

# CENTRO DE RADIOASTRONOMÍA Y ASTROFÍSICA (CRyA)

*Dra. Estela Susana Lizano Soberón – Directora – mayo de 2007*

Estructura académica	Líneas de investigación: Medio Interestelar, Formación de Estrellas y Discos Protoplanetarios, Estrellas Evolucionadas, Astronomía Extragaláctica y Cosmología, Radioastronomía, Astrofísica de Altas Energías, Turbulencia Atmosférica e Instrumentación Astronómica, Astrofísica Atómica y Molecular.
Campus	Morelia
Creación/ historia	Unidad Morelia del Instituto de Astronomía, 1995. Centro de Radioastronomía y Astrofísica, marzo de 2003.
Sitio web	<a href="http://www.crya.unam.mx">www.crya.unam.mx</a>
Área	Ciencias Físico-Matemáticas

## INTRODUCCIÓN

El Centro de Radioastronomía y Astrofísica forma parte de un exitoso esfuerzo descentralizador de la UNAM que, en colaboración con otras instituciones de educación superior del estado de Michoacán, ha consolidado la investigación, la docencia y la difusión de la Astronomía en esta importante región del país. Actualmente, el CRyA es el principal polo de investigación y formación de recursos humanos en radioastronomía en el país.

Su misión principal es mantener líneas de investigación en astronomía innovadoras, de alto nivel e impacto, así como abrir nuevas líneas en áreas de la astrofísica moderna que aún no se practican en el país. Sus objetivos son abordar la investigación astronómica con un enfoque en el que se combinen la teoría y las observaciones en múltiples frecuencias, formar recursos humanos altamente especializados y llevar a cabo la difusión de la Astronomía.

Los cuerpos colegiados establecidos del CRyA sesionaron como a continuación se describe: el Consejo Interno realizó 14 sesiones, en las que se revisaron diversos casos del personal académico del Centro; la Comisión Dictaminadora tuvo cuatro sesiones, y la Comisión Evaluadora del Programa de Primas al Desempeño (PRIDE) llevó a cabo dos reuniones.

## PERSONAL ACADÉMICO

En el periodo que se reporta, el 20 por ciento de la planta académica obtuvo promociones: el doctor Gilberto Carlos Gómez Reyes logró el nombramiento de investigador titular A; el doctor Ricardo Francisco González Domínguez de investigador titular A y nivel II del

Sistema Nacional de Investigadores; el doctor Luis Felipe Rodríguez Jorge de investigador emérito; el maestro Alfonso Hiram Ginori González de técnico académico titular A interino, y el Maestro Gilberto Zavala Pérez de técnico académico titular B.

Al finalizar 2010, el personal académico adscrito al Centro estaba integrado por un total de 24 miembros de tiempo completo (19 investigadores, 4 técnicos académicos y 1 becario posdoctoral). Los investigadores están distribuidos de la siguiente manera: 6 titulares C, 4 titulares B, 8 titulares A y 1 asociado C; todos cuentan con el grado de doctor. Los investigadores que pertenecen al Sistema Nacional de Investigadores (SNI), se encontraban en los siguientes niveles: 1 emérito, 3 nivel III, 9 nivel II y 4 nivel I. Las categorías de los técnicos académicos eran las siguientes: 1 titular B, 2 titulares A y 1 asociado C. El 87 por ciento del personal académico pertenecía al programa PRIDE (2 nuevos ingresos no pertenecen aún a este programa). Asimismo, el CRyA contaba con 5 administrativos de confianza.

## INVESTIGACIÓN Y SUS RESULTADOS

### **Algunos de los proyectos de investigación vigentes en el CRyA**

*Formación de estrellas y sistemas planetarios.* Las estrellas se forman en nubes moleculares que se encuentran en el disco de nuestra Galaxia, la Vía Láctea. En estas nubes de gas y polvo se condensan núcleos densos que son las cunas de las nuevas estrellas. En los núcleos gaseosos, que tienen varias veces la masa del Sol y rotan lentamente, el gas está muy frío, con temperaturas de sólo 10 grados Kelvin, y muy quieto, con movimientos turbulentos subsónicos. Además, los núcleos tienen campos magnéticos de microgauss que afectan la dinámica y la evolución del gas. Una línea de investigación importante de astrónomos del CRyA es el estudio de la evolución y el colapso de estos núcleos densos, que dan lugar a la formación de estrellas con discos protoplanetarios de gas y polvo a su alrededor.

Una vez que se forman los discos protoplanetarios, el campo magnético remanente es capaz de modificar la dinámica del gas, lo que produce una rotación subkepleriana, más lenta que la que tienen los planetas en sus órbitas alrededor del Sol. La rotación subkepleriana representa un obstáculo muy grande para eyectar los vientos de discos que proponen algunas teorías. Se encontró, además, que en los discos con rotación subkepleriana se acelera la migración de protoplanetas hacia la estrella central, ya que son desacelerados por la fricción con el gas lento del disco. Otro efecto importante que produce el campo magnético remanente en los discos protoplanetarios es que los hace más estables ante perturbaciones gravitacionales, lo cual permite que sean más masivos que un disco sin campo magnético. Como los planetas se forman a partir del gas del disco, esto dificulta la formación de planetas gigantes por inestabilidad gravitacional a distancias menores de 100 unidades astronómicas, como ha sido propuesto para el caso de Júpiter.

*Formación de estrellas masivas: núcleos moleculares calientes y flujos de estrellas jóvenes.* Actualmente la formación de las estrellas masivas (estrellas con masas mayores a 10 veces la masa del Sol), no está bien entendida. Durante esta última década ha aumentado mucho el número de estudios observacionales en este tópico, principalmente con telescopios milimétricos y submilimétricos, que permiten estudiar las fases más tempranas de la formación estelar. Haciendo uso de estas observaciones, astrónomos del CRyA han encon-

trado discos circunestelares y chorros en una de las protoestrellas más masivas y jóvenes conocidas hasta ahora, lo que sugiere que éstas podrían formarse de una manera similar a las estrellas de baja masa como el Sol.

El origen de los flujos y chorros eyectados por estrellas muy jóvenes es un problema de frontera. Hay varias teorías que se han propuesto para explicar su naturaleza, pero aún no han sido probadas observacionalmente. La teoría más aceptada propone que los chorros estelares se forman de material con exceso de momento angular del disco circunestelar. Estudios recientes del CRyA, de un flujo molecular localizado en la Nebulosa de Orión, sugieren que este proceso podría estar ocurriendo.

Hasta hace muy poco se pensaba que los núcleos moleculares calientes sólo son producidos por estrellas jóvenes que calientan su vecindad, y excitan muchas moléculas que emiten una gran cantidad de líneas espectrales. Estudios sobre estos objetos de investigadores del CRyA han revelado que el núcleo caliente llamado "Orión KL" en realidad no es calentado por estrellas jóvenes, sino por fuertes choques producidos, al parecer, por una explosión ocurrida hace algunos cientos de años.

*Procesos físicos en gas calentado por radiación ultravioleta.* La luz ultravioleta de las estrellas calientes influye profundamente en el medio interestelar de la Galaxia debido a sus efectos de calentamiento, disociación molecular y ionización de gas. Un estudio detallado de los procesos físicos que ocurren en un plasma fotoionizado y en un gas fotodisociado es vital para el entendimiento de la estructura y la dinámica de ambientes astrofísicos diversos, entre los que se encuentran las regiones de formación estelar y las envolventes eyectadas durante la muerte de las estrellas.

Al final de su vida, las estrellas como el Sol eyectan sus capas exteriores para revelar el núcleo brillante y caliente de la estrella. El remanente estelar excita a la envolvente eyectada en expansión, para formar lo que llamamos una nebulosa planetaria. Observaciones recientes de nebulosas planetarias cercanas indican que una fracción sustancial de la masa eyectada se encuentra en forma de nudos moleculares densos y compactos. Sin embargo, los modelos tradicionales de la fotodisociación no pueden explicar el espectro observado del hidrógeno molecular proveniente de estos nudos. Investigadores del CRyA han mostrado que es necesario un modelaje cuidadoso de los efectos de los flujos de gas sobre los procesos microscópicos para poder explicar el espectro observado. Un problema no resuelto en el campo de las nebulosas planetarias es que se obtienen resultados divergentes para la composición química del gas según el método que se use para medirla. Una posible resolución de esta discrepancia es que la evaporación de cometas produce en la nebulosa regiones frías de gas enriquecido con elementos pesados.

Es bien aceptado que los campos magnéticos son importantes en las nubes densas y frías en donde se forman las estrellas, pero todavía es incipiente el estudio del papel del campo magnético en la expansión del plasma fotoionizado tibio (regiones HII) que rodea las estrellas masivas. La expansión de las regiones HII puede desencadenar inestabilidad y colapso gravitacionales en la materia circundante, induciendo la próxima generación de formación estelar. Simulaciones numéricas realizadas por investigadores del CRyA muestran que el campo magnético tiene una influencia fuerte en la forma de estas inestabilidades, pero que no es capaz de suprimirlas en su totalidad.

### *Productos de investigación*

En el transcurso de 2010 se desarrollaron 16 proyectos de investigación, de los cuales 8 recibieron apoyo de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico y 8 fueron financiados por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt).

Los resultados de las investigaciones realizadas se publicaron en un total de 44 artículos en revistas arbitradas con alto impacto. Además, se publicaron 7 trabajos en memorias en extenso en congresos internacionales y se publicaron 8 capítulos en libros.

Los trabajos de los miembros del CRyA recibieron más de 4 100 citas este año y un total de más de 24 900 en los últimos ocho años. Se publica una media de 3.4 artículos arbitrados por investigador por año. Dado que el 30 por ciento de los artículos son colaboraciones entre miembros del CRyA, la tasa de artículos arbitrados sin duplicidades por investigador al año es de 2.3.

### **Algunos de los principales logros de los investigadores del Centro en 2010 fueron**

Se descubrió que la fase de una onda difractada en campo cercano guarda una relación muy sencilla con propiedades geométricas de la espiral de Cornu; esta característica puede ser aplicada para el cálculo numérico rápido de dicha fase. Por otro lado, se colaboró en el desarrollo y las pruebas de un método para la reducción del ruido de centelleo en mediciones fotométricas de alta sensibilidad; este método ayudará a estudiar planetas extrasolares mediante eclipses con su estrella huésped. Finalmente, se concluyó con éxito el desarrollo del instrumento SCIDAR generalizado mexicano.

Se estudió la formación y la evolución de las nubes moleculares, mediante el uso de simulaciones numéricas y de observaciones. Se reportaron algunas propiedades estadísticas de las nubes infrarrojas oscuras listadas en catálogos y observadas con Spitzer, MSX e IRAS. Adicionalmente, mediante simulaciones numéricas, se estudió la tasa y la eficiencia de formación estelar, así como la relevancia del calentamiento estelar en la evolución de las nubes moleculares. Finalmente, se realizó un estudio sobre la relación de Heyer entre la dispersión de velocidades, el tamaño y la densidad superficial de masa de nubes moleculares. Este estudio sugiere fuertemente que las nubes moleculares se encuentran en estado de colapso y no en equilibrio virial, como tradicionalmente se ha pensado.

Se ha llevado a cabo una serie de simulaciones con el propósito de estudiar los efectos que tiene el variar los parámetros de la física submalla en la evolución y las propiedades de una galaxia que se forma en un halo de baja masa. Se encontró que al disminuir el umbral de densidad para la formación estelar, FE, obtenemos radios efectivos,  $r_e$ , más largos; que cuando la retroalimentación estelar es modelada apagando el enfriamiento en la regiones de FE,  $r_e$  aumenta; que una conversión más eficiente de gas en estrellas, medida por una distribución de masa estelar sesgada hacia valores más altos, aumenta la intensidad de la retroalimentación en términos de inyección de energía-generación de vientos e historias de formación estelar episódicas.

En los modelos de discos protoplanetarios pre-transicionales se incluyó la posible sombra que el disco interno produce sobre la pared del disco externo. Se revisó el papel de la pa-

red al radio de sublimación de polvo; se incluyó el efecto de su curvatura y la posibilidad de que polvo pueda existir muy cerca de la estrella protegido por el gas. Se estudió la variabilidad en el infrarrojo medio de discos pre-transicionales alrededor de estrellas T Tauri. Se modelaron discos en torno a enanas café.

Se descubrió que la fluorescencia es el principal mecanismo de excitación de líneas prohibidas en el óptico emitidas por algunos átomos en las regiones fotodisociadas de nebulosas planetarias.

Se estudió el espectro de velocidad resultante de varias simulaciones de alta resolución de gas turbulento térmicamente biestable. Se confirmó el efecto significativo que tiene la presencia de la inestabilidad térmica en la naturaleza de los movimientos turbulentos del gas atómico. Además, se estudiaron los componentes compresible e incompresible de dicho espectro, y se encontró que el cociente entre dichos componentes depende del número de Mach.

Se estudió la cinemática y la morfología de la región fotodisociada hacia G213.880-11.837. Se encontró que la región HII y la región HI se expanden como flujo de champagne, al igual que en la fuente G111.61+0.37.

Se realizaron simulaciones numéricas de la estructura espiral del disco gaseoso de nuestra Galaxia, con el fin de estudiar las órbitas que sigue el gas al ser perturbado por el patrón espiral. Se encontró que el gas sigue órbitas diferentes a las órbitas estelares periódicas, en particular cerca de las resonancias dinámicas. Por tanto, las órbitas estelares no pueden usarse como sustituto de la hidrodinámica del disco Galáctico.

Se hicieron simulaciones numéricas de los eventos eruptivos violentos de Eta Carinae en los años 1840s y 1890s. Se logró explicar la morfología y la cinemática de las nebulosas del Gran y el Pequeño Homunculus. Adicionalmente, nuestros modelos predicen que los casquetes polares de la nebulosa interna presentan inestabilidades de tipo Rayleigh-Taylor. Encontramos además rasgos de alta velocidad en el plano ecuatorial. Por otra parte, se desarrollaron modelos analíticos para calcular la emisión de radio-continuo (con origen térmico) de regiones de colisión de vientos y se aplicaron a sistemas binarios masivos WR+O.

Al analizar datos ópticos y en el infrarrojo cercano de una muestra de 11 galaxias espirales con barra, se detectaron gradientes de color tanto en las barras como en los brazos de todos los objetos. Se encontró, como en las espirales sin barra, una tendencia a sobreestimar la velocidad de patrón derivada de la comparación entre los gradientes y modelos de síntesis de poblaciones estelares. Este sesgo se debe a la presencia de movimientos orbitales no circulares. De las nueve galaxias donde fueron detectados simultáneamente gradientes tanto en la barra como en los brazos, en seis (cinco de ellas de tipo de Hubble temprano) la barra y los brazos rotan con la misma velocidad de patrón y en tres (todas ellas de tipo tardío), no. Cuando la barra y los brazos tienen una sola velocidad angular de patrón, los brazos terminan en la resonancia externa de Lindblad (OLR) de la barra, mientras que cuando la barra y los brazos giran con velocidades de patrón distintas, estos parecen terminar en su propio radio de corrotación. Sin embargo, hacen falta más datos para corroborar este último resultado.

Se llevó a cabo un estudio observacional de la cinemática tridimensional de dos objetos LL en la Nebulosa de Orión. Se demostró que los nudos de los chorros son coplanares y que el eje de simetría del choque de proa estelar se encuentra en el mismo plano.

Se descubrió un máser de metanol en una región de formación de estrellas de baja masa. Antes de este trabajo, tales máseres sólo habían sido encontrados en regiones de formación de estrellas masivas. Se descubrieron brotes cuasi-periódicos en máseres de formaldehído, correlacionados con brotes en máseres de metanol, lo cual indica un origen común. Se encontraron máseres poco usuales de metanol a 23.1 GHz en NGC 7539 IRS 1; éste es sólo el tercer objeto conocido que presenta esta emisión.

Se reportó en la revista *Science* la primera evidencia de polarización en observaciones de radio de un chorro proveniente de una protoestrella masiva. Este resultado implica la presencia de emisión sincrotrón en estos chorros, lo cual da información sobre la intensidad y la geometría del campo magnético y sobre la presencia de electrones relativistas.

Se realizaron simulaciones numéricas de la evolución de nubes moleculares gigantes formadas a partir de compresiones en el gas atómico. Las simulaciones incluyeron retroalimentación por calentamiento de tipo ionizante por estrellas masivas tipo B. Se encontró que la retroalimentación estelar es capaz de disminuir la eficiencia de formación estelar, pero no es capaz de evitar la contracción gravitacional del complejo de nubes, pues su efecto consiste más bien en destruir la vecindad inmediata de las estrellas recién formadas. Estos resultados sugieren que los modelos hidrostáticos de las nubes deben de ser sustituidos por modelos dinámicos de colapso. Se hizo un modelo semi-analítico de este escenario y se encontró que se produce una correlación entre la densidad superficial de la tasa de formación estelar y la densidad superficial de gas, consistente con los valores observados para nubes individuales de diversas masas.

## INTERCAMBIO ACADÉMICO

El CRyA recibió a 19 investigadores provenientes de instituciones de otros países, con el objetivo de participar en los proyectos de investigación del Centro, y a 14 visitas nacionales. Por su parte, los investigadores realizaron 9 estancias en instituciones del extranjero y 9 en instituciones nacionales.

## ORGANIZACIÓN Y PARTICIPACIÓN EN EVENTOS ACADÉMICOS (DIRIGIDOS A PARES)

En 2010, se impartieron en el CRyA 38 coloquios dirigidos a investigadores y estudiantes del Centro. Por otra parte, los académicos del CRyA participaron en 16 congresos y 19 talleres, y se dieron 51 pláticas, 31 de ellas por invitación. Se realizó la Primera Reunión México-Chile, del 21 al 23 de abril, con miras a iniciar la elaboración de propuestas de observación para el interferómetro ALMA y sus *pathfinders*. Asistieron 15 radioastrónomos de ambos países.

Durante 2010, el CRyA realizó la *XIII Reunión Regional Latinoamericana de Astronomía* de la Unión Astronómica Internacional, del 8 al 12 de noviembre, el congreso más importante de su género, donde participaron más de 300 astrónomos.

## DOCENCIA

El Centro de Radioastronomía y Astrofísica es, con el Instituto de Astronomía, el Instituto de Ciencias Nucleares y la Facultad de Ciencias, una de las entidades responsables del Posgrado en Ciencias (Astronomía) de la UNAM. El objetivo de dicho posgrado es la formación de científicos capaces de desarrollar investigación original de frontera y de impartir docencia al más alto nivel. Los investigadores del CRyA impartieron 10 cursos de posgrado durante el año.

El número de estudiantes que realizan tesis de licenciatura o estudios de posgrado en el CRyA se ha incrementado notablemente en los últimos años. Durante 2010, 15 estudiantes trabajaron en su tesis de licenciatura y, de éstos, 5 concluyeron. Se contó también con 10 estudiantes de maestría y 12 de doctorado; de éstos, 4 obtuvieron en 2010 el grado de maestro y 3 el de doctor.

Cabe referir que el Centro continúa ofreciendo, en venta, material didáctico en su materia a escuelas y a la sociedad civil en general.

## COMUNICACIÓN Y DIVULGACIÓN

Los investigadores del CRyA realizaron más de 140 actividades de divulgación en 2010, entre ellas, 69 conferencias dirigidas al público en general. En los medios de comunicación se ofrecieron 33 entrevistas en radio y 9 en televisión. Por otro lado, se publicaron 5 artículos de divulgación en revistas.

Entre las actividades que se llevaron a cabo destacan: la participación en la celebración del Año Nuevo Purépecha en la ciudad de Uruapan, donde se impartió una conferencia dirigida a todo público y se realizaron observaciones con telescopios, con la asistencia de más de 2 mil personas. En colaboración con el Planetario y la Alianza Francesa, la realización de La Segunda Noche de Estrellas, en la ciudad de Morelia, que reunió a 4 mil personas, además de llevarse a cabo siete noches de estrellas en diversos municipios del estado de Michoacán. La participación en el XX Tianguis de la Ciencia, en Morelia, organizado por la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. El desarrollo del 4º Taller de Ciencia para Jóvenes, en las instalaciones del CRyA, al que concurrieron más de 30 estudiantes de toda la República Mexicana.

Asimismo, se participó en la 17ª Semana Nacional de Ciencia y Tecnología en Morelia, en la cual el CRyA ofreció charlas para público en general, talleres astronómicos, observaciones solares y la exposición fotográfica *Exploración Espacial en 3D*, con la asistencia de cerca de 5 mil personas. También se realizó el ciclo de pláticas "Viernes de Astronomía", que comprendió en el año nueve sesiones, cada una incluyendo una conferencia y una observación por telescopios, llegando a 1 090 personas, y el ciclo de pláticas de divulgación "El Universo para todos", en el cual se realizaron tres conferencias, dentro del marco de la *XIII Reunión Regional Latinoamericana* de la Unión Astronómica Internacional, con la asistencia de 300 personas. Por último, cabe mencionar la 3ª y la 4ª Donación de Telescopios a Escuelas del Estado, en la ciudad de Morelia. En estos eventos se realizaron conferencias, talleres de entrenamiento para maestros y observaciones por telescopios, atendiendo a 96 escuelas.

## ACTIVIDADES DE VINCULACIÓN, COOPERACIÓN Y COLABORACIÓN

El Centro colabora con diferentes organizaciones estatales para acercar a la sociedad, en todo el estado de Michoacán, al conocimiento de la ciencia, en particular, de la Astronomía y la Astrofísica. Durante 2010 colaboró con la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, el Planetario Felipe Rivera de Morelia, y el Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología, entre otras instancias.

## DESCENTRALIZACIÓN INSTITUCIONAL

El CRyA impacta la ciencia en el occidente de México por medio de la investigación astronómica de alta calidad. Forma recursos humanos en los niveles de licenciatura, maestría y doctorado. Realiza también capacitación de maestros de nivel preparatoria en el área de radioastronomía y se vincula con la sociedad a través de un vigoroso programa de divulgación de la Astronomía.

## PREMIOS Y DISTINCIONES

En este ámbito, la doctora Paola D'Alessio Vessuri recibió el premio Estatal de Investigación Científica y Humanística 2010, que otorga el Gobierno del Estado de Michoacán; la doctora Estela Susana Lizano Soberón recibió la Medalla Marcos Moshinsky 2010, que otorga el Instituto de Física de la UNAM; el doctor Laurent Raymond Loinard recibió la beca John Simon Guggenheim 2010 para Latinoamérica y el Caribe, y el doctor Luis Felipe Rodríguez Jorge recibió el Doctorado *Honoris Causa* por la UNAM y fue nombrado Investigador Emérito de esta Institución.

## INFRAESTRUCTURA

En junio se inauguró una nueva ala del edificio, la cual fue ocupada por varios miembros de la Unidad Morelia del Instituto de Matemáticas, liberando para el CRyA ocho oficinas y un salón para videoconferencias.

En el Paseo de las ciencias se agregaron dos nuevas exhibiciones: el Sistema Solar a escala y el Hoyo Negro Galáctico.

Durante 2009 y 2010 se recibieron apoyos del Conacyt que suman aproximadamente 4 millones de pesos y que permitieron una participación mexicana significativa en un proyecto de desarrollo tecnológico que aumentará la sensibilidad del interferómetro VLBA (Very Long Baseline Array) por un factor 8. Este desarrollo permitirá llevar a cabo a lo largo de los próximos cinco años un mapeo de la distribución de las regiones de formación estelar cercanas al Sol. Para este proyecto, otorgaron a los miembros del CRyA casi 3 mil horas de tiempo de observación en el VLBA, así como 120 horas de tiempo en el Expanded Very Large Array.