times 10^6$ años)	Edad adoptada ($\times 10^6$ años)
SL14	0.18 ± 0.02	0.08	10-20	8	10-20	10 ± 5
NGC1695	0.16 ± 0.02	0.06	50-110	69	50-110	70 ± 10
SL56	0.05 ± 0.02	0.10	12-40	18	12-40	40 ± 20
SL58	0.13 ± 0.03	0.10	65	51	65	60 ± 10
SL79	0.06 ± 0.02	0.09	100	115	100	100 ± 10
SL76	0.06 ± 0.02 0.08 ± 0.02	0.03	12-40	28	50 ± 30	50 ± 30
NGC1732	0.00	0.03	50	20	65	60 ± 10
SL116	0.00	0.06	50-70	34	35-65	60 ± 20
SL168	0.01 ± 0.01	0.03	100	23	35-65	60 ± 20
NGC1822	0.05 ± 0.02	0.04	50-100	12	100-150	125 ± 25
HS109	0.08 ± 0.02	0.06	50-100	110	35-65	70 ± 20
SL234	0.00	0.06	50	24	50	60 ± 20
SL255	0.10 ± 0.02	0.10	10-100	22	45-75	60 ± 10
NGC1887	0.05 ± 0.02	0.04	30-50	18	45-75	60 ± 20
SL364	0.02 ± 0.01	0.09	~ 50	19	40	40 ± 10
SL360	0.10 ± 0.02	0.07	< 10	05	3-6	5 ± 2
SL386	0.17 ± 0.02	0.03	30-50	16	60	70 ± 20
NGC1944	0.07 ± 0.02	0.07	50-100	22	45-75	60 ± 10
SL463	0.1 ± 0.02	0.06	10-50	22	35-65	50 ± 10
SL477	0.03 ± 0.01	0.07	10-50	14	35-65	40 ± 20
NGC1972	0.00	0.07	30-50	20	70	60 ± 10
NGC2000	0.02 ± 0.01	0.07	50-100	42	40	50 ± 10
NGC1986	0.10 ± 0.02	0.07	10-50	23	45-75	50 ± 20
SL551	0.27 ± 0.02	0.07	10-30	171	10-20	20 ± 10
SL566	0.15 ± 0.02	0.09	10-50	22	45-75	50 ± 10
NGC2053	0.08 ± 0.02	0.06	~ 50	21	50-110	70 ± 30
SL763	0.04	0.08	50-100	41	45-75	70 ± 20

4. EDADES VS. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL

Usando el mismo telescopio y las mismas técnicas que nosotros, Santos y colaboradores (2006) determinaron recientemente edades y enrojecimientos de 17 cúmulos jóvenes de la NMM. Si agregamos esta muestra a la nuestra, disponemos entonces de 46 cúmulos jóvenes con edades derivadas homogéneamente.

Por otra parte, usando el sistema de Washington y el método de ajuste de isócronas, Piatti y colaboradores (2003) determinaron recientemente edades y metalicidades de 37 cúmulos de la Nube Mayor en un amplio rango de edades.

En la figura 8 vemos la distribución espacial proyectada de la muestra total de 83 cúmulos, en la cual las coordenadas ecuatoriales absolutas (α y δ) son relativas al centro de la Nube Mayor.

En el panel inferior de esta figura discriminamos los cúmulos por edad. Resulta claro en esta figura que existe una tendencia general de los cúmulos más viejos a ubicarse en las regiones del disco exterior, mientras que los más jóvenes tienden a aglutinarse en las proximidades de la barra.

Este efecto es aún más claramente visible en la figura 9 en la cual graficamos las distancias deproyectadas en función de la edad. Las distancias deproyectadas las calculamos usando una inclinación de 45° entre el plano del cielo y el disco exterior de la Nube Mayor y un ángulo de posición de la línea de los nodos de 7° (Lynga y Westerlund 1963).

Quisiera destacar que la tendencia mencionada en la distribución espacial de los cúmulos es enteramente compatible con los resultados encontrados por Smecker-Hane y colaboradores (2002) al examinar la historia de formación estelar en la Nube Mayor en base a observaciones realizadas con el Telescopio Espacial.

La tasa de formación estelar parece haber aumentado hace aproximadamente 2000 millones de años tanto en el disco como en la barra, manteniéndose constante en la barra y habiendo disminuido más recientemente en el disco.

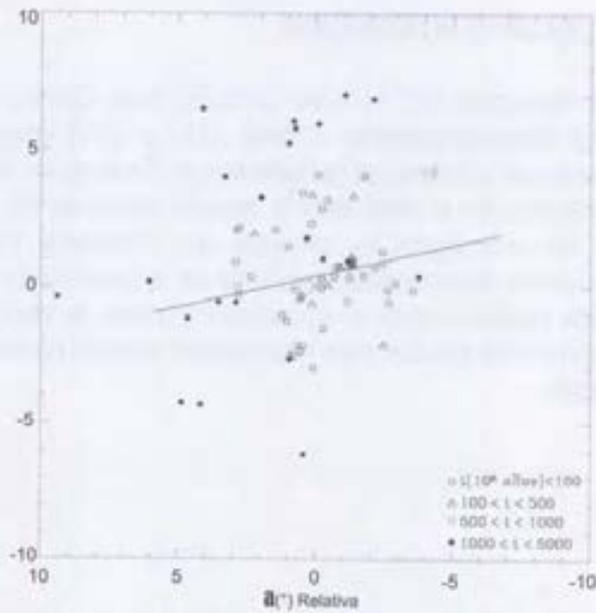


Figura 8. Distribución espacial de 83 cúmulos estelares en la Nube Mayor de Magallanes. Las coordenadas ecuatoriales son relativas al centro de la Nube Mayor, que se indica con una cruz, en tanto que también la barra se indica señalada

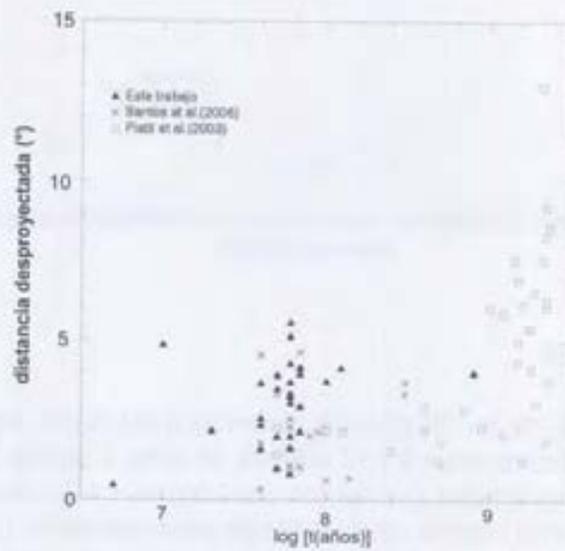


Figura 9. Distancia deproyectada al centro de la Nube Mayor de Magallanes en función de la edad para la muestra mencionada.

5. EDADES VS. COLORES INTEGRADOS

Usando el mismo telescopio de 2.15 m del CASLEO, Bica, Clariá y colaboradores (1996) obtuvieron fotoeléctricamente colores (U-B) y (B-V) integrados de 624 cúmulos y asociaciones estelares de la Nube Mayor. En la figura 10 vemos como cambian estos colores con la edad para la muestra global de 83 cúmulos. Sólo hemos incluido en esta figura los cúmulos con fotometría UBV integrada. Observamos la notable discontinuidad existente en la distribución de los colores integrados, debida probablemente a la evolución natural de los cúmulos, en el sentido de que los mismos tienden a ser más ricos en metales cuanto más reciente ha sido su formación.

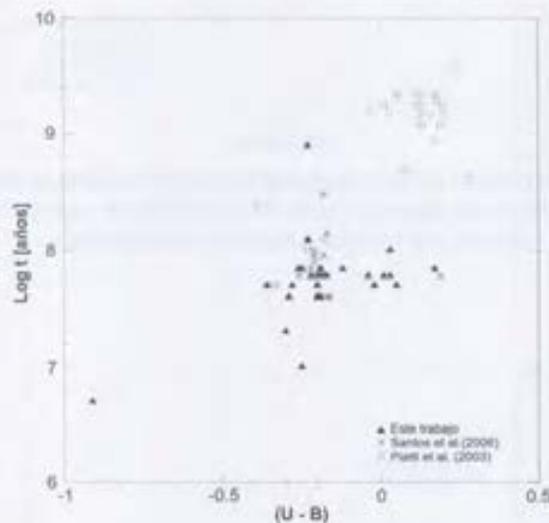


Figura 10. Distribución de la edad con respecto a los colores integrados para los 83 cúmulos antes mencionados

6. CONCLUSIONES

1. En resumen, 26 de los 29 cúmulos observados resultaron ser jóvenes con edades comprendidas entre 5 y 70 millones de años; 2 objetos (SL 79 y NGC 1822) son moderadamente jóvenes con una edad de ~ 100 millones de años y sólo uno (NGC 2137) podría considerarse de edad intermedia. Los excesos de color E (B-V) derivados espectroscópicamente oscilan entre ~ 0.0 (NGC 1732) y ~ 0.18 magnitudes (SL 14). SL 551 presenta un exceso de color E(B-V)

- atípicamente elevado, el cual supera la media en 0.10 magnitudes.
2. Existe una clara tendencia general de los cúmulos más viejos de la Nube Mayor a ubicarse en las regiones del disco exterior, mientras que los más jóvenes se aglutinan en las proximidades de la barra. Este efecto es aún más visible cuando se grafican las distancias deproyectadas en función de la edad.
 3. La tasa de formación estelar parece haber aumentado hace aproximadamente 2000 millones de años tanto en el disco como en la barra, manteniéndose constante en la barra y habiendo disminuido más recientemente en el disco.
 4. Se advierte una notable discontinuidad en la distribución de los colores integrados, debida probablemente a la evolución natural de los cúmulos, en el sentido de que los mismos tienden a ser más ricos en metales cuanto más reciente ha sido su formación.

BIBLIOGRAFÍA

- Bica, Eduardo, Clariá, Juan José, Dottori, H, Santos, J. F.C Jr, and Piatti, Andrés. E. "Integrated UBV photometry of 624 star clusters and associations in the Large Magellanic Cloud". *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*. 1996. (102): 57.
- Burstein, David and Heiles, Carl.. "Reddenings derived from HI and Galaxy counts: Accuracy and maps". *Astronomical Journal*. 1982. (87): 1165.
- Lynga, G. and Westerlund, B.E.. "A catalogue of clusters in the ourter parts of the Large Magellanic Cloud". *Monthly Notices Royal Astronomical Society*. 1963. (127): 31.
- Piatti, Andrés E, Bica, Eduardo, Clariá, Juan José, Santos, João F. C. and Ahumada, Andrea V. "Integrated spectral evolution of Galactic open clusters". *Monthly Notices Royal Astronomical Society*. 2002. (335): 233.
- Piatti, Andrés E, Bica, Eduardo, Geisler, Doug and Clariá, Juan José.. "Fundamental parameters of the LMC clusters NGC1836, NGC1860, NGC1865, SL444, LW224 and SL 548". *Monthly Notices Royal Astronomical Society*. 2003. (344): 965.
- Santos, Jr, J.F.C. and Piatti, A. E.. "Ages and metallicities of star clusters new calibrations and diagnostic diagrams from visible integrated spectra". *Astronomy and Astrophysics*. 2004. (428): 79.
- Santos, J.F.C Jr, Clariá, J. J, Ahumada, A. V, Bica, E, Piatti, A. E, and Parisi, M. C. "Spectral evolution of star clusters in the Large Magellanic Cloud". *Astronomy and Astrophysics*. 2006. (448): 1023.
- Smecker-Hane, Tammy A, Cole, Andrew A, Gallagher, John S, and Stetson, Peter B. "The star formation history of the Large Magellanic Cloud". *Astrophysical Journal*. 2002. (566): 239.

Emisiones máseres en regiones de formación de estrellas de gran Masa: ¿Trazadores de discos o de "Jets"?

Jesús Umanzor¹
Mercedes Gómez²

RESUMEN

En un trabajo previo presentamos un estudio, con el cual pretendíamos determinar si los máseres de metanol, hidroxilo y agua se alinean en un número significativo de regiones más frecuentemente con las estructuras de discos o "jets" que acompañan el proceso de formación de las estrellas de masa alta de nuestra Galaxia. Los resultados de tal estudio indican que las emisiones de máseres que circundan las protoestrellas de masa alta tienden a formar grupos que en un porcentaje muy elevado muestran distribuciones lineales o elongadas. La linealidad de las distribuciones de los máseres es tan frecuente que es consistente con la idea que los máseres están vinculados o se producen en los discos o "jets". Sin embargo, encontramos que no existe una marcada preferencia de los máseres a alinearse con alguno de estos tipos de estructuras. En esta contribución se presentan los resultados de 8 nuevas regiones, encontramos que los resultados obtenidos anteriormente se mantienen, es decir que los máseres se alinean con discos y "jets" en proporciones similares.

Palabras clave: *estrellas de gran masa, formación estelar, máseres, discos, "jets/outflows"*

Abstract

A previous study this one, with which it was intended to determine whether masers of methanol, hydroxyl and water align in a significant number of the regions most frequently with disk structures or "jets" that accompany the process of formation of high-mass stars. The results of this study indicate that emissions of masers around

¹ Observatorio Astronómico Centroamericano de Suyapa, UNAH, Tegucigalpa
jesuma_78@yahoo.com

² Observatorio Astronómico de la Universidad Nacional de Córdoba, Argentina
mercedes@oac.uncor.edu

the proto-stars of high mass tend to form groups at a very high percentage distributions are linear or elongated. The linearity of the distributions of the masers is so frequent that it is consistent with the idea that the masers are linked or occur in the discs or jets. However we did not find a significant preference of the masers of methanol, hydroxyl and water to align with disks and jets. This contribution presents the results of 8 new regions, we find that past performance is maintained, meaning that the masers are aligned with disks and jets in similar proportions.

Key words: *stars of high mass, formation stellar, masers, disks, jets/outflows*



INTRODUCCIÓN

La formación de las estrellas de gran masa está asociada a fenómenos como máseres, "jets" y discos. En los últimos años se busca determinar el rol que juegan estos en el proceso de formación de tales estrellas. En este trabajo se presentan los resultados de un estudio que intenta establecer si existe alineación preferencial de las emisiones máseres de metanol (CH_3OH), hidroxilo (OH) y agua (H_2O) con respecto a las estructuras de flujos bipolares moleculares ("jets": en el óptico y "outflow": en longitudes de onda de radio) y discos circunestelares. En la Figura 1 se muestra una representación esquemática de los escenarios actuales que vinculan las emisiones de máseres con los "jets" (panel izquierdo) y/o con discos (panel derecho).



Figura 1: Representación esquemática de máseres asociados con "jets" y discos. *Panel Izquierdo:* Máseres asociados con "jets". *Panel Derecho:* Máseres asociados con "discos". Esta figura fue adaptada del trabajo de Goddi et al. (2005)

METODOLOGÍA

En el presente trabajo se busca determinar correlaciones de alineamiento entre distribuciones de máseres de metanol, hidroxilo y agua con respecto a las estructuras de "jets" y discos que acompañan a la formación de las estrellas de gran masa. Para alcanzar tal propósito resulta necesario hacer una búsqueda y recopilación bibliográfica de las posiciones de los máseres en cada región, en particular de aquellos que yacen más cercanos al centro de las mismas. Así mismo, también de la bibliografía disponible para cada región se obtienen los ángulos de posición de los "jets" y discos asociados a cada una de las proto-estrellas de gran

masa analizadas. Inicialmente, y a los fines de realizar un análisis preliminar de los máseres de cada región, se consultaron diversos catálogos disponibles en la base de datos SIMBAD (*"SIMBAD Astronomical Database"*). Posteriormente y con el fin de obtener las posiciones de los máseres relativamente más cercanos al centro de cada una de las regiones y disponer de los relevamientos más recientes, se consultan todas las publicaciones individuales de cada región utilizando la base de datos ADS (*"The Astronomical Database System"*). En general, estas publicaciones además de proporcionar las posiciones de los distintos tipos de máseres en cada región también proporcionan los ángulos de posición de los discos y de los "jets" en cada caso. Para facilitar la construcción de los gráficos las posiciones de los máseres en la base de datos son relativas ("offsets") al centro de la región. En algunos casos en la literatura sólo se publican las coordenadas absolutas de las posiciones de los máseres. Para homogenizar los datos es necesario transformar las mismas a posiciones relativas ("offset"). Esto se realiza haciendo uso de las siguientes relaciones:

$$x_i = (a - a_i) \cos \delta_i$$

$$y_i = \delta - \delta_i$$

a y δ son las coordenadas centrales de cada región y a_i y δ_i las coordenadas individuales de cada máser. Finalmente x_i e y_i son los desplazamientos ("offsets") que por conveniencia expresamos en segundos de arco. Para facilitar la búsqueda de correlaciones entre las direcciones de las estructuras de discos y de "jets" y la distribución de los distintos tipos de máseres de cada región se construye un gráfico donde se muestran las posiciones "offsets" de los máseres en relación a los ángulos de posición de los discos y/o "jets". Este procedimiento permite una inspección visual de cada región y pone en evidencia los alineamientos entre los máseres y los dos tipos de estructuras. Finalmente se realiza un análisis global de la muestra para determinar si los máseres se alinean con los discos o con los "jets/outflows".

RESULTADOS

En esta sección se presenta un análisis de las 8 regiones (ver Tabla 1) de formación de estrellas de gran masa seleccionadas. En las mismas se han detectado directa o indirectamente estructuras de discos y "jets" asociadas con estrellas de gran masa, además de la presencia de máseres. El objetivo principal es tratar de determinar si los máseres tienden a alinearse preferentemente con alguno de los dos tipos de estructuras mencionados.

En la figura 2 y 3 se presentan los gráficos con las posiciones "offsets" de los

máseres (metanol, hidroxilo y agua) en las regiones seleccionadas. También se indican los ángulos de posición de los "jets".

En estas figuras los triángulos azules indican las posiciones "offsets" de los máseres de agua; los cuadrados negros los máseres de metanol y los pentágonos rojos las posiciones de los máseres de hidroxilo. Las líneas de color verde indican la dirección de los "jets".

A continuación se describen los alineamientos entre las distintas estructuras para cada región.

Tabla 1: Regiones de Formación de Estrellas de Masa Alta Seleccionadas

Región	A. R. (2000)	Dec. (2000)
IRAS00338+6312	00 36 47.5	63 29 02
G139.909+0.197	03 07 23.7	58 30 50
IRAS06053-0622	06 07 48.0	-06 22 57
IRAS06055+2039	06 08 35.5	20 38 59
IRAS06056+2131	06 08 41.2	21 31 04
G192.584-0.041	06 12 54.0	17 59 23
G70.293+1.6	20 01 45.7	33 32 43
S138	22 32 56.0	58 28 22

IRAS 00338+6312: En el panel superior izquierdo de la Figura 2 se observan las posiciones "offsets" de los máseres de metanol, hidroxilo y agua de esta región. Los máseres de metanol siguen la dirección del "jet" de la región.

Por otro lado el número de los máseres de hidroxilo y agua es muy bajo como para tratar de buscar alineamientos con el "jet".

G139.909+0.197: En el panel superior derecho de la Figura 2 mostramos las posiciones de los máseres de agua detectados en esta región. Estos máseres se distribuyen linealmente en la dirección Sureste-Noroeste y yacen aproximadamente perpendiculares al "outflow". En esta región no se ha detectado máseres de hidroxilo y metanol.

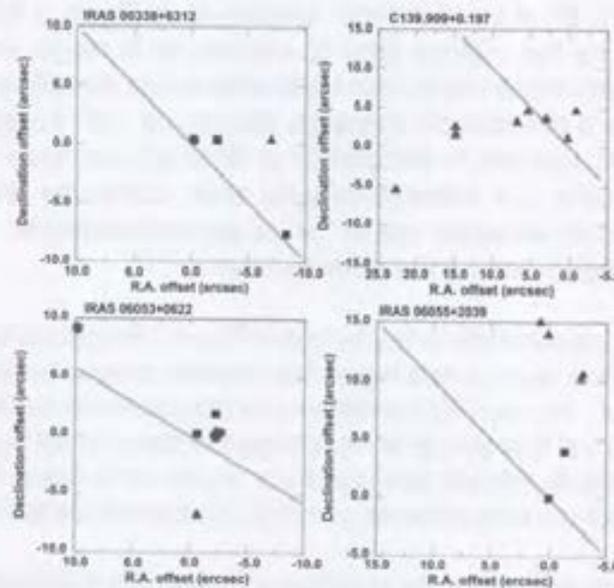


Figura 2: Posiciones "offsets" de los máseres y dirección de los discos y "jets". Los máseres de metanol son indicados por cuadrados negros, los de hidroxilo por pentágonos rojos y los de agua por triángulos azules. La línea de color verde indica la dirección del "jet/outflow".

Panel Superior Izquierdo: IRAS 00338+6312. **Panel Superior Derecho:** G139.909+0.197.

Panel Inferior Izquierdo: IRAS 06053-0622. **Panel Inferior Derecho:** IRAS 06055+2039

IRAS 06053-0622: En el panel inferior izquierdo de la Figura 2 se aprecia la ubicación de los máseres de metanol, hidroxilo y agua de esta región. Los máseres de metanol están cercanamente perpendiculares a la dirección del "jet". En cambio los máseres de hidroxilo y agua son muy pocos para determinar alineamientos.

IRAS06055+2039: En el panel inferior derecho de la Figura 2 se muestran los máseres de metanol y agua de esta región. Al Noroeste de la región se encuentra una distribución lineal de máseres de agua que son paralelos a la dirección del "jet" sin embargo, se encuentran más de 5'' alejados del mismo, por lo tanto es muy poco probable que estos máseres estén vinculados con el "jet" de la región. En cambio el número de los máseres de metanol es muy bajo como para tratar de establecer alineamientos.

IRAS06056+2131: En el panel superior izquierdo de la Figura 3 se observan los máseres de metanol y agua de la región. Los máseres de metanol siguen la dirección del "jet". Al suroeste yace el único máser de agua de la región. En la misma no se han detectado máseres de hidroxilo.

G192.584-0.041: En el panel superior derecho de la Figura 3 se muestran la distribución de los tres distintos tipos de máseres de la región. En general los máseres de metanol están distribuidos linealmente en una dirección cercanamente perpendicular a la dirección del ángulo de posición del "jet". Sugerimos que los mismos estarían siguiendo la dirección de un disco que aun no se ha detectado observacionalmente. Los máseres de agua están distribuidos linealmente sin embargo, no están alineados con el "jet" ni perpendicularmente al mismo. Al Suroeste de la región yace el único máser de metanol.

G70.293+1.6: En el panel inferior izquierdo de la Figura 3 se aprecian los máseres de metanol, hidroxilo y agua de esta región. Los máseres de agua yacen en la misma dirección del "jet". Por otro lado los máseres de hidroxilo están distribuidos en dos grupos el primero al Suroeste de la región siguen la dirección del "jet". El segundo grupo de máseres de hidroxilo se encuentra al Sureste de la región, cerca al único máser de metanol y no están alineados con el "jet" ni perpendicular al mismo.

S138: En el panel inferior derecho de la Figura 3 se muestra el único máser de agua y la dirección del "jets" detectado en esta región. Como el número de máseres es muy bajo en esta región no se pueden determinar alineamientos.

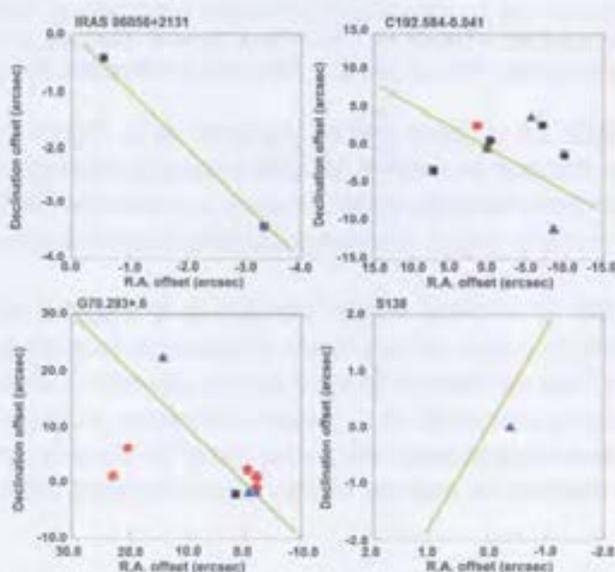


Figura 3: Posiciones "offsets" de los máseres y dirección de los discos y "jets". Los máseres de metanol son indicados por cuadrados negros, los de hidroxilo por pentágonos rojos y los de agua por triángulos azules. La línea de color verde indica la dirección de "jet/outflow".

Panel Superior Izquierdo: IRAS 06056+2131. *Panel Superior Derecho:* G192.584-0.041.

Panel Inferior Izquierdo: G70.293+1.6. *Panel Inferior Derecho:* S138.

La Tabla 2 resume los resultados encontrados en esta sección. Las columnas 2, 3 y 4 indican la morfología de la distribución de los máseres de metanol, hidroxilo y agua de cada región. Encontramos distribuciones lineales (l), elongadas (e) y complejas (c). Hacemos notar que en porcentaje muy elevado (7 de 8 regiones) poseen distribuciones de máseres lineales o elongadas.

Las columnas 5 y 6 detallan el (los) tipo(s) de máser(es) que se alinean con el "jet" o disco de la región en cuestión. Además hacemos notar que en las regiones de la muestra seleccionada no se han detectado directamente discos, solamente "jets".

La Tabla 3 muestra los resultados de los alineamientos de los máseres, discos y "jets". Resulta evidente observar que los máseres de metanol, hidroxilo y agua se alinean con estructuras de discos y de "jets" en proporciones similares. No existe una preferencia marcada de alineamiento de los máseres ni con los discos ni con los "jets". En general encontramos que los máseres pueden trazar tanto discos como "jets".

Umanzor & Gómez (2008) encontraron en una muestra de 29 regiones de formación de estrellas de masa alta que los máseres metanol, hidroxilo y agua se alinean con las estructuras de discos y "jets" en proporciones similares. Al sumar a esta muestra los resultados de estas 8 nuevas regiones encontramos que esta tendencia se mantiene. Es decir los máseres pueden trazar discos y "jets" en proporciones similares y no hay una marcada preferencia de alineamiento con alguna de estas estructuras.

Tabla 2: Morfología de distribución de máseres y su alineamiento con discos y/o "jets"

Región	Metanol	Hidroxilo	Agua	Jet	Disco	Referencia
IRAS00338+6312	l	*	l	m		5
G139.909+0.197			e		a	3
IRAS06053-0622	e	l	l		m	5
IRAS06055+2039		l	l			4,5
IRAS06056+2131	l			m		5
G192.584-0.041	l	*	l		m	3
G70.293+1.6	*	e	l	h;a		3
S138			*			3

Tabla 3: Alineamientos entre máseres discos y "jets"

Tipo de Máser	Metanol	Hidroxilo	Agua
N° de alineamiento con "jets"	2	1	1
N° de alineamiento con discos	2	0	1

DISCUSIÓN

Durante mucho tiempo el estudio observacional de las regiones circundantes a los objetos estelares jóvenes de gran masa se ha visto seriamente limitado ya que estos se encuentran profundamente embebidos o incrustados en nubes de gas denso y polvo. Típicamente las nubes progenitoras poseen altos grados de extinción óptica ($A_v > 50-100$ mag) y en consecuencia los objetos estelares jóvenes en proceso de formación se vuelven invisibles en el óptico y, por lo tanto son más fáciles de detectar cuando mayor sea la longitud de onda de la radiación estudiada ya que el medio ambiente es transparente.

Otro de los factores que ha dificultado el estudio de los objetos estelares jóvenes de gran masa es que, en general, estos yacen a grandes distancias (típicamente de algunos Kpc), por lo cual para poderlos observar se requieren instrumentos de alta sensibilidad y resolución angular. Por ejemplo una resolución angular de $0.1''$ para objetos a distancias alrededor de 0.5 Kpc, corresponde a distancias lineales de alrededor de 0.8 pc o 16500 UA.

Las emisiones de máseres de especies moleculares tales como CH_3OH , OH y H_2O se producen en zonas de gas de densidad alta ($\sim 10^7-10^9 \text{ cm}^{-3}$) y relativamente calientes $T \sim 100\text{K}$. Es decir, que la presencia de máseres en una región de formación de estrellas indica la existencia de condiciones específicas para su excitación. Las transiciones de los máseres ocurren en longitudes de onda centimétricas, en tales longitudes de onda el medio ambiente que circunda a los objetos estelares jóvenes de gran masa en formación es transparente. Además las emisiones de máseres son muy intensas (densidades de flujo de varios Jy) en relación de otras fuentes astronómicas en las mismas longitudes de onda. Gracias a estos factores las emisiones de máseres permiten superar los obstáculos mencionados, resultando posible su detección en regiones de formación de estrellas de gran masa que se encuentran relativamente lejanas y muy oscurecidas por el gas y el polvo de la nube progenitora.

Frecuentemente es posible determinar la posición de los máseres de una región dada con una precisión de sub-mili-segundo de arco. Para fijar ideas para una distancia de 2 Kpc, 1 mili-segundo de arco corresponde a una resolución lineal de 0.3 UA. Las observaciones de emisiones de máseres constituyen una herramienta muy eficaz para estudiar con gran resolución angular el gas molecular cercano a las protoestrellas de gran masa.

Las condiciones físicas de densidad alta $\sim 10^7$ - 10^9 cm^{-3} y temperatura de algunos T \sim 100K necesarias para la producción de máseres son, además, las que caracterizan la parte interna de los discos circunestelares alrededor de los objetos jóvenes de gran masa y a su vez el gas chocado (objetos HH), "jets" y/o "outflows", asociados con los vientos estelares de los objetos en formación. Por lo tanto los máseres pueden, en principio, existir en ambos tipos de estructuras. Los mismos podrían entonces utilizarse como trazadores de discos y/o "jets".

En síntesis y dado que los máseres requieren para su excitación de condiciones físicas específicas similares a las que posee el gas molecular cercano a las protoestrellas de gran masa en formación, estos se han convertido en una herramienta clave para su estudio. La observación de emisiones máseres es una técnica muy efectiva no sólo para seleccionar nuevos candidatos a estrellas de gran masa, sino también para trazar las estructuras de discos y/o "jets" que acompañan el proceso de su formación.

La linealidad de la distribución de los máseres en las regiones de formación de estrellas de gran masa es un fenómeno que se repite frecuentemente. Desde que se comenzaron a realizar los primeros relevamientos de máseres se encontró que estos yacen en grupos que tienden a formar distribuciones lineales (o elongadas). En las regiones analizadas en este estudio se encontró que la linealidad es un fenómeno muy común en la distribución de los máseres ya que 7 de las 8 regiones estudiadas evidencian distribuciones lineales o bien elongadas.

Los alineamientos geométricos de los máseres con estructura de discos y/o "jets" han sido ampliamente utilizados en la literatura. Sin embargo presentan algunas ventajas y limitaciones. Entre las ventajas podemos mencionar que es una técnica muy expeditiva ya que sólo se requiere de las posiciones "offsets" de los máseres individuales. Entre las limitaciones se encuentra el hecho de que sin información adicional no es posible descartar la posibilidad de alineamientos casuales. La elevada frecuencia de los mismos en regiones de formación de estrellas de gran masa minimiza la probabilidad de que un número significativo de ellos sean alineamientos sólo al azar, sin embargo no permite asegurar que una configuración,

en particular, no pueda deberse a factores ajenos a las estructuras de discos y/o "jets". Además los alineamientos por sí mismos tampoco permiten determinar la cinemática de la estructura ya sea disco o "jet/outflow" con la que están asociados. En algunos casos los alineamientos no son tan evidentes o resulta difícil asociar los máseres con las estructuras de discos y/o "jets" solamente en base a la geometría de los mismos. Además las emisiones de máseres son variables en diversas escalas temporales lo cual puede dificultar la identificación de los alineamientos. En estos casos resulta de gran utilidad el empleo de los movimientos propios de los máseres en cuestión.

La determinación de los movimientos propios de los máseres puede proporcionar información sobre la cinemática de las estructuras que ellos trazan, además de permitir asegurar el significado físico de los alineamientos detectados y descartar efectos casuales. La desventaja principal de esta técnica es que por el momento no es muy expeditiva ya que se requiere del uso de grandes radiotelescopios como el "Very Long Baseline Interferometry (VLBI)", motivo por el cual, en la actualidad, ha sido aplicada sólo a un número relativamente muy pequeño de regiones.

Para determinar movimientos propios se requiere alta resolución angular y períodos relativamente largos (algunos meses). Hacemos notar que aun así los movimientos propios obtenidos son muy pequeños. Para fijar ideas un máser que yace a una distancia de 0.5 Kpc (la mayoría de las regiones de formación de estrellas de masa alta yacen a varios Kpc) y se mueven a una velocidad de 10 Kms^{-1} tendría un movimiento propio de 0.4 milisegundos de arco por mes. Movimientos propios tan pequeños son detectables sólo, como se dijo, con grandes radiotelescopios de altísima resolución angular.

En cuanto al rol de los máseres en la formación de las estrellas de gran masa, éste parece estar principalmente relacionado con la posibilidad que brindan de detectar y estudiar las estructuras de discos y "jets" en regiones lejanas altamente oscuras donde se forman estrellas de gran masa. Sin embargo no parecerían estar vinculados al proceso de formación estelar en sí.

No lo desencadena ni lo inhiben. Tampoco parecerían influir en el proceso de formación mismo. Es decir que las emisiones de máseres permiten revelar el nacimiento de las nuevas estrellas de gran masa y sin modificarlo o condicionarlo de alguna manera. Los máseres existen asociados con discos y/o "jets" en estrellas de gran masa porque en ellas se dan las condiciones físicas para su excitación y no porque sean necesarios para la formación de estrellas de gran masa mismas.

CONCLUSIONES

En este trabajo hemos realizado un estudio global sobre la distribución de máseres de metanol, hidroxilo y agua en 8 regiones de formación de estrellas de gran masa. Buscamos alineamientos que pudieran dar indicios de posibles vínculos físicos entre los máseres y las estructuras de discos y/o "jets/outflows" para cada una de las regiones estudiadas. A continuación sintetizamos nuestras conclusiones:

- Las emisiones de máseres que circundan las protoestrellas de masa alta tienden a formar grupos que en un porcentaje muy elevado muestran distribuciones lineales o elongadas.
- El comportamiento de los máseres en las regiones de formación de estrellas de gran masa es efectivamente dicotómico. Pueden trazar tanto estructuras de discos como de "jets".
- Encontramos que no existe una marcada preferencia de los máseres de metanol, hidroxilo y agua a alinearse con discos y/o "jets/outflows". En general, los máseres tienden a alinearse con los discos y los "jets" en proporciones similares. Sólo advertimos una ligera tendencia de los máseres de agua a trazar o (delinear) "outflows".
- El hecho de que los máseres puedan trazar tanto discos como "jets" presenta un aspecto positivo de gran importancia para el estudio del proceso de formación de las estrellas de gran masa el cual se produce en regiones altamente oscurecidas en el óptico e incluso en el infrarrojo cercano y medio. La emisión de máser puede "escapar" de la nube madre y nos permite "ver" los discos y "jets" en estrellas de gran masa que de otra manera son muy difíciles de detectar.
- Nuestro estudio se basa en la identificación de alineamientos geométricos de máseres de distintos tipos en las proximidades de las estrellas de gran masa. La elevada frecuencia de los mismos apoya la hipótesis de que no se trata simplemente de alineamientos casuales. Sin embargo la determinación de los movimientos propios de los mismos puede eliminar cualquier tipo de ambigüedad y aportar información cinemática de los mismos que permitan establecer, fehacientemente, la cinemática de los discos y/o "jets".
- Los máseres existen asociados con los discos y/o "jets" en estrellas de gran masa porque en ellos se dan las condiciones físicas para su excitación y no porque sean necesarios para la formación de las estrellas de gran masa misma. Es decir que no son los desencadenantes del proceso de colapso que las origina, tampoco lo aceleran o lo inhiben.

BIBLIOGRAFÍA

- Goddi, C.; et al. "Kinematics of H₂O masers in high-mass star forming regions". *Astronomy and Astrophysics*. 2005: (432): 161-173.
- Qin, S-L.; et al. "Massive molecular outflows associated with UCHII/HII regions". *Astronomy and Astrophysics*. 2008: (484): 361-369. .
- Tej, A.; et al. "A multiwavelength study of the massive star-forming region IRAS 06055+2039 (RAFGL 5179)". *Astronomy and Astrophysics*. 2006: (452): 203-215.
- Umanzor, J. y Gómez, M.: "Emisiones Máseres en Regiones de Estrellas de Gran masa: ¿Trazadores de Discos o de Jets?" (Tesis de Maestría). Tegucigalpa: Observatorio Astronómico Centroamericano de Suyapa de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras. 2008.
- Xu, Y.; et al. "Molecular Outflows around High-Mass Young Stellar Objects". *The Astronomical Journal*. 2006. (132): 20-26.

Dinámica de objetos en sistemas planetarios

José Jacobo Gámez¹

Silvia M. Fernández²

RESUMEN

Para la búsqueda de orbitas periódicas en sistemas planetarios, se plantea un modelo de tres cuerpos, restringido y elíptico espacial, donde uno de los primarios posee una masa similar a la del Sol y el segundo tiene una masa mayor que Júpiter. Mediante métodos numéricos se encuentran soluciones periódicas para el tercer cuerpo de masa nula. Se hicieron dos planteos independientes. Por una parte, y tomando como base los resultados obtenidos en un trabajo anterior para el caso de tres cuerpos restringido circular y planar, se generaron condiciones iniciales para la tercera partícula en el problema de tres cuerpos restringido elíptico, pero en un sistema fijo.

El segundo enfoque pretende considerar además la posición espacial del tercer cuerpo. Para ello las condiciones iniciales se generan siguiendo el procedimiento propuesto en el trabajo de Palacián y otros en 2006.

Palabras Clave: *Planetas Extrasolares – Problema de Tres Cuerpos Restringido Orbitas Periódicas.*

ABSTRACT

For the search of periodic orbits in planetary systems, a restricted and spatially elliptical model of three bodies, where one of the primary ones possesses a mass similar to that of the Sun and the second one a major mass has that Jupiter, is proposed. By means of numerical methods we find periodic solutions for the third body of void mass. Two independent methods were outline. On one hand, and taking as a base the results obtained in a previous work for the case of three bodies restricted circular and planar, initial conditions were generated for the third particle in the problem of three bodies restricted elliptically, but in a fixed system. The second

¹ Observatorio Astronómico Centroamericano de Suyapa, UNAH, Tegucigalpa
jjgamez65@yahoo.es

² Observatorio Astronómico de la Universidad Nacional de Córdoba, Argentina

approach tries to consider in addition the spatial position of the third body. For it the initial conditions are generated following the procedure proposed in Palacián's work and others in 2006.

Key Words: *Extrasolar planets, Restricted Three Bodies Problem, Periodical Orbits.*

El artículo se centra en el estudio de órbitas periódicas en el problema restringido de tres cuerpos. Se propone un método para generar condiciones iniciales que permitan encontrar estas órbitas. Este método se basa en la búsqueda de órbitas periódicas en el problema restringido de tres cuerpos, considerando además la posición espacial del tercer cuerpo. Este método se basa en la búsqueda de órbitas periódicas en el problema restringido de tres cuerpos, considerando además la posición espacial del tercer cuerpo.

El artículo se centra en el estudio de órbitas periódicas en el problema restringido de tres cuerpos. Se propone un método para generar condiciones iniciales que permitan encontrar estas órbitas. Este método se basa en la búsqueda de órbitas periódicas en el problema restringido de tres cuerpos, considerando además la posición espacial del tercer cuerpo.

Palabras clave: *Planetas extrasolares, Problema restringido de tres cuerpos, Órbitas periódicas.*

El artículo se centra en el estudio de órbitas periódicas en el problema restringido de tres cuerpos. Se propone un método para generar condiciones iniciales que permitan encontrar estas órbitas. Este método se basa en la búsqueda de órbitas periódicas en el problema restringido de tres cuerpos, considerando además la posición espacial del tercer cuerpo.

1. INTRODUCCIÓN

El estudio de planetas extrasolares es un tema de mucho interés, en la actualidad. Sabemos que además de los cuerpos de nuestro sistema solar se cuenta con observaciones que nos hablan de la existencia de 328 sistemas planetarios que orbitan alrededor de estrellas similares a nuestro Sol.

La información que se conoce de estos sistemas es bastante incompleta debido a que las técnicas actuales de observación no facilitan la obtención de muchos datos. Sin embargo, se han podido determinar los parámetros más básicos de sus órbitas y en un pequeño porcentaje de casos también se han podido obtener sus masas.

Debido a los métodos de detección empleados, los planetas conocidos son de masa grande, algunos mayores que la de Júpiter. No se conocen características de planetas con masas pequeñas, por eso surge la necesidad de utilizar alguna metodología que permita inferir la posibilidad de existencia de este tipo de objetos. Una manera de encarar este análisis es determinar órbitas periódicas para objetos planetarios con masas mucho menor que la de Júpiter, utilizando el problema de tres cuerpos restringido elíptico.

2. MÉTODOS Y TÉCNICAS

En el problema de tres cuerpos restringido elíptico se describe el movimiento de un cuerpo con masa infinitesimal, es decir m_3 , en el campo gravitacional producido por dos cuerpos primarios, m_1 y m_2 con órbitas elípticas. Siendo $m_1 = 1 - \mu$ y $m_2 = \mu$ con $\mu \in [0, \frac{1}{2}]$. Los cuerpos primarios m_1 y m_2 se encuentran en el eje X . La excentricidad de los primarios se denomina $e_p \in [0, 1]$.

Para hacer las integraciones correspondientes en el caso de Tres Cuerpos Restringido Elíptico, se utiliza un programa integrador de Everhart, en Lenguaje Fortran y se estructura de manera de poder obtener valores de posición y velocidad de la tercera partícula para cualquier instante de tiempo.

El objetivo es encontrar las sucesivas intersecciones de la trayectoria de la partícula con uno de los planos coordenados. De esta manera se puede analizar gráficamente el comportamiento dinámico de la partícula, ya que se obtendrán pseudas secciones de Poincaré, con los valores de una coordenada y su correspondiente velocidad. El estudio de los puntos así obtenidos reemplaza el estudio de la trayectoria en sí misma. Una órbita periódica aparecerá representada por un punto que se repite a sí mismo después de cortar n veces el plano

considerado. Si en vez de un punto, se obtiene una serie de puntos que se repiten periódicamente se dice que la órbita es 'quasiperiódica'. En cambio, cuando la representación es de puntos diseminados en el plano, la órbita no es periódica y por lo tanto se podrá producir una ruptura del sistema de tres cuerpos.

El paso siguiente es generar condiciones iniciales para encontrar órbitas periódicas para los dos tipos de casos:

a) Caso planar

Con el objetivo de comprobar si las orbitas periódicas obtenidas en el problema circular (Tesis Maestría JJG,2004) se mantenían al darle a los primarios una excentricidad real, se trato de continuar numéricamente orbitas periódicas del circular al elíptico.

b) Caso espacial

Para el caso espacial las condiciones iniciales se derivan de la teoría planteada por Palacián et al. Las órbitas obtenidas por esos autores han sido clasificadas en polares y ecuatoriales, de acuerdo con la relación entre el plano orbital del tercer cuerpo y el plano de movimiento de los dos primarios.

2.1 CONDICIONES INICIALES

a) Se parte de los datos obtenidos para caso circular. En primer lugar se hace una transformación de la velocidad de la partícula del sistema rotante al fijo. Con ese valor, y aplicando la ecuación (1), se obtiene la coordenada x aproximada de una órbita periódica.

$$\dot{y}^2 < x^2 + \frac{2(1-\mu)}{r_1} + \frac{2\mu}{r_2} - C \tag{1}$$

b) En este caso la nomenclatura que se usará es la siguiente. La posición de la tercera partícula está dada por $q = (q_1, q_2, q_3)$, su velocidad $q' = (q'_1, q'_2, q'_3)$ y su momento será $p = (p_1, p_2, p_3)$.

El movimiento de la tercera partícula se describe mediante la siguiente expresión del Hamiltoniano:

$$H(q, p, f_p, \mu, a_p, e_p) = \frac{1}{2}(p_1^2 + p_2^2 + p_3^2) - \frac{1-\mu}{\sqrt{[q_1 + \mu \rho \cos(f_p)]^2 + [q_2 + \mu \rho \sin(f_p)]^2 + q_3^2}} - \frac{\mu}{\sqrt{[q_1 - (1-\mu)\rho \cos(f_p)]^2 + [(1-\mu)\rho \sin(f_p)]^2 + q_3^2}}$$

Donde ρ es la distancia radial de los primarios, f_p anomalía verdadera de los primarios y a_p el semieje mayor de la órbita de m_2 con respecto a m_1

$$\rho = \frac{a_p(1-e^2)}{1+e_p \cos(f_p)}$$

El proceso de doble promedio aplicado al Hamiltoniano original provee soluciones de tres tipos de familias de órbitas periódicas. Dos familias de tipo polar, el plano orbital es perpendicular al plano de la órbita de los primarios, y una familia tipo ecuatorial, el plano orbital coincide con el plano de los primarios.

La tercera partícula parte con las siguientes condiciones iniciales, $(q_1, 0, 0)$ y $(0, q'_1, 0)$

Mediante la integración de las ecuaciones de movimiento se encontrarán los valores de la posición y sus respectivas velocidades cada vez que cruce el plano (q_1, q_3) .

Se elabora un programa para encontrar condiciones iniciales de la tercera partícula a partir de los elementos orbitales los cuales se encuentran en un archivo con los datos siguientes:

longitud del pericentro \tilde{w}

longitud del nodo ascendente Ω

Inclinación I

Excentricidad e

El semieje de la partícula se lo toma como unidad de distancia, $a = 1$.

Se realizan integraciones con diferentes grupos de condiciones iniciales para los dos tipos de casos, polares y ecuatoriales.

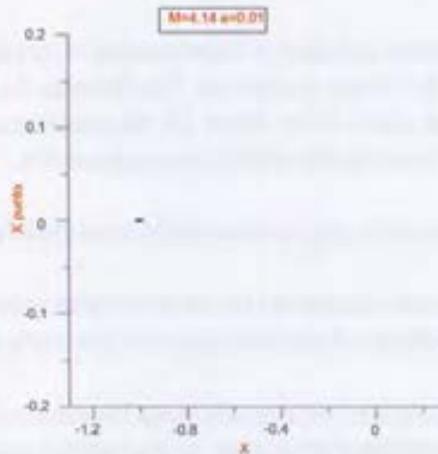
2.2 INTEGRACIONES

- Se hicieron integraciones de las ecuaciones de movimiento con el método de Everhart descrito anteriormente y se aplicó a los mismos casos reales trabajados en el caso circular.
- Se integraron las ecuaciones derivadas del Hamiltoniano presentado

anteriormente, para el caso polar y se aplicó al caso real Hd28185.

3. RESULTADOS

a) Tau Boo $M=4.14 M_{\odot}$, $e=0.01$



En la figura 1 se muestra la órbita periódica obtenida de la continuación de una órbita periódica del caso circular al elíptico en un gráfico \tilde{x} vs. x

b) Con esta metodología se estudio el sistema:

HD28185 $M=5.7 M_{\odot}$, $e=0.07$

El resultado obtenido se muestra en la figura 2, donde se puede apreciar el punto representativo de una órbita periódica en el plano \tilde{x} vs. x (q' vs. q)

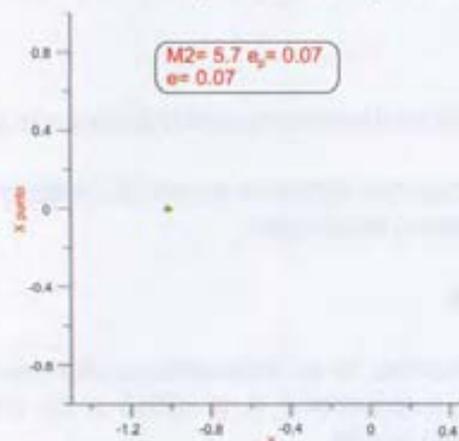


Fig 2: órbita periódica del sistema Hd28185

En la figura 3 se representa la variación temporal de la distancia de la tercera partícula respecto al centro de masa de los dos primarios

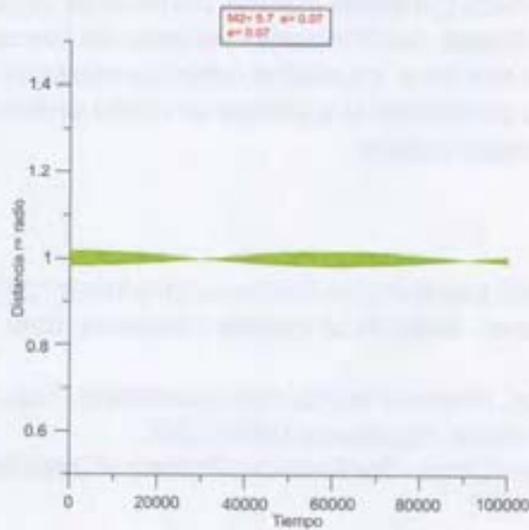


Fig 3: Sistema HD28185

En la figura 4 se muestra la invariancia del semieje mayor de la órbita periódica encontrada.

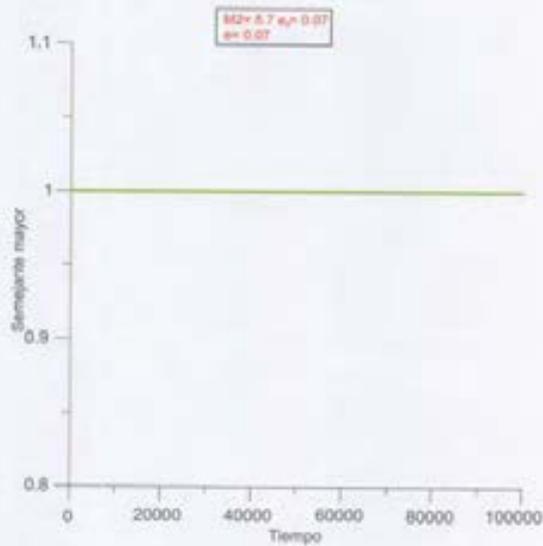


Fig 4: semieje orbita periódica del sistema Hd28185

4. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos con ambos métodos son positivos ya que han permitido encontrar órbitas periódicas en el Problema Restringido de Tres cuerpos elíptico. De esta manera y en relación a los criterios teóricos presentados en el trabajo de Palacián et al. se ha corroborado la existencia de órbitas periódicas en el plano polar para los casos reales tratados.

BIBLIOGRAFÍA.

- Benest and Froeschlé. *Les Methodes Modernes of the Mecanique Celeste*. 1989.
- Brouwer and Clemence. *Methods of celestial mechanics*. New York: Academic Press; 1961.
- Gámez, José Jacobo. *Dinámica de Planetas Extrasolares*. Tesis de Maestría en Astronomía y Astrofísica. Tegucigalpa: UNAH; 2004.
- Szebehely, V. *Theory of Orbits –The Restricted Problem of Three Bodies*. New York: Academic Press; 1967.

Metodología para cálculo de seeing en el Observatorio Astronómico Centroamericano de Suyapa, Tegucigalpa, Honduras

Roberto Schöngarth¹

RESUMEN

El presente trabajo propone una metodología a ser utilizada para la caracterización de las condiciones de observación en el Observatorio Astronómico Centroamericano de Suyapa OACS, particularmente en lo relacionado a la medición del *seeing*. Se utiliza el análisis de imágenes pixel por pixel tratando de estimar el *seeing* a través del FWHM, utilizando como límite superior el pixel de máxima intensidad de cada una de las imágenes de la estrella Zeta Geminorum que sirvió para hacer el estudio, y cuyo límite inferior es el promedio de intensidad del cielo de fondo. Para lograr mayor precisión en la estimación se promediaron los valores estimados de un grupo de 10 imágenes y a partir de ahí inferir un intervalo de confianza del 95% para la estimación del *seeing* el cual para el presente trabajo resultó ser de 5.2332-5.8448 segundos de arco el cual es un valor de *seeing* relativamente alto (condiciones regulares de observación) respecto a los 2 ó a lo sumo 3 segundos de arco recomendados para observaciones con un buen cielo.

Palabras clave: *Seeing, Escala de Pickering, FWHM, refracción, disco de Airy, resolución telescopio.*

ABSTRACT

The present work proposes a methodology to being used for the characterization of the conditions of observation in the Central American Suyapa Astronomical Observatory CASAO, particularly related to the measurement of the seeing. The analysis of images uses pixel by pixel, trying to estimate the seeing through the FWHM, using as top limit the pixel of maximum intensity of each one of the images of the major Zeta Geminorum that served to do the study, and whose low limit is the average of intensity of the background sky. To achieve major precision in the estimation there were divided equally the values estimated of a group of 10 images

¹ Observatorio Astronómico Centroamericano de Suyapa, UNAH, Tegucigalpa
roberteschongarth@yahoo.com

and from there inferring a confidence interval of 95 % for the estimation of the seeing. For the present, this value worked turn out to be of 5.2332-5.8448 second of arch which is a value of seeing relatively high (regular conditions of observation) with regard to the 2 or at most 3 seconds of arch recommended for observations with a good sky.

Key words: *Seeing, Pickering scale, FWHM, refraction, Airy disk, telescope resolution.*

Resumen: Se realizó un estudio de la resolución de un telescopio de 10 cm de diámetro, utilizando una cámara CCD de 1024x1024 píxeles, para determinar el seeing. Se midió el ancho de línea de los espectros de las estrellas y se comparó con el ancho de línea de los espectros de las estrellas de referencia. Se obtuvo un seeing de 5.2332-5.8448 segundos de arco, lo que es un valor relativamente alto (condiciones regulares de observación) con respecto a los 2 o a lo más 3 segundos de arco recomendados para observaciones con un buen cielo.

Palabras clave: *Seeing, Pickering scale, FWHM, refracción, disco de Airy, resolución de telescopio.*

Abstract: A study was conducted on the resolution of a 10 cm diameter telescope, using a 1024x1024 pixel CCD camera, to determine the seeing. The line width of the spectra of stars was measured and compared with the line width of the spectra of reference stars. A seeing of 5.2332-5.8448 arcseconds was obtained, which is a relatively high value (regular observation conditions) with respect to the 2 or at most 3 arcseconds recommended for observations with a good sky.

1. INTRODUCCIÓN

La caracterización del cielo de un lugar es esencial para poder determinar que tanto se puede observar y cuál podría ser la calidad de las observaciones según el tipo de tecnología de que se disponga. Las perturbaciones en la atmósfera hacen variar la calidad de imágenes en tierra pues éstas se ven afectadas por cambios de temperatura en capas superiores y por la topografía del lugar, perturbaciones que pueden ser medidas en lo que se conoce como *seeing*. Por tanto hay que medir con el equipo disponible la magnitud de estas oscilaciones.

Cuál es el mejor método y en qué escala se puede medir el *seeing* es el análisis que se hará en el presente trabajo para posteriormente ser aplicado para determinar las condiciones de observación en el Observatorio Astronómico Centroamericano de Suyapa (OACS). El objetivo de este trabajo ha sido proponer un método de análisis del *seeing* para medir las condiciones de la atmósfera para observación astronómica desde el OACS.

Medición del *seeing* utilizando escalas generales

El *seeing* es una medida que se ha tratado de determinar desde hace más de un siglo para establecer las condiciones de observación. Es por ello que fue ampliamente utilizada la Escala de Pickering, ya no muy vigente en el presente dados los avances tecnológicos en la observación.

La Escala de Pickering propone medir, en una escala del 1 al 10, la calidad del cielo observando la turbulencia de una estrella de referencia observada, tal y como se presenta en la figura 1.

En esta figura se muestra de manera clara cómo varía la calidad de una imagen dependiendo de las condiciones atmosféricas pues, si se analiza con mayor detalle, la escala de Pickering observa la calidad del disco central y el diámetro de la imagen difractada.

Cuando la calidad es de 10 la imagen se presenta completamente estática, con el disco de Airy muy bien definido; al ir reduciendo la calidad, los patrones alrededor de punto central comienzan a crecer y a mostrar arcos. Cuando la calidad ya es tan baja como 4, el disco central es difuso. Cuando la calidad es de 1 la imagen de la estrella es generalmente del doble del diámetro del tercer anillo de difracción.

Figura 1. Escala de medición de *seeing* de Pickering



Escalas alternativas como la de Antoniadi también son muy superficiales y no cubren las expectativas de una medición precisa de calidad de cielo. Corresponde a una escala de I a V, donde I indica visibilidad perfecta y V muy pobre visibilidad.

Un estudio de la calidad de cielo cerca de Sydney, Australia, efectuado por J.W. O'Byrne en 1984, arrojó resultados interesantes: las noches con mejor *seeing* en promedio corresponden a las noches de verano; la relación entre *seeing* y velocidad del viento no es simple, pero generalmente un buen *seeing* está asociado a lentas velocidades de viento; hay cierta evidencia que hay buenas condiciones de *seeing* cuando hay nubes delgadas o niebla presentes.

Medición del *seeing* utilizando FWHM

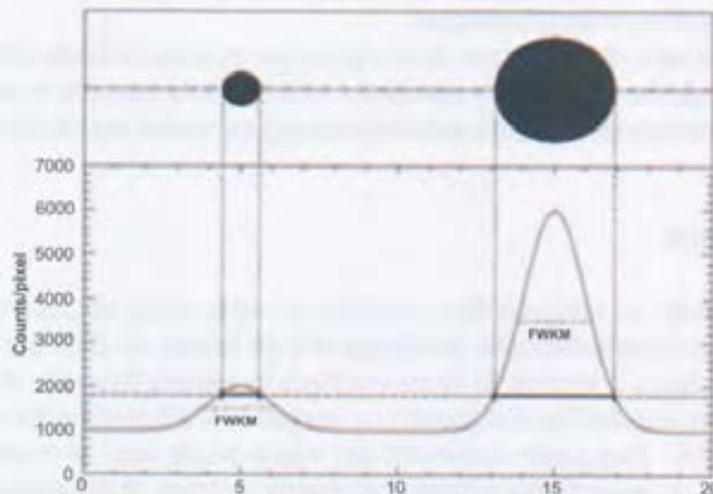
La medición del *seeing* toma en cuenta cada uno de los filtros disponibles, por lo que para hacer el análisis en el OACS deberá trabajarse con cada uno de los 5 filtros de que se dispone: U, B, V R, I.

Si las perturbaciones en la atmósfera fuesen nulas, el tamaño de la estrella a través del telescopio sería igual al que determina su disco de difracción. Las perturbaciones de la atmósfera hacen crecer en apariencia a este disco, y esto es lo que trata de medir el FWHM (full width at half maximum).

El FWHM es el ancho de la función, o sea su proyección al eje horizontal, que está expresado en segundos de arco, donde el flujo toma la mitad del valor máximo. Lo importante es considerar que este valor es igual para todas las estrellas tomadas en

una misma imagen. Obsérvese la figura 2, donde el FWHM muestra el ancho de la función en la mitad que corresponde al pico de intensidad de cada una de las dos estrellas y el valor del cielo de fondo. En este caso particular este valor es de aparentemente 2.5 segundos de arco. Por lo tanto el seeing es el tamaño angular de la estrella medida al punto FWHM.

Figura 2. Medición del FWHM para dos estrellas diferentes en el mismo instante. El FWHM es igual



1. METODOLOGÍA

Previo a obtener datos prácticos para hacer un estudio pormenorizado del seeing, día a día, es conveniente mostrar un procedimiento que pudiera utilizarse para el cálculo del FWHM con un dato histórico. La metodología a utilizar puede resumirse en los siguientes pasos:

- El primer paso consiste en seleccionar las imágenes a analizar para estimar el *seeing* durante la noche de observación. Es recomendable utilizar un número de imágenes significativo como muestra para poder obtener una estimación lo más fiable posible.
- Analizar las imágenes utilizando la metodología del FWHM. Hay que localizar el píxel de mayor intensidad y además estimar la intensidad del cielo de fondo. Para ello se hará uso de un programa especializado que muestre la intensidad de cada uno de los píxeles. Para el cielo de fondo se recomienda usar una muestra aleatoria de varios píxeles y promediar su valor. El valor medio que sirve como referencia en el FWHM se calcula con (intensidad máxima – intensidad de

fondo) / 2 + intensidad de fondo, lo que al simplificar la fórmula resulta en: (intensidad máxima + intensidad de fondo) / 2.

- Estimar el número de píxeles de la imagen que supera el valor medio estimado. Como se asume una simetría circular en la imagen se supondrá que en cualquier dirección la cantidad de píxeles que supere el valor medio debe ser la misma.
- Calcular el valor de *seeing* en segundos de arco, encontrando la ecuación que relaciona píxeles y segundos de arco, la cual es dependiente de la longitud focal del objetivo y el tamaño del píxel.
- Se calcula el valor del *seeing* para todas las imágenes tomadas hacia el mismo objeto. Al calcular la media y la desviación estándar de la muestra es posible inferir un intervalo de confianza para tener una aproximación significativa para el *seeing*.

3. RESULTADOS

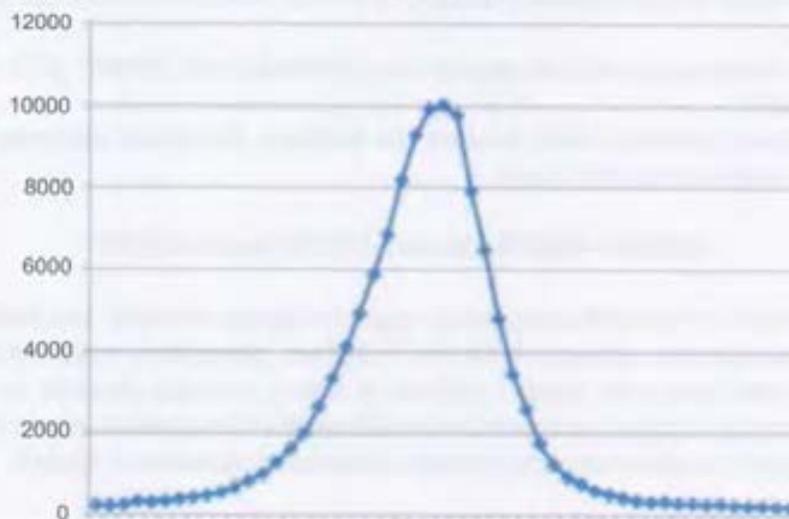
- En este estudio se utilizaron diez imágenes tomadas desde el Observatorio Astronómico Centroamericano de Suyapa el 6 de febrero de 2007 por Isaac Zablah. La figura 3 expone de forma ampliada la primera fotografía tomada mostrando la estrella Zeta Geminorum. La imagen se tomó desde el telescopio Meade de 16". Para poder observarla con mayor detalle aquí se muestra la imagen con un zoom de 16x utilizando el visor de archivos .fit ds9 utilizado en Linux.

Figura 3: Estrella Zeta Geminorum. Imagen tomada el 6 de febrero 2007 por Isaac Zablah desde OACS. Telescopio Meade 16", filtro V.



- Para el análisis aquí se dio seguimiento a la primera de las diez imágenes tomadas durante esa noche, pero cabe agregar que el procedimiento se repitió para las nueve imágenes restantes. Para utilizar la metodología de FWHM encontramos el píxel de mayor intensidad, que en el presente caso consta de 10036 cuentas, y la intensidad del cielo de fondo, tomando una muestra de píxeles oscuros alejados de la imagen de la estrella, que indica un promedio de 191 cuentas en la presente imagen. El valor promedio total, $(10036+191)/2 = 5113$, es el valor de referencia que se utilizó para el cálculo del *seeing*.
- Como siguiente paso se estimó el número de píxeles de la imagen que supera el valor medio estimado. Para aclarar esto se comenzó analizando una línea horizontal que pasa a través del píxel máximo, donde las intensidades por píxel observadas serán las que se muestran en la figura 4. A manera de ejemplo obsérvese el número de píxeles que supera una intensidad de 5113, valor de referencia. Para este caso particular el número de píxeles es de 9, cuyo equivalente en segundos de arco es el *seeing* (como se explica más adelante, el equivalente a los 9 píxeles es de 4.5675 segundos de arco). Antes de esta operación de equivalencia píxeles-segundos de arco, recordamos que es ideal analizar el *seeing* en todas direcciones de la estrella y no sólo de la línea horizontal antes trazada. Por lo tanto el siguiente paso fue contabilizar todos los píxeles de la figura que superan las 5113 cuentas. Por simetría circular esperábamos que este valor fuera igual sin importar la dirección en que se mida.

Figura 4: Intensidad por píxel de imagen, con máxima intensidad centrada



Se aprovechó este hecho para hacer el cálculo precisamente en todas direcciones y así estimar un valor promediado. Se contó por lo tanto el número de píxeles que superan el valor del FWHM y se calculó el diámetro promedio. En este ejemplo fue de 71 píxeles los que superan las 5113 cuentas, o sea un círculo de 71 píxeles.

- A continuación se hizo una estimación promedio del diámetro del círculo utilizando el valor de píxeles encontrados que superan el valor FWHM que representan el área del círculo. El diámetro del círculo encontrado más que todo da un promedio del ancho del FWHM en todas direcciones, lo que se logra despejando de la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned}\text{Área del círculo} &= \pi r^2 = \pi(d/2)^2 \\ d &= 2 \sqrt{(A / \pi)} \\ d &= 2 \sqrt{(71 / \pi)} = 9.5079 \text{ píxeles}\end{aligned}$$

Por lo tanto, si se promedia en cualquier dirección respecto al píxel de mayor intensidad, el ancho de píxeles para medir el *seeing* es de 9.5079.

- Por supuesto, el *seeing* debe estar medido en segundos de arco, por lo que hace falta hacer el análisis de placa para poder determinar una relación entre píxel y tamaño en segundos de arco.

Esta relación se logró utilizando los siguientes datos:

Longitud focal objetivo de telescopio = 4064 mm

Tamaño de píxel = 10 μ m = 0.01 mm

La escala de placa para el telescopio es de $\theta / s = 206,265'' / 4,064 \text{ mm} = 50.75'' / \text{mm}$.

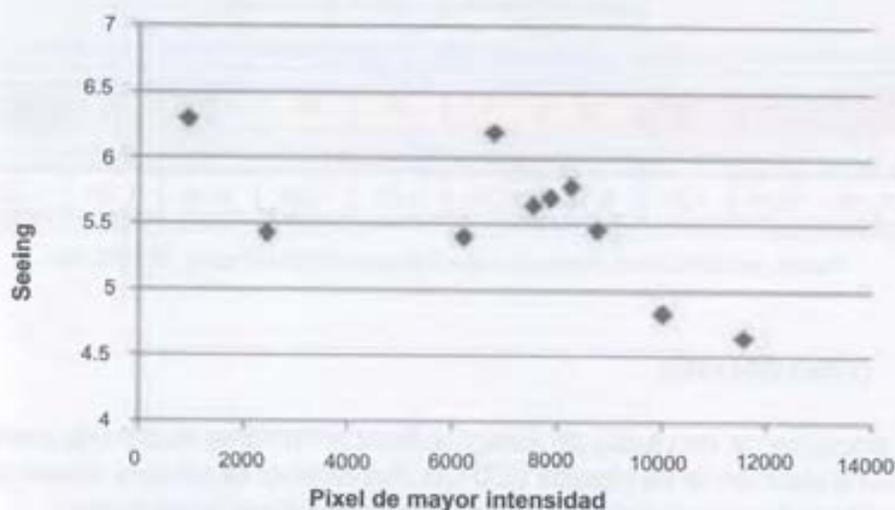
Por lo tanto el equivalente angular de un píxel es de $50.75''/\text{mm} * (0.01 \text{ mm}) = 0.5075''$.

El *seeing* entonces fue el resultado de multiplicar los píxeles promedio por el equivalente angular del píxel:

$$\text{SEEING} = 9.5079 \text{ píxeles} * 0.5075''/\text{píxel} = 4.8253''$$

- Se repitió el procedimiento para las nueve imágenes restantes. Los resultados obtenidos para cada una de las diez imágenes, pareando la mayor intensidad de píxel para cada imagen respecto al *seeing* estimado después de haber hecho los cálculos correspondientes utilizando la fórmula mostrada en el paso anterior, resultaron en el diagrama de dispersión mostrado en la figura 5.

Figura 5: Diagrama de dispersión con la relación entre el píxel de mayor intensidad y el seeing en segundos de arco medido para cada imagen.



Como el tamaño de muestra es de diez, se calculó una estimación del intervalo de confianza para el seeing de la siguiente manera:

$$IC = X \pm Z s / \sqrt{n}$$

X es el valor de la media muestral, $Z = 1.96$ para un nivel de confianza del 95%, s es el valor de la desviación estándar muestral y n es el tamaño de la muestra, por lo que al sustituir resultó:

$$IC = 5.5390 \pm 1.96 * 0.4933 / \sqrt{10}$$

$$5.2332 < seeing < 5.8448$$

- Habiendo ya calculado el seeing, no es necesario regresar a la escala de Pickering a menos que el observador esté adquiriendo la experiencia en esta interpretación. Para ello la figura 6 muestra una equivalencia teórica entre seeing y las condiciones del cielo que, para el ejemplo que se acaba de proponer, indica que la escala de Pickering evalúa este cielo con un 4, o sea que las condiciones estaban entre medianas a buenas.

Figura 6. Equivalencia teórica entre la escala de Pickering y el seeing medido a través del FWHM

Escala Pickering cotas en arc.sec									
Condiciones de malas a medianas		de medianas a buenas		de buenas a excelentes		de excelentes a óptimas			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Valores del SEEING en su punto FWHM, para cada nivel de la escala									
13,19	10,21	7,91	6,12	4,74	3,67	2,84	2,20	1,70	1,32

Fuente: www.invlumer.e.telefonica.net/Planificando/SEEING/Escala_SEEING.htm

4. CONCLUSIONES

El procedimiento del cálculo del seeing mediante el FWHM es mucho más preciso dada la precisión de las cámaras CCD y la disponibilidad de software variado que permite analizar pixel por pixel la intensidad y características de una imagen.

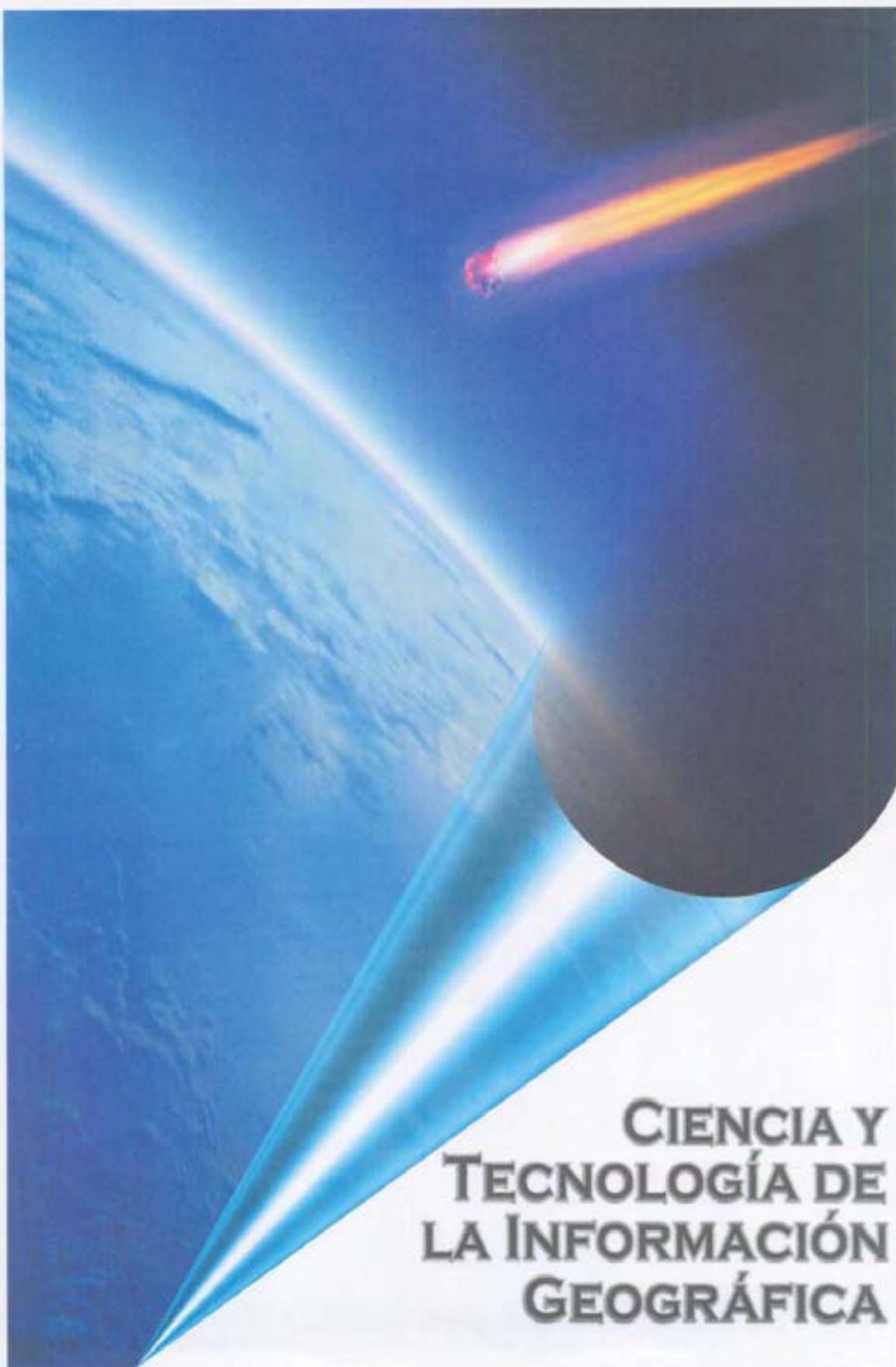
Ello ha llevado a poder prescindir de metodologías anteriores las cuales no eran tan precisas y someramente daban una idea de la calidad del cielo sin llevar a un valor puntual como, por ejemplo, 5.5390 segundos de arco como el estudio que se realizó.

5. RECOMENDACIONES

- El estudio indica que debe tomarse un número de datos que como mínimo sean de una decena. Esto más allá de mejorar la imagen ya procesada al final con un programa como por ejemplo IRAF, permite también tener una aproximación precisa del valor de cada pixel y por lo tanto el valor final del seeing.
- Si bien el valor del FWHM debe ser la misma para cualquier estrella en la misma imagen sin importar su intensidad, para tener mejor precisión es recomendable utilizar imágenes cuya intensidad sea relativamente alta, obviamente cuidando el hecho de no saturar la imagen en ninguno de sus puntos.
- En cada observación debe hacerse una estimación del seeing. Puede resultar de especial importancia después de comprobada la efectividad del método, buscar patrones horarios y estacionales de la variación del seeing.

BIBLIOGRAFÍA

- O'Byrne, J.W. Seeing Measurements Using a Shearing Interferometer. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*. 100:1169-1177. Septiembre 1988.
- Tubbs, Robert Nigel. *Lucky exposures: diffraction limited astronomical imaging through the atmosphere*. St. Johns College, Cambridge University. Septiembre 2003.



**CIENCIA Y
TECNOLOGÍA DE
LA INFORMACIÓN
GEOGRÁFICA**

Catálogo de firmas espectrales de especies florales, en la ciudad universitaria, Tegucigalpa, fase 1

Rafael Enrique Corrales Andino¹

RESUMEN

En virtud de los diferentes proyectos de investigación bajo las metodologías de las Tecnologías de la Información Geográfica (TIG), como la Percepción Remota, en la que realizamos estudios de objetos o cubiertas del suelo sin estar en contacto directo con ellas, para comprobar su precisión o patrón característico, es necesario contar con una librería o inventario de las firmas espectrales para cada especie vegetal, para igualarlo con lo encontrado en las imágenes de obtención remota por satélites.

En base a lo anterior se piensa crear un Catálogo de firmas espectrales de los diferentes materiales o cubiertas de suelo, en el espacio comprendido por los límites de la ciudad universitaria de Tegucigalpa, (UNAH), como apoyo para la identificación y clasificación de coberturas y uso del suelo, así como establecer una metodología de captura de firmas espectrales en ambiente natural.

Palabras Clave: *Firma espectral, Espectro radiometría.*

ABSTRACT

Under the various research projects under the methodologies of Geographic Information Technologies (GIT) and Remote Sensing, which conducted studies of objects or ground cover without being in direct contact with them to check their accuracy pattern or characteristic is necessary to have a library or inventory of the spectral signatures for each plant species, to match with what was found in images obtained by satellite remote.

Based on the above is intended to create a catalog of spectral signatures of different

¹ Observatorio Astronómico Centroamericano de Suyapa, UNAH, Tegucigalpa
rafa504@yahoo.com

materials or covered with soil, in the space by the limits of the university city of Tegucigalpa (UNAH), supporting the identification and classification of coverage and land use, and establish a methodology for capturing spectral signatures in the wild.

Keywords: *Spectral signatures, Spectral radiometry*

RESUMEN

El presente artículo describe el desarrollo de una metodología para la captura de firmas espectrales en el espacio por los límites de la ciudad universitaria de Tegucigalpa (UNAH), apoyando la identificación y clasificación de cobertura y uso del suelo, y establecer una metodología para la captura de firmas espectrales en el campo.

El presente artículo describe el desarrollo de una metodología para la captura de firmas espectrales en el espacio por los límites de la ciudad universitaria de Tegucigalpa (UNAH), apoyando la identificación y clasificación de cobertura y uso del suelo, y establecer una metodología para la captura de firmas espectrales en el campo.

Palabras clave: *Firmas espectrales, Radiometría espectral*

INTRODUCCIÓN

El presente artículo describe el desarrollo de una metodología para la captura de firmas espectrales en el espacio por los límites de la ciudad universitaria de Tegucigalpa (UNAH), apoyando la identificación y clasificación de cobertura y uso del suelo, y establecer una metodología para la captura de firmas espectrales en el campo.

El presente artículo describe el desarrollo de una metodología para la captura de firmas espectrales en el espacio por los límites de la ciudad universitaria de Tegucigalpa (UNAH), apoyando la identificación y clasificación de cobertura y uso del suelo, y establecer una metodología para la captura de firmas espectrales en el campo.

1. INTRODUCCIÓN

En virtud de los diferentes proyectos de investigación bajo las metodologías de las Tecnologías de la Información Geográfica (TIG), como la Percepción Remota, en la que realizamos estudios de objetos o cubiertas del suelo, (objetos geográficos) sin estar en contacto directo con ellas, para comprobar su precisión o patrón característico es necesario contar con una librería o inventario de las firmas espectrales para cada especie vegetal, para igualarlo con lo encontrado en las imágenes de obtención remota por satélites.

El objetivo general de esta Fase I, fue la creación de una metodología a seguir para la captura de firmas espectrales y la posterior elaboración de un Catálogo de Firmas Espectrales de los diferentes materiales o cubiertas de suelo, en el espacio comprendido por los límites de la ciudad universitaria de Tegucigalpa, (UNAH), como apoyo para la identificación y clasificación de coberturas y uso del suelo, así como prácticas de laboratorio para la asignatura CTE-111.

Los objetos geográficos tienen diferencias radiométricas, permitiéndonos identificarlos sobre una imagen compuesta por el producto de la captación remota de la señal emitida por cada objeto. Esta captación de energía es relativamente ponderada por cuatro factores en particular:

Factor 1: Identificar lo que entendimos por los términos de objetos geográficos. Los doseles de dos árboles vecinos, en caso que constituyen dos objetos geográficos semánticamente idénticos, estos pueden ser totalmente diferentes por su composición química, su tamaño, su orientación su textura y estructura, entre otras. Esto ocasiona que a menudo otros resultados diferentes a los esperados, surjan al momento de querer pasar de una identificación individual entre un grupo de individuos geográficos.

Factor 2: Fisiología, dado el caso de dos objetos geográficos naturalmente semejantes como parcela de maíz próximas a un área urbana, nos pueden arrojar reflectancias diferentes en función de su estado fisiológico, la densidad de plantación, la orientación de las parcelas, entre otras.

Factor 3: Distorsiones del entorno, las interferencias del entorno geográfico del objeto a identificar, juegan también un papel en la distorsión de la reflectancia, como focos de contaminación en dos fechas de tiempo para el mismo escenario.

Factor 4: La adecuación entre lo que se busca y la capacidad de restitución de los

sensores, no constituye por sí sola una limitante única. Los parámetros intrínsecos a los satélites como la hora, la estación y el ángulo de la toma entre otros, están lejos de ser factores marginales y sus grados de incidencia son variables en función de los estudios a realizar.

La búsqueda de las firmas espectrales entre los diferentes objetos geográficos de interés, nos parece como un ejercicio difícil pero no del todo imposible. La Percepción Remota es la respuesta a estas dificultades una vez que hemos tomado conciencia de las limitaciones objetivas que presenta nuestro instrumento de trabajo.

1.1. Tipos de firmas espectrales

En función a las características de captura de información de parte del sensor, accedemos a los tipos de firmas espectrales siguientes:

1.1.1. Firmas monobanda

Las firmas espectrales de los objetos geográficos son contenidas en un solo canal dentro de un intervalo parcial del ancho de onda total, por lo que la firma espectral del objeto geográfico es solamente su respuesta espectral dentro del único canal disponible.

1.1.2. Firmas multibanda

Al contrario de las firmas monobanda, en este caso, las firmas están contenidas en varios canales caracterizados individualmente por la cobertura de un intervalo del ancho de onda total. Otros satélites pueden ofrecer bastante más canales y los casos extremos son alguna toma en hiperfrecuencias activas alcanzando más de cien canales.

1.1.3. Firmas de origen opcional

Las firmas espectrales de origen opcional obedecen en su lógica de toma a algunos factores fijados por el usuario para el tratamiento de una información variable en función de los mismos factores. Para el caso, podemos mencionar las firmas de toma multitemporal: en donde la toma multitemporal, constituye una respuesta a la variación temporal de los objetos geográficos. Para el caso

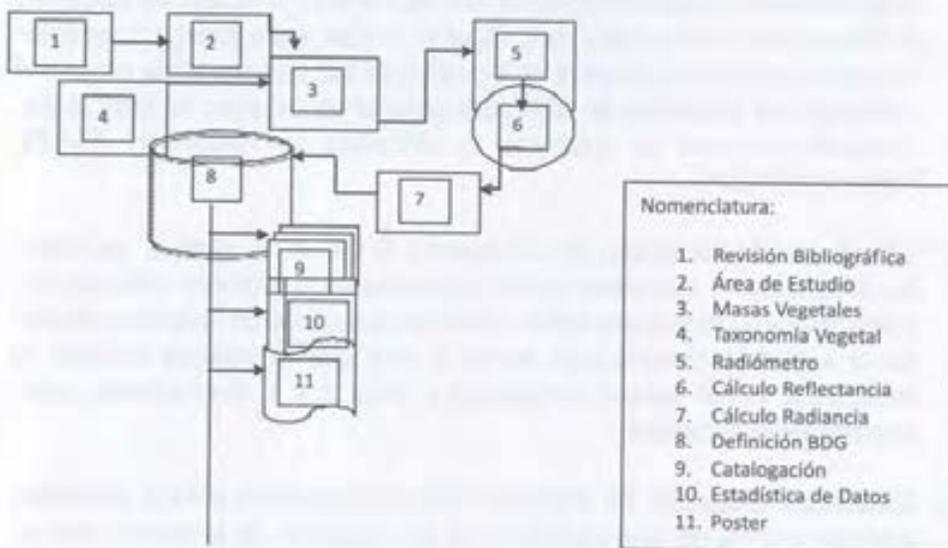
la variación estudiada, puede ser la de la flora en función de las estaciones del año o la variación de los usos del suelo. La temporalidad es una dimensión dependiente del objeto estudiado: para la flora, los ciclos fisiológicos y las prácticas agrícolas y forestales, determinan el uso temporal del dato espectral.

1.1.4. Accesibilidad a las firmas espectrales

De una manera global, tenemos dos posibilidades de acceder a firmas espectrales integradas. La primera de ellas consiste en dejar los valores digitales (VD) como están en el soporte en que se adquirió la imagen. La segunda posibilidad, se acostumbra usarla en los estudios del medio natural o de agricultura por sus estructuras y texturas homogéneas frente a las de los medios urbanos y periurbanos. Esta posibilidad, consta en la conversión de valores de los píxeles de origen en valores porcentuales de la reflectancia para poder comparar las repuestas espectrales a una escala espacial, temporal y de fuentes diferentes. La medida en estos términos, es función de la superficie cubierta por el tamaño de cada pixel: aquí la tasa de reflectancia calculada por cada pixel, toma el valor medio de los objetos geográficos contenido en la misma superficie.

2. MÉTODO

El método es deductivo, y a continuación se presenta una organización general del mismo, el cual se desarrolló de la manera siguiente:



1. **Revisión bibliográfica:** Este paso fue importante para conocer las diferentes maneras de capturar la respuesta espectral empleadas con las nuevas Tecnologías de la Información Geográfica y adaptarlas a las necesidades de este proyecto.
2. **Área de Estudio:** El Área debe ser congruente con la forma de mapa base y la escala de representación del proyecto. En otras palabras, la distribución de los objetos geográficos se deben distinguir en el mapa base (Fotografía Aérea, o Imagen Satelital), en los cuales se hará la clasificación preliminar de las diferentes cubiertas vegetales, que posteriormente se identificarán taxonómicamente.
3. **Masa vegetales:** En esta sección se requieren recorridos de campo en toda el área de estudio, la clasificación de primer nivel de la vegetación.
4. **Taxonomía Vegetal:** En base a la experiencia profesional del investigador, y/o la implementación de guías y claves taxonómicas, la cual deberá complementarse con una hoja de registro que contendrá el nombre común, nombre científico (linaje), posición y distribución espacial (coordenadas geográficas y sistema de referencia espacial en base a datos de País) y una fotografía de la misma.
5. **Radiometría:** Con la ayuda del Radiómetro de campo, será posible distinguir las diferentes variaciones de luminosidad de las coberturas vegetales en cada rango del espectro electromagnético más frecuente en las imágenes satelitales de Percepción Remota, tales como (Spot y LandSat, entre otros), ya que estos miden la cantidad proporcional de luz reflejada por una superficie como una función de las longitudes de onda para producir un espectro de reflectancia. Para este proyecto se estableció la utilización del radiómetro JEULIN, Referencia 545031.
6. **Cálculo de Reflectancia:** La reflectancia R de una superficie, se define físicamente como el cociente entre la potencia de la radiación reflejada y la potencia total recibida por la misma. Dado que la cantidad de radiación reflejada por la superficie siempre será menor o igual que la potencia recibida, la reflectancia tendrá valores comprendidos entre 0 y 1. Normalmente suele expresarse en porcentaje.
7. **Cálculo de Radiancia:** Se define por radiancia el cociente entre la intensidad luminosa emitida por una superficie y el área aparente de la misma, para un

observador lejano. La radiancia se expresa en unidades de wátios / sterorradian A m². La radiancia de una Superficie depende de la longitud de onda de la luz. Por ello se define la radiación espectral $L(\lambda)$ para una longitud de onda dada, como:

$$L(\lambda) = \frac{\Delta I(\lambda) \cos \theta}{\Delta A}$$

Donde θ es el ángulo formado por la normal a la superficie radiante y la dirección considerada.

8. **Definición de Base de Datos Geográfica BDG:** Es un modelo que permite el almacenamiento físico de la información geográfica, ya sea en archivos dentro de un sistema de ficheros o en una colección de tablas en un Sistema Gestor de Base de Datos (Microsoft Access, Oracle, Microsoft SQL Server, IBM DB2 e Informix). Para la creación de esta se utiliza como Plataforma el Programa ArcGIS 9.2 de ESRI.
9. **Catalogación:** Esto consiste en el registro final de las diferentes firmas espectrales de las cubiertas vegetales encontradas en el análisis, las cuales se presentarán como una librería para el apoyo a la colección de firmas espectrales de todas las coberturas de uso del suelo para el país.
10. **Estadística de Datos:** Generación de reportes por especie en Hoja de Cálculo y su respectiva Gráfica.
11. **Poster:** Composición Cartográfica, con documentación fotográfica.

3. RESULTADOS METODOLÓGICOS

1. **La Ubicación del área de estudio:** Corresponde a los predios de la Ciudad Universitaria, Tegucigalpa. Con aproximadamente 796,378.39 metros cuadrados y una posición geográfica de 482188E y 1557245N, en Coordenadas UTM Zona 16P, con una Referencia Espacial en el Esferoide y Datum WGS86. La Primera Ortofotograma (Figura 1) es del año 2001, tomada por la Cooperación Japonesa (JICA). En base a esta Ortofotograma se estableció el área como se muestra en la Figura 2.

Figura 1. Sección de Ortofotograma de Tegucigalpa, año 2001.



Figura 2. Ortofotograma de Sección de Tegucigalpa, año 2006, Fuente Google Earth (Izquierda), ArcGIS 9.2.Cálculo de Área (Derecha)



2. **Utilizando un radio espectrómetro:** JEULIN Radiametre 545031 (Figura 3), de fácil utilización de campo, el cual se trabaja con una fuente de energía externa (El Sol), en seis bandas del espectro electromagnético: Azul (0.4-0.5 μm), verde (0.5-0.6 μm), rojo (0.6-0.7 μm), rojo lejano (0.7-0.8 μm), rojo completo (0.6-0.8 μm), e infrarrojo (0.8-1.1 μm).

Figura 3. JEULIN Radiometre, Registro 555031.



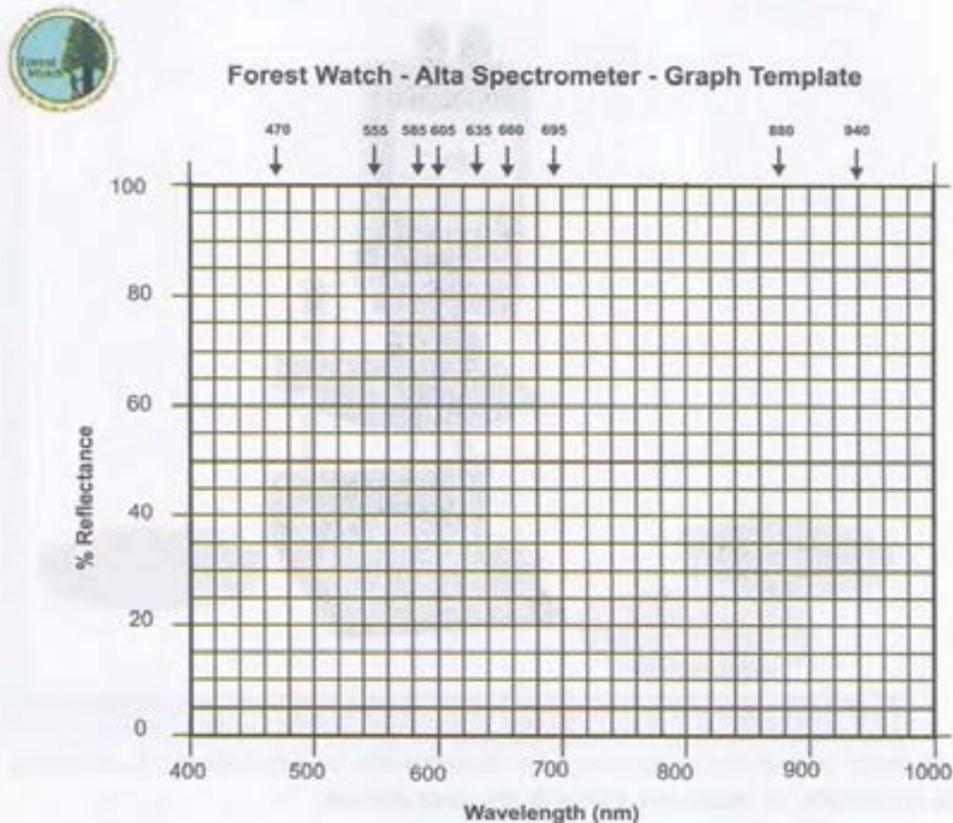
Utilizando un radiómetro para capturar el porcentaje de reflectancia o la radiancia de la cubierta, es necesario aplicar la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Reflectante} = ((\text{Sample Reflectance} - \text{Dark Current}) / (\text{Reference Value} - \text{Dark Current})) * 100$$

Cada uno de los datos medido en las diferentes bandas del espectro electromagnético por espécimen, se debe tabular y ser representada en un gráfico, el cual se puede construir en diferentes formatos, uno de ellos se muestra a continuación y fue establecido por el proyecto Forest Watch (Figura 4).

- 3. Base de Datos Preliminar:** La firmas espectrales a comparar son las de Coníferas (Figura 5), Pastos Secos (Figura 6), Juniperus (Figura 7), y Arbustos (Figura 8), como muestra la galería de Firmas espectrales del Laboratorio de Espectroscopia del Servicio Geológico de los Estados Unidos (<http://speclab.cr.usgs.gov/spectral-lib.html>).

Figura 4. Cuadrícula utilizada para la representación gráfica de las Firmas Espectrales, en el Proyecto Forest Watch, el radiómetro ALTA II.



Los gráficos modelos de Firmas Espectrales que se utilizaran para el análisis de comparaciones de las diferentes cubiertas vegetales dentro del área de estudio (Ciudad Universitaria), se presentan en un rango del espectro electromagnético mucho más amplio; abarcando desde el rango visible (azul, verde y rojo) al rango infrarrojo (IR Cercano y Medio).

Mientras que los filtros utilizados en el radiómetro sólo llegan al Infrarrojo Cercano (IRC).

Figura 5. Firma Espectral de Árboles de Coníferas.

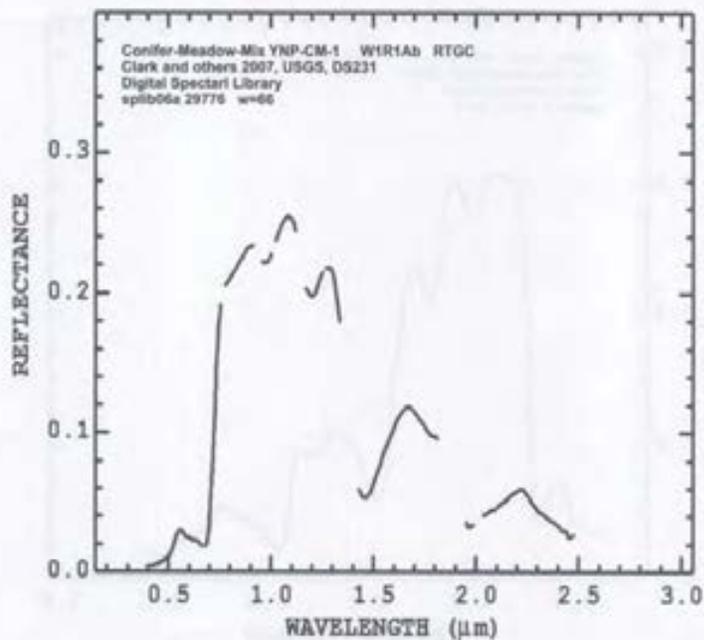


Figura 6. Firma Espectral de Pastos Secos.

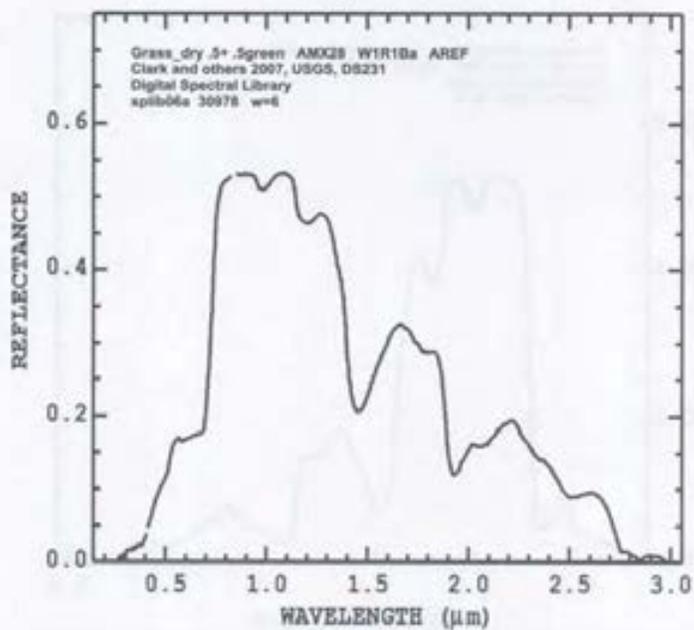


Figura 7. Firma Espectral de Juniperus.

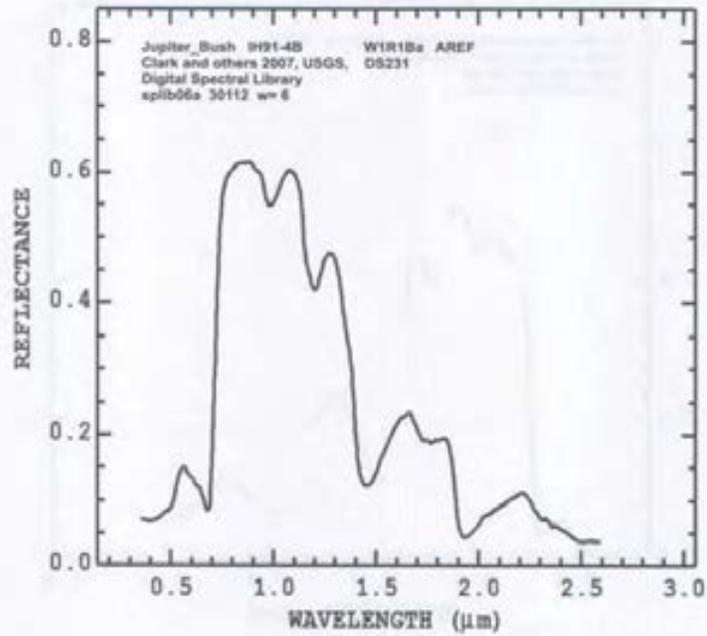
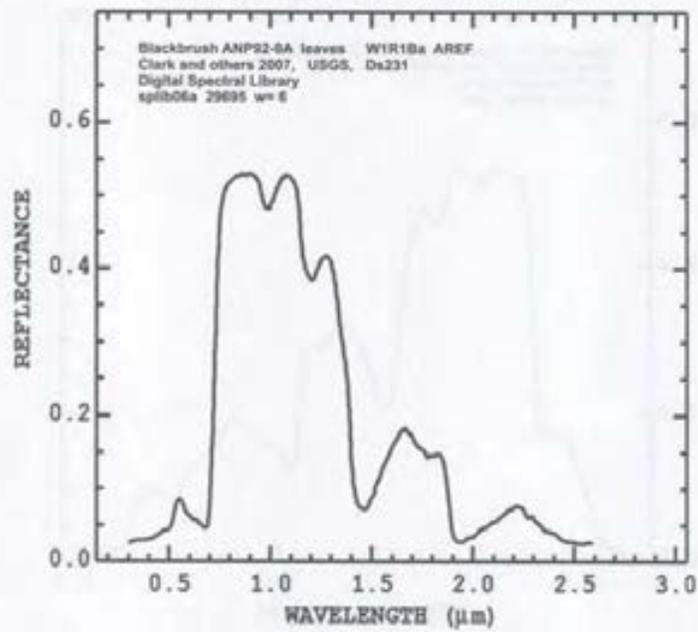


Figura 8. Firma Espectral de Arbustos



4. DISCUSIÓN

Investigadores como Carmelo Alonso del Departamento de Teledetección, INDRA, Madrid, son de la opinión que "En la bibliografía suelen encontrarse bastantes trabajos sobre medidas radiométricas para diferentes coberturas y en diferentes condiciones. Sin embargo, muy pocos son asequibles para los alumnos que comienzan a introducirse en el campo de la teledetección", es por eso que tomando en cuenta esta observación y por el incipiente desarrollo de las Tecnologías de la Información Geográfica TIG, específicamente en la Percepción Remota, área que en la actualidad es una potente herramienta para la obtención de fuentes de datos para el desarrollo de estudios de la cubierta terrestre y la posibilidad de establecer cambios a través del tiempo, es importante comenzar a inventariar o catalogar de forma espectral cada una de las cubiertas, comenzando por establecer una metodología de aplicación sencilla y de fácil acceso por los investigadores locales.

5. CONCLUSIONES

- Con los resultados de esta metodología se pretende capturar la reflectancia de las diferentes masas vegetales de mayor representación para el área de la ciudad universitaria; de esta manera será posible establecer una línea de investigación dentro del campo de la Percepción Remota.
- Que con esta Metodología se establezcan las librerías de Firmas Espectrales necesarias para el desarrollo de Sistemas de Clasificación de la Cobertura y Uso del suelo, del País.
- A la vez, se pretende implementar como una práctica de laboratorio de firmas espectrales de diferentes coberturas (elementos geográficos naturales y antrópicos), en la asignatura CTE-111. Introducción a la Percepción Remota.

BIBLIOGRAFÍA

- Alonso, C, Victoriano Moreno y Elías Rodríguez. Determinación Experimental de la Firma Espectral de la Vegetación. Una Sencilla Práctica de Introducción a la Teledetección. Disponible en:
<http://www.elgeomensor.cl/downloads/teledeteccion/index.php?file=determinacion-experimental-defirma-espectral-delavege.pdf>
- González Acosta, Virginia, Demetrio Roquionil Rodríguez y Jesús Moreira Martínez. Mapeo espectral de calizas en sectores de La Habana usando imágenes LANDSAT TM. Disponible en:
<http://www.iga.cu/CD1/Temas/Tratamiento%20digital%20imagenes/Virginia%20Gonzalez/Virginia%20Gonzalez.pdf>

- Jiménez. M, Díaz-Delgado. R, Soriguer. R. C, Prado. E, García y A. Gutiérrez de la Cámara. Diversidad biológica del matorral de la Reserva Biológica de Doñana mediante imágenes hiperespectrales aeroportadas AHS. Disponible en: <http://www.ebd.csic.es/ricardo/publi/Sigteco.pdf>
- Stephen Westland. 2001. Cómo funciona un espectrofotómetro de reflectancia Disponible en: http://www.gusgsm.com/funciona_espectrofotometro_reflectancia
- USGS. USGS Spectroscopy Lab USGS. Disponible en: <http://speclab.cr.usgs.gov>
- Vaughan Martín-Mateo, Patrick. Estimación de contenido de humedad de la vegetación mediante espectrometría. Disponible en: http://www.investigacion.cchs.csic.es/espectroradiometria/sites/investigacion.cchs.csic.es/espectroradiometria/files/files/uploads/TESINA_VAUGHAN%20P_2001_0.pdf
- Weidisch-Quñones, H. A. Validación de Firmas Espectrales Utilizando Percepción Remota en Relación a los Pigmentos Asociados a las Cianobacterias en las Salinas de Cabo Rojo, Puerto Rico 2004. Disponible en: <http://gers.uprm.edu/>

Maestría en ordenamiento y gestión del territorio: Líneas de investigación

Vilma Lorena Ochoa López¹

RESUMEN

La Maestría en Ordenamiento y Gestión del Territorio es un Programa Académico de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras, que desarrolla el Observatorio Astronómico Centroamericano de Suyapa, ahora Facultad de Ciencias Espaciales en colaboración con el Departamento de Geografía de la Universidad de Alcalá, España. Este programa se crea en el año 2005 y actualmente está desarrollando su Segunda Promoción. El Plan de Estudios de la Maestría comprende seis campos: Geografía, Geodesia, Cartografía, Sistemas de Información Geográfica, Percepción Remota, y Ordenamiento Territorial, teniendo como requisito de graduación la presentación y defensa de un Proyecto de Investigación como Tesis. Las líneas de investigación que se están desarrollando son Regionalización, Análisis espacial, Cartografía de recursos naturales, riesgos, incendios, recursos turísticos y atlas, Dinámica de cobertura y usos del suelo, Ecología y Unidades de paisaje, Redes geodésicas, Localización de equipamientos, Uso de teledetección en la creación de datos, Desarrollo de aplicaciones de programación, y Aplicaciones de ordenamiento territorial.

Palabras claves: *Maestría en Ordenamiento y Gestión del Territorio, Líneas de Investigación, Proyectos de Tesis.*

ABSTRACT

The Master in Land Management and Territory Ordering, is an Academic Program of the National Autonomous University of Honduras, developed at the Central American Suyapa Astronomical Observatory, now Space Science Faculty, in collaboration with the Department of Geography, University of Alcalá, Spain. This program was created in 2005 and is currently developing its second promotion. The curriculum of the Master consists of six fields: Geography, Geodesy, Cartography, GIS, Remote Sensing and Land Management, having as graduation requirement a

¹ Observatorio Astronómico Centroamericano de Suyapa, UNAH, Tegucigalpa

Graduate Research Project as thesis. The research lines being developed are: Regionalization, spatial analysis, natural resource mapping, hazards, fires, tourism resources and atlases, cover dynamics and land use, ecology and landscape units, geodetic networks, location of equipment, remote sensing data use in the creation, application, development programming and land management applications.

Keywords: *Master in Land Management and Territory Ordering, Research Interests, Projects Thesis.*

1. ORIGEN Y APROBACIÓN DEL PROGRAMA DE MAESTRÍA

La Maestría en Ordenamiento y Gestión del Territorio (MOGT) es un Programa de Maestría que nace en 2004, como una iniciativa del Observatorio Astronómico Centroamericano de Suyapa de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras (OACS/UNAH) en colaboración con el Departamento de Geografía la Universidad de Alcalá (UAH), España y posteriormente se incorpora al proceso de creación la Secretaría de Gobernación y Justicia, a través de la Unidad Coordinadora de Proyectos (UCP).

Este Programa se creó en Septiembre de 2005, por Acuerdo de la Comisión de Transición y por Acuerdo del Consejo de Educación Superior – UNAH el cual aparece en el Libro de Registro de Aprobación de Carreras y Planes de Estudio de la Dirección de Educación Superior, en el Tomo IV-05, Folio No.149, Registro RP-239-10-05.

La Maestría en Ordenamiento y Gestión del Territorio es un programa académico, cuya finalidad es formar profesionales calificados y comprometidos socialmente, para desempeñarse con eficacia y eficiencia en la dirección de los procesos de ordenamiento territorial integrado que se realizan en Honduras y en la Región Centroamericana.

Además, es una respuesta a las necesidades de las diferentes instituciones gubernamentales, municipales y privadas de formar y capacitar recursos humanos en Tecnología Espacial y de la Comunicación para la gestión del territorio y manejo de los recursos naturales (UNAH, UAH, SGJ-UCP, 2005).

Previo a la preparación y aprobación del Plan de Estudios de la Maestría en Ordenamiento y Gestión del Territorio, se desarrolló un proceso de diagnóstico que señaló la necesidad de orientar el Plan hacia:

- La gestión de los recursos naturales, relacionada con áreas protegidas, producción y conservación de los recursos hídricos y bosques.
- La cartografía y gestión de riesgos, orientada a incendios, inundaciones, deslizamientos y otros fenómenos naturales.
- El ordenamiento territorial, orientado a la zonificación del territorio, el uso del suelo (actual y potencial), urbanización que se puede relacionar con la ubicación de infraestructura y servicios, y áreas de producción agrícola.

Habiendo sido éste último el que resultó ser de interés prioritario, como

consecuencia de la aprobación reciente, en ese entonces, de la Ley y el Reglamento de la Ley de Ordenamiento Territorial de Honduras.

2. PLAN DE ESTUDIOS Y POLÍTICAS ACADÉMICAS

En respuesta a las necesidades de país, establecidas en el Documento de Diagnóstico, se definió un Plan de Estudios para una Maestría Académica, que tiene como bases las Ciencias y Tecnologías Espaciales con aplicación al Ordenamiento Territorial.

Este Plan de Estudios cuenta con 51 unidades valorativas (créditos) y 19 asignaturas, distribuidas en seis (6) áreas del conocimiento: (1) Geografía, (2) Geodesia, (3) Cartografía, (4) Sistemas de Información Geográfica, (5) Percepción Remota, (6) Ordenamiento Territorial.

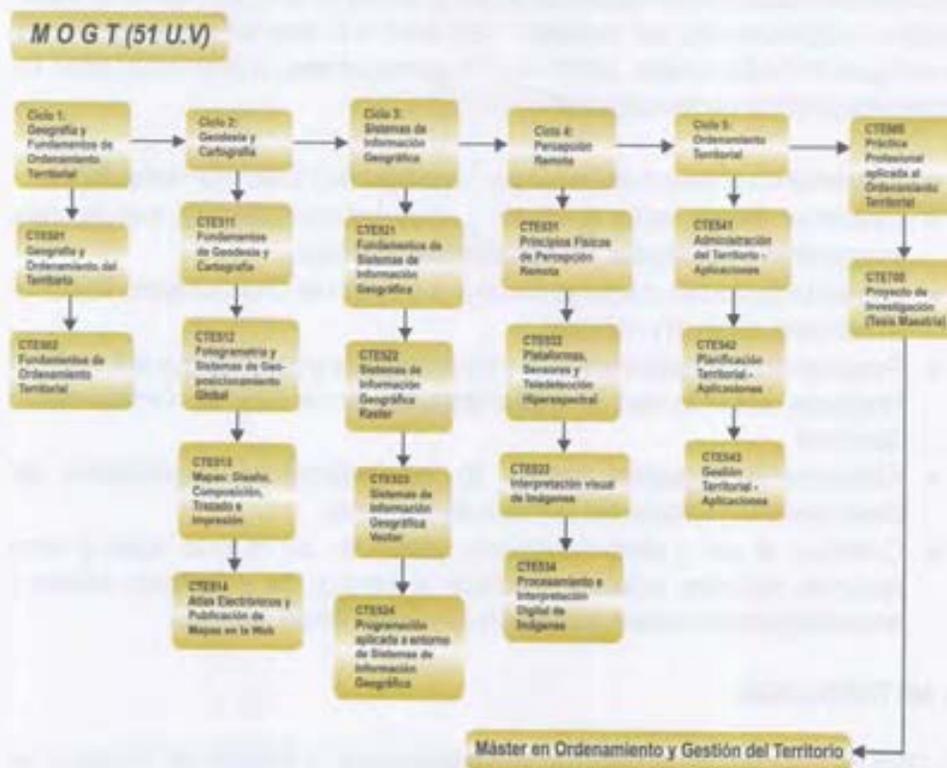
Con las primeras cinco áreas, se espera que los estudiantes dominen conocimientos y técnicas espaciales fundamentales para el procesamiento, interpretación y análisis de datos geoespaciales y su aplicación en la ordenación del territorio.

Y al desarrollar el área de Ordenamiento Territorial, los estudiantes adquirirán los conocimientos y habilidades necesarias para la administración, planificación y gestión territorial a nivel nacional, regional, municipal y local.

El Plan de Estudios tiene una carga horaria de 1788 horas de estudio, de las cuales el 81% corresponde a las asignaturas (26% horas de teoría y 74% horas prácticas) y el 19% corresponde al proyecto de investigación (con 86% de horas prácticas).

Las asignaturas del Plan de Estudios de la Maestría siguen el flujograma que se muestra en la Figura 1. Aquí se muestra, por ciclos el orden de las 21 asignaturas que los estudiantes tienen que aprobar.

Figura 1. Flujoograma de la Maestría en Ordenamiento y Gestión del Territorio de la UNAH.



Fuente: Plan de Estudios MOGT-OACS/UNAH)

Para mantener la permanencia en el Programa de la MOGT, las políticas académicas exigen que los estudiantes cumplan con el 80% de asistencia, alcancen la nota mínima de aprobación de 80% y cumplan todos los requisitos académicos y financieros establecidos para los estudiantes universitarios en la UNAH.

3. POLÍTICAS DE INVESTIGACIÓN

La Maestría en Ordenamiento y Gestión del Territorio tiene como Misión, "Formar profesionales responsable capaces de vincular los conocimientos teórico-prácticos y la investigación de la ciencia y tecnología espacial con la realidad social y el medio natural, y que saben aplicarlos de manera autocrítica y propositiva a

situaciones administrativas, de gestión y ordenamiento del territorio, para integrarse a los procesos de desarrollo de la nación". Su Visión es, "Dar respuesta a las necesidades nacionales y regionales, en los procesos de dirección, administración, gestión y ordenamiento del territorio". En base a lo anterior y a las líneas de investigación institucionales, dentro del Programa de Maestría se establecen las siguientes políticas de investigación:

- Fortalecer los objetivos de Docencia, Investigación y Extensión de la UNAH.
- Establecer Redes, entre la UNAH y otras universidades del mundo, para intercambiar experiencias y conocimientos científicos.
- Formar profesionales capaces de dirigir el proceso de Ordenamiento Territorial a nivel local, regional y nacional.
- Proponer alternativas de solución a los principales problemas que el Estado de Honduras enfrenta con la implementación de la Ley de Ordenamiento Territorial.
- Fortalecer la capacidad técnica de las instituciones responsables del Ordenamiento y Gestión del Territorio de Honduras.
- Contribuir al uso y aprovechamiento sostenible del recurso suelo y otros recursos naturales, además contribuir al rescate del patrimonio natural y arqueológico de la nación, a través de la ordenación del territorio.

4. METODOLOGÍA

El Plan de Estudios de la Maestría en Ordenamiento y Gestión del Territorio, se desarrolla a través de las asignaturas, los seminarios, la práctica profesional y el proyecto de tesis.

Las asignaturas. El plan de estudios se desarrolla en modalidad semipresencial, que consiste en que cada asignatura se desarrolla en un periodo de cinco semanas: cuatro semanas de clases en línea a través de la plataforma tecnológica educativa Moodle y una semana de clases presenciales en la ciudad universitaria.

Durante las clases en línea los estudiantes revisan y analizan material bibliográfico, y participan en foros de discusión, todo esto bajo la coordinación de un profesor especialista en el área. Las clases presenciales están orientadas a reforzar la comprensión de los conocimientos teóricos de la asignatura y el desarrollo de sus aplicaciones prácticas.

Los seminarios. Simultáneamente a las clases presenciales, se desarrollan los

Seminarios de Ordenamiento Territorial, que cuentan con la participan diferentes expositores, Profesores, estudiantes de postgrado e invitados especiales, que contribuyen al programa de formación. Con ellos se da a conocer a la comunidad en general los avances científicos relacionados con el Ordenamiento Territorial y campos afines. Además, se desarrollan los *Seminarios de Investigación* como un espacio de divulgación y discusión de las metodologías y técnicas de investigación científica; estos seminarios son desarrollados por todos y cada uno de los profesores del Programa.

Práctica Profesional. Esta actividad de Vinculación Universidad – Sociedad, es un trabajo de aplicación desarrollado en base a casos reales de administración y gestión territorial a nivel nacional, regional, municipal y particularmente en zonas de interés geográfico y/o sectorial o temático, implicando el uso de SIG y Percepción Remota y sus tecnologías asociadas, que puede incluir trabajo de campo cuando sea necesario.

Proyecto de Tesis. Este se desarrolla bajo la dirección de un Profesor Tutor y con el apoyo de otros profesores asesores. El estudiante desarrolla un proyecto de investigación de su elección, donde aplica los conocimientos, las metodologías y técnicas de investigación para solucionar un problema específico de estudio, que puede ser de interés nacional, regional, municipal y particularmente en zonas de interés geográfico y/o sectorial o temático.

5. PERSONAL DOCENTE

En el Programa participan profesores especialistas, con amplia experiencia docente y en su campo profesional, además de su experiencia en la dirección o participación en proyectos de investigación científica y trabajo con estudiantes de postgrado.

La mayor parte de los profesores son profesionales contratados en calidad de Profesores Visitantes, de los cuales el 19% son nacionales y el 81% son extranjeros. Hasta ahora, estos últimos se desempeñan como profesores de las Universidades de Alcalá, Politécnica de Madrid y Del País Vasco de España, ó de la Universidad Nacional de Lujan, Argentina, la Universidad de Guadalajara de México y de otras universidades de la región, con las cuales existen nexos de colaboración.

En la tabla 1, se presenta la lista de los profesores que participan en la MOGT destacando su área de especialización. Aquí se puede notar que los campos más representados son los Sistemas de Información Geográfica, Teledetección y sus aplicaciones.

Tabla 1. Área de especialización del Personal Docente de la Maestría en Ordenamiento y Gestión del Territorio.

No.	PROFESORES	ÁREAS DE ESPECIALIZACIÓN
NACIONALES		
1	Dra. María Cristina Pineda de Carias	Percepción Remota (Teledetección)
2	Dra. Elsa Lily Caballero	Ordenamiento Territorial
3	Msc. Vilma Lorena Ochoa López	Recursos Naturales
4	Msc. Carlos Héctor Sabillón	Geografía
5	Msc. Jorge Reyes Silva	Administración
INTERNACIONALES		
6	Dr. Joaquín Bosque Sendra	Geografía Humana
7	Dr. Gustavo Buzai	Sistemas de Información Geográfica
8	Dr. Francisco Maza Vásquez	Geodesia y Cartografía
9	Dra. Ruth Miranda Guerrero	Atlas, Cartografía temática y multimedia, Gestión territorial y Tecnologías de la información geográfica
10	Dr. Aitor Bastarrica Izaguirre	Programación en aplicaciones en SIG
11	Dr. Juan Gregorio Rejas Ayuga	Teledetección y Análisis Hiperespectral, Modelos digitales del terreno
12	Dr. José Antonio Malpica	Geodesia, Cartografía matemática, Fotogrametría
13	Dr. Francisco Escobar Martínez	Análisis geográfico regional
14	Dr. Luis Carvacho Bart	Sistema de información geográfica
15	Dra. Guadalupe Rodríguez	Ingeniería cartográfica, Geodesia y fotogrametría
16	Dr. Emilio Chuvieco Salnero	Análisis geográfico regional y teledetección
17	Dr. Víctor Rodríguez Espinosa	Geografía Humana
18	Dra. Angnes Teresa Aldana Dezzeo	Geografía, producción cartográfica
19	Dra. Marta Yebra Álvarez	Teledetección
20	Dra. Haydee Karszenbaum	Teledetección
		Teledetección
21	Dra. Patricia Oliva	Geografía humanas, Geodesia y topografía
22	Dr. Wenseslao Plata Rocha	Desarrollo de páginas web e infraestructura de datos espaciales
23	Dr. Diego José Padrón Paredes	Ordenamiento territorial
24	Arq. Osvaldo Ramacciotti	Administración de tierras
25	Arq. Edgardo Derbes	Administración de tierras
26	Msc. Carlo Foletti	Recursos naturales

Además, participan otros profesores en calidad de invitados especiales, que desarrollan temas muy particulares en el marco de las asignaturas.

6. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Las áreas de investigación prioritarias que se plantean en el Plan de Estudios, y que se proponen desarrollar a través de los Proyectos de Investigación y Trabajos de

Tesis del Programa de Maestría, surgen de la consulta con el Sector Gubernamental y otras instituciones relacionadas. Encontrándose que a nivel nacional las áreas de mayor relevancia son las siguientes:

- **Regionalización nacional, esquema de ordenamiento territorial:** A nivel nacional las diferentes instituciones han establecido las regiones más convenientes para el cumplimiento de sus objetivos, pero como nación no existe una estructura que estandarice las regiones.
- **Áreas protegidas, zona núcleo y área de amortiguamiento:** Las áreas protegidas que existen en el país, no cuentan en su totalidad con un decreto que las proteja, por lo que se hace necesario desarrollar investigaciones que generen los elementos adecuados para lograr un mejor manejo y administración de estas áreas.
- **Cuencas, sub-cuencas y microcuencas:** En regiones del país las cuencas, sub cuencas y microcuencas se están considerando como unidades de manejo del territorio y los recursos naturales, y algunas instituciones gubernamentales han establecido lineamientos para el aprovechamiento de estas áreas.
- **Diagnóstico territorial municipal, zonificación:** Su importancia radica en el apoyo que se pueda brindar a aquellos municipios de escasos recursos.
- **Delimitación de perímetros urbanos:** Desarrollar esta línea de investigación será una contribución importante para las comunidades.
- **Zonificación urbana, centros históricos y sitios arqueológicos:** La expansión urbana trae consigo la modernización de las comunidades y la pérdida de valiosos recursos históricos, esta línea de investigación puede crear elementos importantes para la identificación, valoración y preservación de estos recursos.
- **La gestión de los recursos naturales, relacionada con áreas protegidas, producción y conservación de los recursos hídricos y bosques:** Las investigaciones en este campo pueden contribuir a minimizar los impactos que el avance de las fronteras agrícola y urbana está causando en los recursos naturales.
- **Cartografía y gestión de riesgos, orientada a incendios, inundaciones, deslizamientos y otros fenómenos naturales o antrópicos:** La vulnerabilidad de Honduras a riesgos de incendios y fenómenos naturales plantea la necesidad de producir cartografía de alto nivel, que permita tomar decisiones más adecuadas para minimizar la exposición al riesgo de población y la infraestructura del país.
- **Ordenamiento territorial,** orientado a la zonificación del territorio, el uso del

suelo (actual y potencial), urbanización que se puede relacionar con la ubicación de infraestructura y servicios, y áreas de producción agrícola.

Las investigaciones que se generen en el marco de la Maestría en Ordenamiento y Gestión del Territorio, pueden ser a partir de los Proyectos de Investigación de Tesis o como Proyectos de Investigación de los Profesores.

En todos los casos, se espera que los resultados de la investigación generen teorías, información y herramientas que sirva de base para la toma de decisiones en las diferentes instituciones y organizaciones que participan en la administración y gestión del territorio y los recursos naturales de nuestro país y la región centroamericana.

7. PROYECTOS DE TESIS

Como requisito de graduación todo estudiante matriculado en el Programa de Maestría en Ordenamiento y Gestión del Territorio, debe desarrollar un proyecto de investigación, el cual finaliza con la elaboración y defensa de una tesis.

PRIMERA PROMOCIÓN MOGT1

En el desarrollo del Seminario de Investigación se fueron realizando esfuerzos encaminados a que los estudiantes de la I Promoción de la MOGT definieran sus áreas de investigación. Pero fue durante la realización del I Congreso de Investigación Científica y como producto de las reuniones de trabajo de la Comisión Técnica de la Maestría con los estudiantes, que se formalizan los temas de Investigación. En la Tabla 2 se incluyen los temas de tesis con que se graduaron los estudiantes que lograron cumplir con todos los requisitos de graduación.

Tabla 2. Proyectos de Investigación de Tesis de los estudiantes: I Promoción MOGT.

No.	NOMBRE DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN (TESIS)
1	Regionalización de Honduras: Hacia la construcción de Regiones-Plan a través del análisis espacial cuantitativo
2	Análisis multitemporal de la cobertura de la tierra en la cuenca el Valle d Jesús de Otoro, entre los años 2000 - 2006, aplicando técnicas de teledetección

Con las investigaciones propuestas se espera lograr los objetivos siguientes:

1. "Desarrollar tres propuestas de Regionalización Nacional, que sirvan de base para orientar el desarrollo social, económico y ambiental de Honduras, aplicando técnicas de análisis espacial cuantitativo".
2. "Generar geografía temática primaria utilizando datos multispectrales en la cuenca del Valle de Jesús de Otoro, entre los años 2000 y 2006, con la finalidad de proporcionar información base que permita la toma de decisión en el ordenamiento y gestión del territorio".

8. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN SEGUNDA PROMOCIÓN

Para la Segunda Promoción de la Maestría en Ordenamiento y Gestión del Territorio (MOGT2), se han definido las aéreas de trabajo bajo las cuales los estudiantes desarrollaran su Proyecto de Investigación. Los Estudiantes de la MOGT2 con el apoyo de los Profesores del Comité Técnico de Investigación de la Maestría han identificado quince líneas de interés, y es de señalar la aparición de nuevas líneas a las establecidas en el Plan de Estudios:

- **Localización de Equipamientos:** El crecimiento poblacional, lleva implícito la ubicación adecuada de infraestructura que beneficie a más sectores de la población.
- **Red Geodésica:** El establecimiento de una red geodésica, es un recurso necesario para el desarrollo económico de cualquier región, ya que este es de vital importancia en la elaboración y actualización de cartografía de todo tipo y, muy en especial, en la gestión y ordenación del territorio.
- **Dinámica de cobertura y uso del suelo:** Estas áreas de investigación son importantes, pues son unos de los principales procesos generadores de cambios en los ecosistemas naturales. Honduras es un país donde la pérdida de la biodiversidad está asociada con la modificación de la cobertura vegetal hacia usos de suelo agrícolas y urbanos, a través de estas áreas de investigación se pueden generar datos y cartografía que contribuya a la toma de decisiones en municipalidades e instituciones responsables del ordenamiento y la administración territorial.
- **Interpolación de datos espaciales:** Con esta línea de investigación se espera evaluar metodologías de análisis espacial que permitan analizar y modelar la distribución espacial.
- **Unidades de Paisaje:** El estudio del paisaje debe ser incluido en todo proyecto de desarrollo, para determinar su calidad frente al ejercicio de ciertas

actividades, como para adoptar medidas orientadas a la preservación y protección del espacio natural.

- **Ecología de Paisaje:** Esta disciplina estudia los paisajes tanto naturales como antrópicos prestando especial atención a los grupos humanos como agentes transformadores de la dinámica físico-ecológica de éstos. Es una de las herramientas en la evaluación del impacto ambiental de las obras y actividades humanas y se usa principalmente en la ordenación del territorio.
- **Desarrollo de aplicaciones de programación:** A través de esta línea de investigación, se pueden desarrollar aplicaciones que faciliten el uso y análisis de datos espaciales, elaboración de cartografía, análisis espacial entre otras aplicaciones.

En la Tabla 3 se presenta el número de estudiantes de la MOGT2 por cada una de las líneas de investigación seleccionadas.

Tabla 3 Líneas de Investigación de los Estudiantes de la II Promoción MOGT

No.	ÁREA DE INVESTIGACIÓN	ESTUDIANTES INTERESADOS
1	Cartografía: Atlas temáticos	1
2	Cartografía: Recursos Naturales	1
3	Cartografía turística	1
4	Cartografía de riesgo	1
5	Localización de equipamientos	2
6	Red Geodésica	2
7	Dinámica de cobertura del suelo aplicando de técnicas de teledetección	2
8	Incendios forestales	1
9	Aplicaciones de ordenamiento territorial	1
10	Definición de las unidades de paisaje	1
11	Análisis de la dinámica de uso del suelo	1
12	Interpolación de datos espaciales	1
13	Desarrollo de aplicaciones de programación	1
14	Ecología de paisaje	1
15	Uso de teledetección para la creación de datos	1

Los resultados de las investigaciones de tesis, se espera sean presentados en el mes de octubre de 2010, durante el "Congreso sobre Tecnologías de la Información" y donde se dará inicio a la Tercera Promoción de la Maestría en

Ordenamiento y Gestión del Territorio MOGT3).

BIBLIOGRAFÍA

- Jiménez Galo, Abner Josué. Protocolo de Tesis: "Regionalización de Honduras: Hacia la construcción de regiones plan a través del análisis espacial cuantitativo". Tegucigalpa. 2008.
- Muñoz Pedreros, A. La evaluación del paisaje: una herramienta de gestión ambiental. *Revista Chilena de Historia Natural*, 77:139-156, 2004. http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0716-078X2004000100011&script=sci_arttext. 2004.
- Sánchez Ramos, Alexis Alejandro. Protocolo de Tesis: Análisis Multitemporal de la Cobertura de la Tierra en la Cuenca el Valle de Jesús de Otoro, entre los años 2000 – 2006, aplicando técnicas de teledetección. Tegucigalpa: 2008.
- UNAH, UAH, SGJ-UCP. DIAGNOSTICO para la Creación de la Carrera de Ordenamiento y Gestión del Territorio en el Grado de Maestría. Tegucigalpa: 2005.
- UNAH, UAH, SGJ-UCP. Proyecto de: Plan de Estudios de la Carrera de Ordenamiento y Gestión del Territorio en el grado de maestría. Tegucigalpa: 2005.
- UNAH. Informes de las Reuniones de la Comisión Técnica de la MOGT. 2008.
- UNAH. Reglamento Interno de la Maestría en Ordenamiento y Gestión del Territorio. 2008.
- UNAH. Reglamento Interno para la Elaboración, Presentación y Defensa de la Tesis de Maestría en Ordenamiento y Gestión del Territorio. 2008.



ARQUEOASTRONOMÍA

Aseguramiento de datos digitales en arqueoastronomía

José Isaac Zablah Avila

RESUMEN

Este trabajo se centra en la necesidad inherente de proteger datos inéditos de origen arqueoastronómico, resultantes de investigaciones. Estos datos son clasificados y la mayoría de ellos se encuentran digitalizados, usualmente están almacenados en un ordenador para su procesamiento y manipulación posterior. La finalidad de este trabajo es proponer un método efectivo para el manejo seguro de los datos digitales, recabados en distintas actividades arqueoastronómicas, todo ello mediante el empleo de técnicas de cifrado.

Palabras Clave: *Seguridad de la Información, Arqueoastronomía, Cifrado.*

ABSTRACT

This work focuses on the inherent need to protect archaeological unpublished data, resulting from research. These data are classified and most of them are digitized, they are usually stored in a computer for processing and subsequent handling. The purpose of this paper is to propose an effective method for the safe handling of digital data, collected in different archaeological activities, all secured by using encryption techniques.

Key Words: *Information Security, Archaeoastronomy, Encryption.*

¹ Observatorio Astronómico Centroamericano de Suyapa, UNAH, Tegucigalpa
mrzablah@yahoo.com

INTRODUCCIÓN

Vivimos en la era de la información, lo cual ha llegado con el aumento del número de computadoras personales y el crecimiento acelerado de los usuarios de las mismas, creando así una sociedad centrada y basada en la información (Redha Mani, Radha Krishna; 2007). A esto hay que agregar el incremento de la cobertura de la red Internet, proveyendo así acceso a servicios y aplicaciones que permiten manejar una gran cantidad de datos; en estos tiempos es posible compartir datos a velocidades nunca antes alcanzadas por la humanidad (Redha Mani, Radha Krishna; 2007 & Stalling, 2005).

Desafortunadamente, estos avances han abierto nuevas amenazas a la seguridad de las personas y de las redes de información a todos los niveles, siendo esto una vía para amenazar computadoras y los datos almacenados en ellas, a partir de ataques que pueden destruir, modificar e inutilizar los sistemas computacionales. Actualmente, las amenazas a la privacidad han permitido a extraños tener accesos no autorizado a datos, que posteriormente se utilizan para controlar otros servicios y ordenadores (Stallings, 2005 & Huth, 2001).

Al momento que un investigador colecta muchos datos, se incurre en la necesidad de compartir éstos con los miembros de los equipos de trabajo o colegas en distintas localidades geográficas. Estos datos usualmente viajan por redes públicas o por medios digitales, los cuales no siempre resultan seguros. Es posible que alguien tenga acceso a esos datos y pueda emplearlos con distintos fines, sin previo consentimiento; y más grave aún, antes que sean publicados. En esta situación, los autores no tienen ninguna administración de sus derechos digitales, con lo cual pierden control del uso y manejo de su información.

Para minimizar las amenazas existentes y asociadas al mundo digital, se han desarrollado a través del tiempo técnicas para la protección de datos, muchos de estos métodos se han elaborado con el fin de proteger aspectos específicos o situaciones definidas. Dado a lo anterior, nace la importancia de poder determinar si alguna de esas técnicas (o varias de ellas) pueden ser empleadas en conjunto para asegurar datos resultantes de investigaciones y sobre todo si entre todas pueden conformar un método efectivo y eficaz para emplearse en arqueoastronomía con la finalidad primordial de proteger los derechos digitales de sus autores. En esta investigación, se ha desarrollado una serie de lineamientos confiables y prácticos, para lograr asegurar la integridad de datos digitales usados en investigaciones arqueoastronómicas, en lo que refiere a la forma cómo sus usuarios comparten y manipulan información.

PROTEGIENDO LOS DATOS

En arqueoastronomía, los datos que se generan se pueden clasificar en dos tipos básicos: los primeros, como *documentos ofimáticos* que son aquellos generados a partir del empleo de aplicaciones orientadas al procesamiento de textos, elaboración de hojas de cálculo y elaboración de diapositivas. Los segundos son los de *tipo gráfico o imágenes*. En cualquiera de los casos, se colocan datos valiosos para los investigadores.

Los datos usualmente carecen de protección; éstos se almacenan en ordenadores, en medios transportables o se transmiten por redes públicas. A los ordenadores puede accederse mediante uso personal o a través de una red. Los medios de almacenamiento pueden colocarse en otros ordenadores y los datos contenidos allí pueden duplicarse sin ningún tipo de restricción. Los que se transmiten mediante una red pueden capturarse en su transmisión o manipularse de formas, a veces hasta inimaginables, en su destino.

Dado esto, se propone un flujo como método de protección, éste se puede visualizar en la figura 1, que se muestra a continuación:

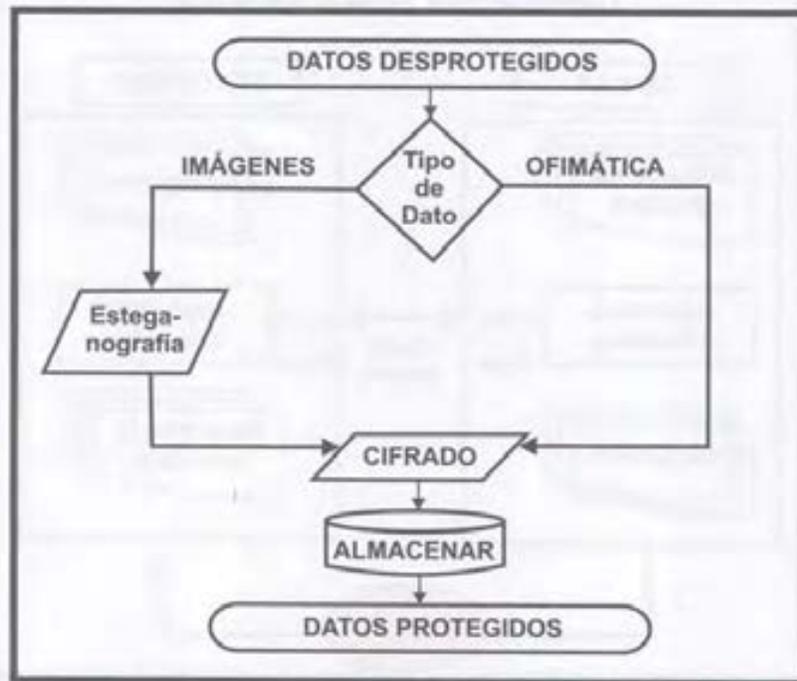


Figura 1. Flujo propuesto para el Aseguramiento de Datos

Tal como se muestra en la figura 2, los datos están inicialmente sin cifrar. Al utilizar una herramienta de software, se emplea un algoritmo simétrico y se proporciona una clave. El resultado es el documento cifrado, el cual recibe el nombre de criptograma. Estos datos pueden almacenarse y transmitirse sin la posibilidad de que alguien pueda manipularlos. Para descifrar los datos, se emplea el mismo proceso, sólo que a la inversa.

En el caso de necesitar una mayor seguridad, sobre todo si los datos necesitan ser transmitidos electrónicamente, el método de cifrado asimétrico brinda un mayor nivel de seguridad (Burnett, Pain; 2001 & Smith, Marchesini; 2007 & Huth. 2001 & Goldreich, 2005). Esta técnica se basa en utilizar un sistema de llave privada y llave pública. Su empleo se basa en generar dos llaves, una pública que se le da a conocer a todo aquel que desea enviar un mensaje o documento, que cifra los datos con esa clave; y otra que es la llave privada, la cual sólo el destinatario conoce y la emplea para descifrar el mensaje que se le ha enviado, cifrando con llave pública. Es oportuno aclarar que en esta técnica, el receptor deberá haber generado previamente el juego de llaves para poderle enviar mensajes cifrados. El empleo de esta técnica se muestra en la figura 3, que se presenta a continuación:

CIFRADO SIMÉTRICO

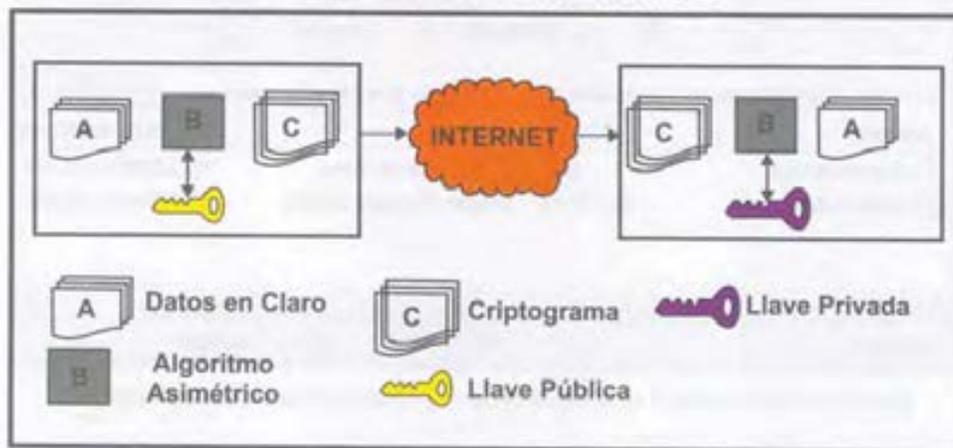


Figura 3. Cifrado Asimétrico

APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS

Para las demostraciones, he preferido hacer uso de una plataforma del tipo IBM PC y compatible basado en arquitectura Intel x86 de 32bit y utilizar el sistema operativo Microsoft Windows XP, debido a que es la configuración de recursos de TI

(Tecnologías de la Información) más popular entre los arqueoastrónomos al momento de elaborar este escrito. En caso de emplearse otra plataforma, tenga la plena seguridad que existen herramientas similares para implementar y utilizar estas técnicas.

Esteganografía

Para hacer uso de esta técnica se puede emplear una serie de herramientas existentes (algunas de ellas ya se encuentran incorporadas en los sistemas operativos); para esta demostración he decidido emplear la herramienta Xiao Stenography 2.6.1.

Luego de instalar la herramienta siguiendo las instrucciones proporcionadas por el fabricante, he seleccionado una imagen de origen arqueoastronómico y un archivo de datos que deseamos ocultar; el detalle de estos archivos se muestra a continuación en la figura 4:

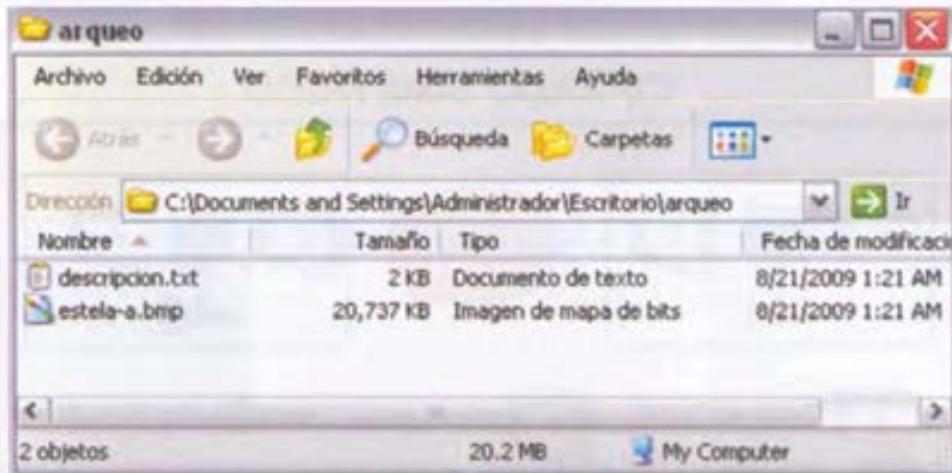


Figura 4. Archivos a utilizar en la demostración, se detalla su tipo y tamaño en kilobytes.

Para ocultar la información en la imagen "estela-a.bmp", procedemos de la forma siguiente: *primero*, abrimos la Xiao Stenography y seleccionamos la opción "Agregar Archivos"; *segundo* seleccionamos la imagen a utilizar; *tercero* seleccionamos el archivo a ocultar; *cuarto* seleccionamos el algoritmo de cifrado junto con la contraseña a utilizar y finalmente salvamos el archivo resultante que contiene el archivo oculto. La secuencia de estos pasos se muestra en la figura 5.



Figura 5. Secuencia para ocultar un archivo, empleado Xiao Stenography.

Al obtener la imagen con el archivo oculto (que he nombrado como "estela-a (encriptado).bmp" y compararla con la imagen original observamos que el tamaño del archivo y su visualización no ha sido alterado en lo más mínimo, tal como se muestra en la figura 6.



Figura 6. Comparación de archivos de imagen, antes y después de utilizar técnicas estenográficas.

Si se desea extraer el documento oculto de la imagen, se siguen los pasos siguientes: *primero*, abrir la herramienta Xiao Stenography y pulsar sobre la opción "Extraer Archivos"; *segundo*, seleccionamos la imagen que contiene el archivo oculto; *tercero*, seleccionamos el archivo oculto a extraer, colocando la contraseña y salvando en una carpeta el archivo resultante. En la figura 7, se muestran las interfaces de los dos últimos pasos.

II. Seleccionar la Imagen cifrada



III. Seleccionar el archivo a extraer y escribir la contraseña

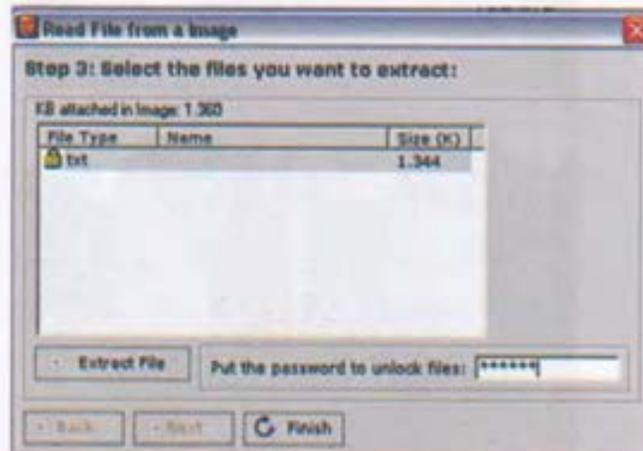


Figura 7. Secuencia para extraer el archivo oculto, empleado Xiao Stenography. Aquí se muestran el segundo y tercer paso a seguir.

El archivo resultante se muestra a continuación en la figura 8; este es igual al original que fue almacenado en la imagen

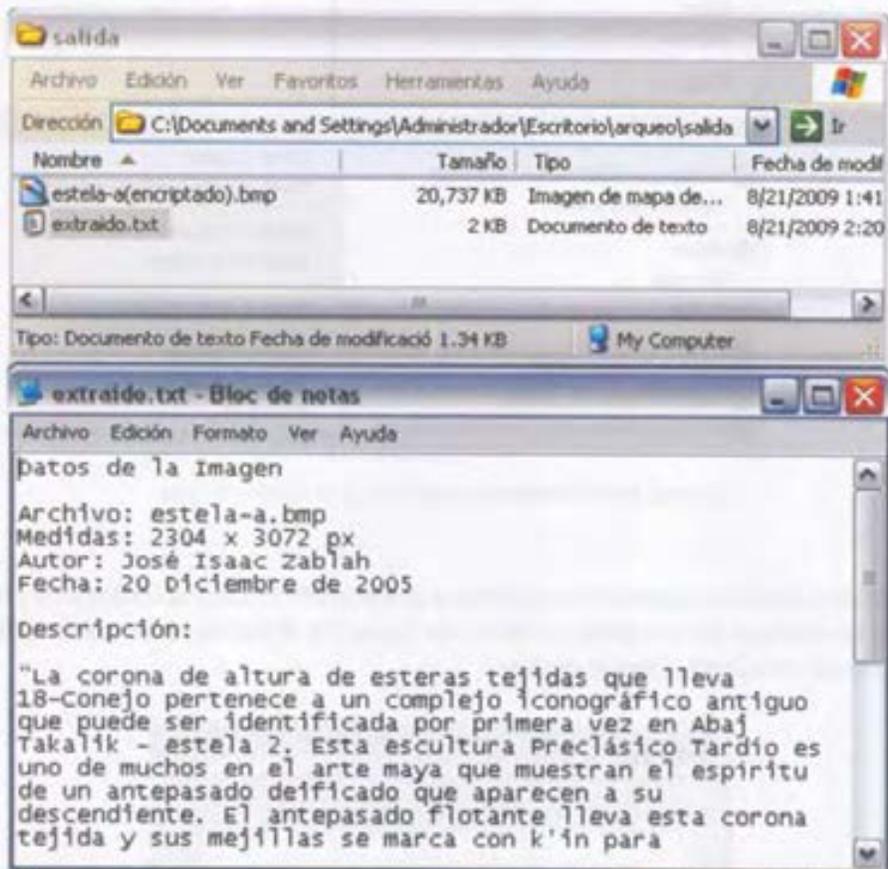


Figura 8. Archivo que se ocultó en la imagen después de su extracción.

Cifrado Simétrico

Para realizar esta demostración, he seleccionado la herramienta AxCrypt 1.6.1. Una vez que se ha instalado la aplicación, se colocará un menú contextual en el puntero del ratón (este es el menú que aparece usualmente al presionar el botón derecho del ratón). Para hacer uso de esta herramienta, se deberá ubicar sobre el archivo a cifrar, y hacer click derecho con el ratón; luego deberá seleccionar la opción en el menú contextual que dice "AxCrypt" y la sub opción "Cifrar"; observar estos pasos detallados en la figura 9.

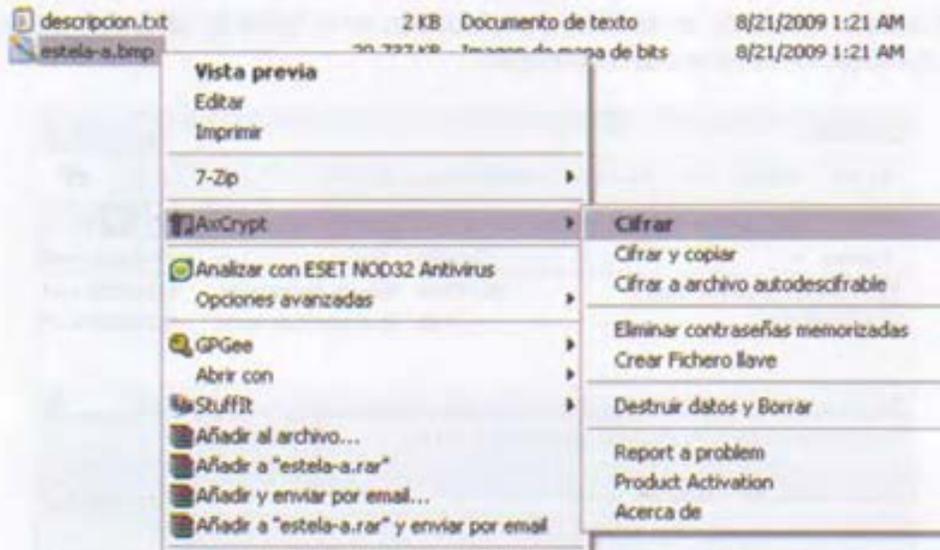


Figura 9. Menú contextual de AxCrypt, y su opción de cifrar.

Al hacer lo anterior, aparecerá una ventana que pide introducir una contraseña y que ésta se verifique en la misma ventana (Ver figura 10). Finalmente se confirmará la operación y AxCrypt cifrará el archivo.



Figura 10. Parámetros para el cifrado usando AxCrypt.

El archivo cifrado, cambia de extensión y de formato de manera que no es posible visualizar su contenido debido a que ha sido protegido, lo anterior se evidencia en la figura 11.

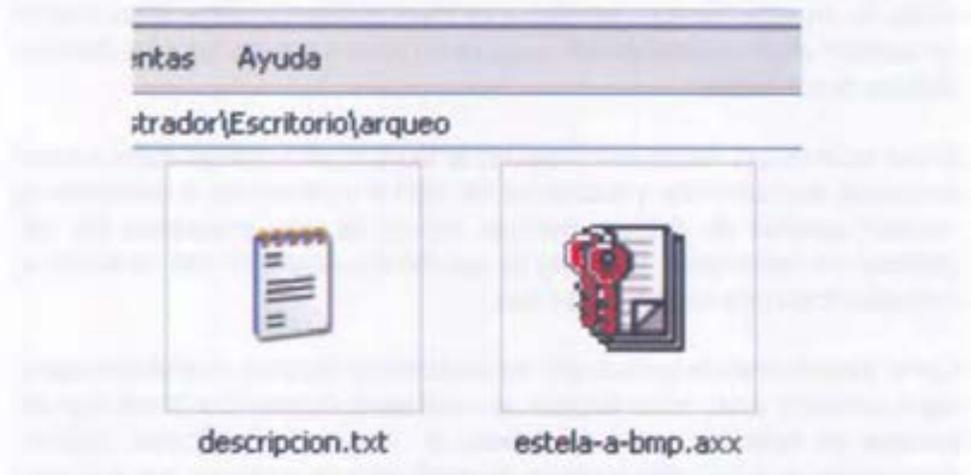


Figura 11. El archivo seleccionado una vez cifrado ha cambiado por completo sus propiedades y ha quedado protegido.

Para recuperar el archivo, se procede eligiendo la opción descifrar en el menú contextual de AxCrypt, luego se le solicitará la contraseña con la cual se cifró el archivo; finalmente se obtendrá el archivo original; el detalle de esta operación se muestra en la figura 12.

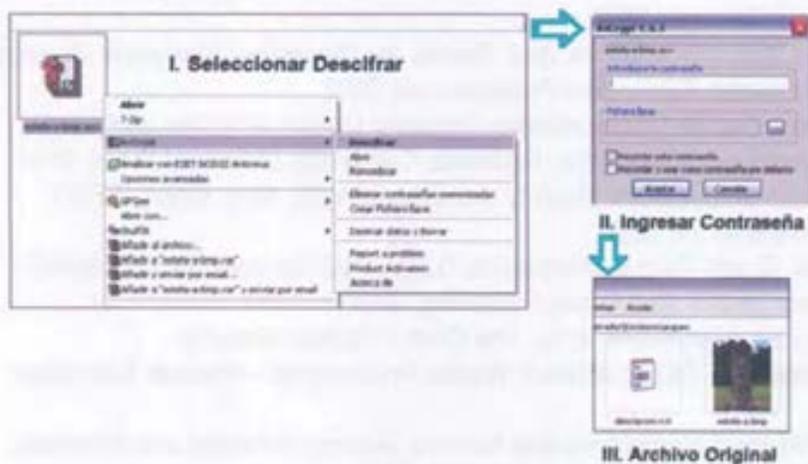


Figura 12. Proceso de descifrado empleando AxCrypt de un archivo.

CONCLUSIÓN

La combinación de las técnicas de seguridad, descritas aquí e implementadas en conjunto, protegen de manera efectiva los datos de origen arqueoastronómico. La utilización de estas técnicas permitirá a los investigadores proteger datos inéditos de cualquier plagio o manipulación, asegurando de esta manera todos los derechos digitales de sus autores.

Si bien es cierto que existe una diversidad de técnicas para proteger datos, los aquí expuestos, seleccionados y adaptados han sido el resultado de la realización de variadas pruebas de diversas técnicas, siendo las aquí propuestas las más prácticas de implementar, partiendo de que los arqueoastrónomos necesitan un método práctico para asegurar sus datos.

Con el advenimiento de la revolución en los derechos digitales, es probable que en algún momento todas estas técnicas se vean reemplazadas por firmas digitales basadas en biometría, o en su defecto, a través de certificados digitales, provenientes de autoridades emisoras de certificados de confianza, todo ello como parte de una autoridad de gobierno digital.

BIBLIOGRAFÍA

- Churchhouse, Robert. *Codes and Ciphers: Julius Ceasar, the Enigma and the Internet*. Cambridge, Inglaterra: Cambridge University Press; 2001.
- Delfs, Hans y Knebl Helmut. *Introduction to Cryptography*. 2da.ed. Nuremberg, Alemania: Springer; 2007.
- Goldreich, Oded. *Foundations and Trends in Theoretical Computer Science*. Massachusetts, EEUU: Now Publishers Inc; 2005.
- Huth, Michael. *Secure Communicating Systems: Design, Analysis, and Implementation*. Cambridge, Inglaterra: Cambridge University Press; 2001.
- Konheim, Alan G. *Computer Security and Cryptography*. New Jersey, EEUU: Wiley-Interscience; 2007.
- Radha Mani, G. and Radha Krishna Rao G.S.V. *Web Services Security and E-Bussines*. EEUU: Idea Group Publishing. 2007.
- Smith, Sean and Marchesini, John. *The Craft of System Security*. Massachusetts, EEUU: Addison Wesley Professional – Pearson Education; 2007.
- Stallings, William. *Cryptography and Network Security Principles and Practices*. 4.ed. New Jersey, EEUU: Prentice Hall; 2005.



**CRITERIOS PARA
LA PUBLICACIÓN**

CRITERIOS PARA LA PUBLICACIÓN EN LA REVISTA CIENCIAS ESPACIALES

De los requisitos generales:

1. Doble espacio en todo el artículo, letra Arial Narrow, tamaño 12.
2. Inicie cada sección o componente del artículo después de donde terminó el anterior.
3. El artículo debe contener como mínimo:
 - Página del título
 - Resumen y palabras clave (en español e inglés)
 - Texto
 - Agradecimientos académicos y técnicos
 - Referencias bibliográficas
 - Tablas (en páginas por separado) y leyendas.
4. La estructura del artículo y el peso porcentual de sus componentes serán los siguientes:
 - Título y autores en una página
 - Resumen y palabras clave en una página
 - Introducción 5% - 10%
 - Métodos y técnicas 5% - 10%
 - Análisis o Desarrollo del tema 70% (dividirlo en tres o cuatro capítulos)
 - Conclusiones 5% - 10%
 - Bibliografía 5%
5. La extensión total de los artículo tendrá un máximo de 17 páginas, a doble espacio.
6. Tamaño de ilustraciones, no debe superar las 4'x5' pulg.
7. Incluya las autorizaciones para la reproducción de material anteriormente publicado o para la utilización de ilustraciones que puedan identificar a personas.
8. Adjunte la cesión de los derechos de autor y formularios pertinentes.
9. El texto del artículo se mecanografiará o imprimirá en papel blanco (8,5'x 11 pulgadas), con márgenes de 2 cm., a cada lado (superior, inferior, derecho e izquierdo). El papel se escribirá a una sola cara.
10. Las páginas se numeran consecutivamente comenzando por el título. El número de página de ubicará en el ángulo inferior derecho de cada página.
11. La copia en soporte electrónico (en disquete, chip o correo electrónico); debe tener las siguientes consideraciones:
 - Cerciorarse de que se ha incluido una versión del manuscrito en el disquete.
 - Incluir en el disquete solamente la versión última del manuscrito.
 - Especificar claramente el nombre del archivo.
 - Etiquetar el disquete con el formato y nombre del fichero.
 - Facilitar la información sobre el software y hardware utilizado.

De los requisitos del Artículo:

1. La página del título contendrá:

- El título del artículo, que debe ser conciso pero informativo. Su objeto es dar a conocer al lector el contenido esencial del artículo. No debe sobrecargarse con información. Debe ser corto (no exceder de 15 palabras).
- El nombre de cada uno de los autores, acompañados de su grado académico más alto y su afiliación institucional.
- El nombre del departamento o departamentos e institución o instituciones a los que se debe atribuir el trabajo.
- El nombre, email, teléfono o extensión (si es UNAH) y la dirección del autor responsable de la correspondencia.
- El nombre y la dirección de autor al que pueden solicitarse separatas, o aviso de que los autores no las proporcionarán.

2. Autoría, para concederte a alguien el crédito de autor, hay que basarse únicamente en su contribución esencial en lo que se refiere a:

- a. La concepción y el diseño del estudio, recogida de los datos, o el análisis y la interpretación de los mismos;
- b. La redacción del artículo o la revisión crítica de una parte sustancial de su contenido intelectual; y
- c. La aprobación final de la versión que será publicada.

Los requisitos anteriores tendrán que cumplirse simultáneamente. La participación exclusivamente en la obtención de fondos o en la recogida de datos o la supervisión general del grupo de investigación no justifica la autoría.

3. Resumen y Palabras Clave, la segunda página incluirá un resumen (entre las 150 y 250). En él se indicarán los objetivos del estudio, los procedimientos básicos (la selección de los sujetos de estudio o de los animales de laboratorio, los métodos de observación y analíticos), los resultados más destacados (mediante la presentación de datos concretos y, de ser posible, de su significación estadística), y las principales conclusiones. Se hará hincapié en aquellos aspectos del estudio o de las observaciones que resulten más novedosos o de mayor importancia. Tras el resumen los autores deberán presentar e identificar como tales, de 3 a 10 palabras clave que facilita el indizado del artículo y se publicarán junto con el resumen (versión en español e inglés de ambos).

4. Introducción. Se indicará el propósito del artículo y se realizará de forma resumida una justificación del estudio. En esta sección del artículo, únicamente, se incluirán las referencias bibliográficas estrictamente necesarias y no se incluirán datos o

conclusiones del trabajo. La introducción debe explicar la finalidad del artículo. Los autores deben aclarar qué partes del artículo representan contribuciones propias y cuales corresponden a aportes de otros investigadores.

5. Método. Puede organizarse en cinco áreas:

- a. Diseño: se describe el diseño del experimento (aleatorio, controlado, casos y controles, ensayo clínico, prospectivo, etc.)
- b. Población sobre la que se ha hecho el estudio. Describe el marco de la muestra y cómo se ha hecho su selección.
- c. Entorno: indica dónde se ha hecho el estudio (escuela, comunidades, hospitales, campos agrícolas, etc.)
- d. Intervenciones: se describen las técnicas, tratamientos (utilizar nombres genéricos siempre), mediciones y unidades, pruebas piloto, aparatos y tecnología, etc.)
- e. Análisis estadístico: señala los métodos estadísticos utilizados y cómo se han analizados los datos.

Describa con claridad la forma como fueron seleccionados los sujetos sometidos a observación o participantes en los experimentos (pacientes o animales de laboratorio, también los controles). Indique la edad, sexo y otras características destacadas de los sujetos. Dado que en las investigaciones la relevancia del empleo de datos con la edad, sexo o raza puede resultar ambiguo, cuando se incluyan en un estudio debería justificarse su utilización.

Se indicará con claridad cómo y porqué se realizó el estudio de una manera determinada. Se ha de especificar cuidadosamente el significado de los términos utilizados y detallar de forma exacta como se recogieron los datos (por ejemplo, qué expresiones se incluyen en la encuesta, si se trata de un cuestionario autoadministrado o la recogida se realizó por otras personas, etc.).

Describa los métodos, aparataje (facilite el nombre del fabricante y su dirección entre paréntesis) y procedimientos empleados con el suficiente grado de detalle para que otros investigadores puedan reproducirlos resultados. Se ofrecerá referencias de los métodos acreditados entre ellos los estadísticos; se darán referencias y breves descripciones de los métodos que aunque se hallen duplicados no sean ampliamente conocidos; se describirán los métodos nuevos o sometidos o modificaciones sustanciales, razonando su utilización y evaluando sus limitaciones.

Identifique con precisión todos los fármacos y sustancias químicas utilizadas, incluya los nombres genéricos, dosis y vías de administración. En los ensayos clínicos aleatorios se aportará información sobre los principales elementos del estudio, entre ellos el protocolo (población a estudio, intervenciones o exposiciones, resultados y razonamiento del

análisis estadístico), la asignación de las intervenciones (métodos de distribución aleatoria, de ocultamiento en la asignación a los grupos de tratamiento), y el método de enmascaramiento.

Cuando se trate de artículos de revisión, se ha de incluir una sección en la que se describirán los métodos utilizados para localizar, seleccionar, recoger y sintetizar los datos. Estos métodos se describirán también en el resumen del artículo.

6. **Ética.** Cuando se trate de estudios experimentales en seres humanos, indique qué normas éticas se siguieron. No emplee, sobre todo en las ilustraciones, el nombre, ni las iniciales, ni el número de historia clínica de los pacientes. Cuando se realicen experimentos con animales, se indicará la normativa utilizada sobre cuidados y usos de animales de laboratorio.
7. **Estadística.** Describa los métodos estadísticos con el suficiente detalle para permitir que un lector versado en el tema con acceso a los datos originales, pueda verificar los resultados publicados. En la medida de lo posible, cuantifique los hallazgos y presente los mismos con los indicadores apropiados de error o de incertidumbre de la medición (como los intervalos de confianza). Se evitará la dependencia exclusiva de las pruebas estadísticas de verificación de hipótesis, tal como el uso de los valores P, que no aportan ninguna información cuantitativa importante. Analice los criterios de inclusión de los sujetos experimentales. Proporcione detalles sobre el proceso que se ha seguido en la distribución aleatoria. Describa los métodos de enmascaramiento utilizados. Haga constar las complicaciones del tratamiento. Especifique el número de observaciones realizadas. Indique las pérdidas de sujetos de observación (como los abandonos en un ensayo clínico). Siempre que sea posible, las referencias sobre el diseño del estudio y métodos estadísticos serán de trabajos vigentes (indicando el número de las páginas). Especifique cualquier programa de ordenador, de uso común, que se haya empleado. En la sección de resultados resuma los datos, especifique los métodos estadísticos que se emplearon para analizarlos. Se restringirá el número de tablas y figuras al mínimo necesario para explicar el tema objeto del trabajo y evaluar los datos en los que se apoya. Use gráficos como alternativa a las tablas extensas.
8. **Resultado.** Presente los resultados en el texto, tablas y gráficos siguiendo una secuencia lógica. No repita en el texto los datos de las tablas o ilustraciones; destaque o resuma tan sólo las observaciones más importantes.
9. **Discusión.** Haga hincapié en aquellos aspectos nuevos e importantes del estudio y en las conclusiones que se derivan de ellos. No debe repetir, de forma detallada, los datos u otras informaciones ya incluidas en los apartados de introducción y resultados. Explique en el apartado de discusión el significado de los resultados, las limitaciones del estudio, así como, sus implicaciones en futuras investigaciones. Se compararán las observaciones realizadas con las de otros estudios pertinentes.

10. **Conclusiones.** Relaciones la conclusiones con los objetivos del estudio, evite afirmaciones poco fundamentadas y conclusiones insuficientemente avaladas por los datos. En particular, los autores deben abstenerse de realizar afirmaciones sobre costos o beneficios económicos, salvo que en su artículo se incluyan datos y análisis económicos. Podrán incluirse recomendaciones cuando sea oportuno.
11. **Agradecimientos.** Incluya la relación de todas aquellas personas que han colaborado pero que no cumplan los criterios de autoría, tales como, ayuda técnica recibida, ayuda en la escritura del manuscrito o apoyo general prestado por el jefe del departamento. También se incluirá en los agradecimientos el apoyo financiero y los medios materiales recibidos. Los agradecimientos a Dios pertenecen al ámbito privado, se espera que no se incluyan en este apartado.
12. **Referencias bibliográficas.** Numere las referencias consecutivamente según el orden en que se mencionen por primera vez en el texto. Evite citar resúmenes o referencias de originales no publicadas. Tampoco cite una "comunicación personal", salvo cuando en la misma se facilite información esencial que no se halla disponible en fuentes públicamente accesibles, en estos casos se incluirán, entre paréntesis en el texto, el nombre de la persona y la fecha de la comunicación. En los artículos científicos, los autores que citen una comunicación personal deberán obtener la autorización por escrito.

La referencias bibliográficas se conforman generalmente de la siguiente manera:

Libro: apellidos e iniciales del nombre. Si son más de 7 autores necesitan sólo los 7 primeros y se pone la expresión et al. Título del libro. Número de Edición (ed.). Lugar de Publicación. Editorial. Año de Publicación.

Revista: Apellidos e iniciales del nombre. Título del artículo (entre comillas). Título de la Revista. Lugar de Publicación. Editorial. Volumen y Número de la Revista. Fecha de Publicación y Número de Página.

Periódico: Apellidos e iniciales del nombre. Título del artículo (entre comillas). Título del periódico. Ciudad donde se edita. País. Año y número del periódico. Fecha de Publicación y Número de Página.

Página Web: Apellidos e iniciales del nombre. Título del artículo (entre comillas).

Dirección de web. Fecha de Publicación o Consulta.

13. **Tablas.** Numere las tablas consecutivamente en el orden de su primera citación en el texto y asigneles un breve título a cada una de ellas. En cada columna figurará un breve encabezamiento. Las explicaciones precisas se pondrán en notas a pie de página, no

en la cabecera de la tabla.

En estas notas se especificarán las abreviaturas no usuales empleadas en cada tabla. Como llamadas para las notas al pie, utilícense los símbolos siguientes en la secuencia que a continuación se indica: *, †, ‡, ¶, **, ††, ‡‡, etc. Identifique las medidas estadísticas de variación, tales como la desviación estándar, el error estándar de la media. Asegúrese de que cada tabla se halle citada en el texto.

14. **Ilustraciones (figuras).** Las figuras estarán dibujadas y fotografiadas de forma profesional; no se aceptarán la rotulación a mano. Se aceptarán un tamaño aproximado de 127´ 17 mm (5´ 7 pulgadas), sin que en ningún caso supere 203´ 254 mm (8´ 10 pulgadas). Las letras, números y símbolos serán claros y uniformes en todas las ilustraciones; tendrán, además, un tamaño suficientes para que sigan siendo legibles. Los títulos y las explicaciones detalladas se incluirán en las leyendas de las ilustraciones y no en las misma ilustraciones. Las figuras no se doblarán ni se montarán sobre cartulina. Las microfotografías deberán incluir en sí mismas un indicador de la escala. Los símbolos, flechas y letras usadas en éstas tendrán el contraste adecuado para distinguirse del fondo. Si se emplean fotografías de personas, éstas no debieran ser identificables; de lo contrario, se deberá anexar el permiso por escrito para poder utilizarlas. Las figuras se numerarán consecutivamente según su primera mención el texto.
15. **Leyendas de las ilustraciones.** Los pies o leyendas de las ilustraciones se mecanografiarán.
16. **Unidades de medida.** Las medidas de longitud, talla, peso y volumen se deben expresar en unidades métricas (metro, kilogramo, litro) o sus múltiplos decimales. Las temperaturas se facilitarán en grados Celsius y las presiones arteriales en milímetros de mercurio. Todos los valores de parámetros hematológicos y bioquímicos se presentarán en unidades del sistema métrico decimal, de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).
17. **Abreviaturas y símbolos.** Utilice únicamente abreviaturas normalizadas. Evite las abreviaturas en el título y en el resumen. Cuando en el texto se emplee por primera vez una abreviatura, ésta irá precedida del término completo, salvo si se trata de una unidad de medida común.
18. Conserve una copia de todo el material enviado.

Impreso en los Talleres de
Ediciones e Impresiones SPACIO GRÁFICO
Tel: 2255-4978, 2255-4979
Tegucigalpa, M.D.C., Honduras. C.A.
Marzo 2011
Su tiraje consta de 500 ejemplares





Facultad de Ciencias Espaciales

Edificio 4-A, 3er piso, cubículo 301

Tel/fax: (504) 231-0678/213--7734

Pbx: 232-2110, etx. 151

web: www.unah.hn