

**N° 38**

**Boletín de la Asociación  
Argentina de Astronomía**



**Buenos Aires, 1993**

## **ASOCIACION ARGENTINA DE ASTRONOMIA**

### **AUTORIDADES (1993-1996)**

#### **Comisión Directiva**

**Presidente:** Dr. Gustavo CARRANZA  
**Vicepresidente:** Dra. Virpi NIEMELA  
**Secretario :** Dra. Silvia FERNANDEZ  
**Tesorero:** Lic. Mirta MOSCONI  
**Vocal 1° Titular:** Dr. Carlos OLANO  
**Vocal 2° Titular:**Dr. Carlos LOPEZ  
**Vocal 1° Suplente:** Dr. Mariano MENDEZ  
**Vocal 2° Suplente:** Dra. Marta ROVIRA

#### **Comisión Revisora de Cuentas**

**Titulares:** Dr. Emilio LAPASSET  
Dr. Hernán MURIEL  
Dr. Guillermo GOLDES

**Suplentes** Dra. Estela AGÜERO  
Lic. Andrés PIATTI

#### **Comité Nacional de Astronomía**

**Secretario:** Dra. Estela AGÜERO  
**Miembros :** Dr. Emilio LAPASSET  
Dr. Hugo LEVATO  
Lic. Ruben MARTINEZ  
Lic. Lia GARCIA

8574



**BOLETIN DE LA ASOCIACION ARGENTINA DE ASTRONOMIA N° 38**

**REUNION DE LA ASOCIACION ARGENTINA DE ASTRONOMIA REALIZADA EN LA CIUDAD DE BUENOS AIRES, FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES DE LA UNIVERSIDAD NAC. DE BUENOS AIRES, ENTRE EL 20 Y EL 23 DE SEPTIEMBRE DE 1993 Y ORGANIZADA POR EL INSTITUTO DE ASTRONOMIA Y FISICA DEL ESPACIO.**

**EDITORES: Virpi NIEMELA, Carlos A. OLANO**

**Esta publicación se financió con un subsidio del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (Resolución 1769/94-028)**

Cubierta: Imagen de la Galaxia NGC 5128 tomada de la colección de placas fotográficas originales con las cuales el Dr. Sersic confeccionó su Atlas de Galaxias Australes.

Gentileza del Sr. B. Candellero

## INDICE GENERAL

|                                   |      |
|-----------------------------------|------|
| PREFACIO .....                    | XIII |
| FOTOGRAFIA DE LA CONFERENCIA..... | XIV  |
| ABREVIATURAS.....                 | XV   |

### DISCURSOS INVITADOS

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Discurso del Dr . G. Carranza en memoria del Dr. J.L. Sérsic .....</b>     | <b>2</b>  |
| <b>Hacia una teoría galáctica del catastrofismo terrestre C.A.Olano.....</b>  | <b>11</b> |
| <b>Remanentes de supernovas G. Dubner.....</b>                                | <b>27</b> |
| <b>Comportamiento dinámico del cinturón de asteroides F.López García.....</b> | <b>43</b> |

### RESUMENES

#### ESTRELLAS:

|   |           |
|---|-----------|
| <b>¡Qué cosa más extraña! H.Vucetich (Discurso Invitado).....</b>   | <b>77</b> |
| <b>Enfriamiento de estrellas enanas blancas L. Althaus, O. G. Benvenuto.....</b>  | <b>77</b> |
| <b>Modelos atmosféricos de una fulguración estelar P. Mauas, A. Falchi.....</b>   | <b>78</b> |
| <b>Estudio de las abundancias químicas de dos estrellas CP magnéticas: HD 43819 y HD 147550 Z. López García, S.J.Adelman.....</b> | <b>78</b> |
| <b>Vientos MHD anisótropos N. Rotstein, C.Ferro Fontán.....</b>   | <b>79</b> |
| <b>Evolución de estrellas masivas de población I L. Althaus, O. G. Benvenuto .....</b>  | <b>79</b> |

|  |    |
|--|----|
| <b>Nuevas medidas de la polarización de la SN 1987A</b> O.Benvenuto, C. Feinstein, M.Méndez .....  | 80 |
| <b>Fotometría CCD de estrellas NSV</b> C.E. López , R. Gil Hutton.....   | 80 |
| <b>A code to compute stellar masses onto the HR diagram</b> G.Baume, S.Paoli, R.A.Vázquez, A.Feinstein.....                                      | 80 |
| <b>Pulsaciones estelares y materia extraña</b> R.O. Aquilano, L.P. Neira, H. Vucetich.....   | 81 |
| <b>Dinámica de cáscaras esféricas radiantes y destelladores de rayos X</b> R. O. Aquilano, C. A. Montenegro.....                                 | 81 |
| <b>Eventos astrofísicos y formación de estructura</b> M.B. Mosconi, P.B. Tissera, D.G.Lambas .....   | 82 |
| <b>FeII: diagnóstico de atmósferas extendidas</b> S. Paoli , L. Cidale.....  | 82 |
| <b>Modelo para atmósfera extendida de 48 Librae</b> A. Cruzado.....  | 83 |
| <b>El espectro sintético calculado para dos estrellas CP del grupo Hg -Mn: Mu Leporis y 53 Tauri</b> Z. López García, R. Faraggiana.....         | 83 |
| <b>Evolución estelar desde la rama horizontal</b> L. Althaus, O.G. Benvenuto, A. García....  | 84 |
| <b>Validez de las aproximaciones tradicionales del campo de radiación en atmósferas en expansión</b> M. Colazo, L. Cidale.....                   | 84 |
| <b>Experimentación con análisis de abundancias químicas</b> S.J. Adelman , A.F. Gulliver, Graham Hill, O.Pintado.....                            | 85 |
| <b>Estudio de una estrella simbiótica en un amplio rango espectral (3700 -10100 Å) : CD-43°14304</b> L.García , E.Brandi, R.Barbá.....           | 85 |
| <b>KX Tra y He2-127: dos estrellas simbióticas de alta excitación</b> E. Brandi , L.García, R. Barbá.....  | 85 |
| <b>Oscilación de perfiles de luminosidad y contracción de esferas radiantes en relatividad general</b> R.O. Aquilano, A. Melfo, L.A. Nuñez ..... | 88 |

**SISTEMAS ESTELARES:**

|   |    |
|---|----|
| <b>Oscilaciones radiales de sistemas estelares esféricos</b> J.C. Muzzio, J.A. Núñez ,<br>A.R.Plastino.....   | 91 |
| <b>Relajamiento no colisional debido al número finito de partículas</b> J. C. Muzzio,<br>S.A.Cora, M. M. Vergne.....                                      | 91 |
| <b>Movimiento estocástico en un campo central con una barra débil sin rotación</b><br>J.A.Núñez, P.M. Cincotta, J.C.Muzzio.....                           | 92 |
| <b>Búsqueda de polvo en el cúmulo globular 47 Tucanae</b> L. P. Bassino, J. C. Forte,<br>M.Méndez , E. I. Vega .....                                      | 92 |
| <b>Los brazos espirales de la Vía Láctea</b> A. Feinstein.....  | 93 |
| <b>Estudio de las asociaciones Puppis OB1-OB2 y del cúmulo Ru 55</b> A.M.Orsatti .....  | 93 |
| <b>Deep photometry in the core of the open cluster NGC 5606</b> R.A. Vázquez,<br>A.Feinstein, G. Baume, P. Prado.....                                     | 94 |
| <b>CCD photometry of globular cluster systems: the backgroud removal problem</b><br>P.G.Ostrov .....  | 94 |
| <b>A study of the dark patches in NGC 2209</b> P.G. Ostrov, J.C. Forte .....  | 95 |
| <b>Estudio de velocidades radiales en NGC 6611</b> N. Morrell, G. Bosch, V.Niemela.....   | 96 |
| <b>Extensión del catálogo de blue stragglers en cúmulos abiertos</b> J. Ahumada,<br>E.Lapasset.....   | 96 |
| <b>Binaridad y variabilidad en cúmulos estelares</b> J.F. González, E. Lapasset .....   | 97 |
| <b>Membership, chemical composition and basic parameters of stars in the southern<br/>open cluster IC 2714</b> J.J. Clariá , A.E. Piatì, D. Minniti ..... | 97 |



## GALAXIAS Y COSMOLOGIA:

|  |     |
|--|-----|
| <b>Galaxias de bajo brillo superficial en el cúmulo de Fornax</b> S.A. Cellone, J.C. Forte, D.Geisler .....  | 101 |
| <b>Evolución de sistemas de galaxias en el modelo CDM</b> P.B. Tissera, D. G. Lambas, M. G. Abadi .....  | 101 |
| <b>Supresión de la inestabilidad de barra en la formación de galaxias</b> D. D. Carpintero, J. C. Muzzio .....   | 102 |
| <b>Función de luminosidad de galaxias tempranas</b> D. G. Lambas, M. Nicotra, H. Muriel .....  | 102 |
| <b>¿Pueden núcleos de galaxias enanas dar origen a cúmulos globulares ?</b> L. P. Bassino, J. C. Muzzio, M. Rabolli .....  | 103 |
| <b>Escenarios cosmológicos con distintos parámetros de densidad</b> M.A. Nicotra, Mario G.Abadi, D.G. Lambas.....  | 103 |
| <b>Decaimiento complejo en un modelo cosmológico</b> M.A. Castagnino, L.P. Lara .....  | 104 |
| <b>Estudio espectroscópico de galaxias IRAS</b> E.L. Agüero, J.H. Calderón, S.Paolantonio, F. Suárez.....  | 104 |
| <b>Survey <math>H_{\alpha}</math> de las nubes de Magallanes</b> E. Le Coarer, Y.P. Georgelin, Y.M.Georgelin, A. Laval, M. Marcelin, P. Amram, J. Boulesteix, M. Rosado, G. Goldes, G.Carranza ..... | 105 |
| <b>Observaciones de CO en una región altamente polarizada de M31</b> E. Bajaja, E.Berkhuijsen, R. Beck.....  | 107 |

## SISTEMA SOLAR:

- Efectos sobre el cinturón de Kuiper de encuentros estelares distantes** A. Brunini...111
- Fuerzas nogravitacionales en cometas de largo periodo** J.A. Fernández, A.D. Bolatto, G.F. Carballo .....111
- Resultados numéricos del comportamiento dinámico de órbitas de asteroides próximos a una resonancia** S. Fernández , F. López García.....112
- Resultados de dos años de observación con Meta II** F.R. Colomb, E. Hurrell, G.A.Lemarchand, J.C. Olalde.....112
- Inestabilidades no lineales en arcos magnéticos de la corona solar** D. Gómez, A.McClymont, E. DeLuca .....113
- Interpretación de las observaciones de fulguraciones solares en función de la topología de la región activa** M.G. Rovira, C.H. Mandrini, P. Demoulin, J.C. Henoux, M.E. Machado .....114
- Transporte térmico no local en la corona solar** M.V. Canullo, A. Costa , C.FerroFontán.....115
- Estabilidad de la estructura topológica de una región activa en presencia de fuentes de campo externas** C.H. Mandrini, M.G. Rovira, P. Demoulin, J.C. Henoux, J.deLaBeaujardiere.....115
- Comportamiento de la cromósfera solar en la línea  $H_{\alpha}$  durante el período Enero de 1991 - Enero de 1993** S.A. Acero, H.V. Missio.....116
- Asteroides descubiertos en la Argentina** H. Mira.....116
- Fotometría fotoeléctrica del asteroide 14 Irene** J. Licandro.....116

MEDIO INTERESTELAR:

|  |     |
|--|-----|
| <b>Espectrofotometría de NGC2359</b> C. G. Giménez de Castro, V. Niemela .....   | 119 |
| <b>Observaciones espectroscópicas de ME2 - 1</b> H. Moreno, A. Gutiérrez Moreno, G. Cortés, M. Hamuy .....   | 119 |
| <b>Observaciones de HI alrededor de NGC 6888</b> C. Cappa, C. Rogers, G. Dubner, N.St.-Louis .....   | 120 |
| <b>Colisiones de nubes de alta velocidad con el material galáctico</b> R. Morras, E.Bajaja, E. M. Arnal.....   | 120 |
| <b>El impacto de estrellas Wolf -Rayet en el medio interestelar</b> E.M. Arnal, C.Trevisán .....   | 120 |
| <b>Observaciones con el VLA del hidrógeno neutro en la región de Puppis A</b> E.Reynoso, G. Dubner, M. Goss, E. M. Arnal.....                                  | 121 |
| <b>La línea de recombinación <math>H159_{\alpha}</math> en un "spur" (espolón) térmico asociado con la región H II S54</b> I.N. Azcárate, J.C. Cersosimo ..... | 121 |
| <b>Estudio de la cinemática y distribución del material interestelar en la región de Cepheus-Cassiopeia</b> N. B. Caballero, M. C. Martín, C. A. Olano .....   | 121 |
| <b>Imágenes de alta resolución de remanentes de supernovas galácticos</b> G.Dubner, E.Giacani, D.Moffett, W.M.Goss, P.F.Winkler .....                          | 122 |
| <b>Un estudio de la radiación continua a 1435 MHz de la región de Scorpio-Centaurus</b> J.A. Combi, J.C. Testori.....  | 122 |
| <b>Búsqueda en el infrarrojo cercano de protoestrellas en la nube molecular de Taurus</b> M. Gómez, S. Kenyon, L.Hartmann .....                                | 123 |

## ASTRONOMIA DE POSICION Y MECANICA CELESTE:

|  |     |
|--|-----|
| <b>Catálogo preliminar de radio-estrellas N° 2 # J2000.0</b> R.A.Carestia, C.C.Mallamaci, W.L.Castro, M.Gallego Garin, H.S.Lepez, L.F.Marmolejo, R.A.Marquez, J.L.Navarro, J.A.Sedeno, J.A.Pérez ..... | 127 |
| <b>Diferencias sistemáticas del catálogo fundamental FK5</b> G. Carrasco, P. Loyola.....   | 128 |
| <b>Caos en el problema de Dirichlet</b> A. Brunini, A.Plastino, C. Giordano.....   | 128 |
| <b>Formulación universal para el problema de N cuerpos</b> C. M. Giordano, P.E.Zadunaisky.....   | 129 |
| <b>Análisis de órbitas de colisión en el problema de Sitnikov con excentricidad uno</b> R.B. Orellana, J. Martínez Alfaro.....   | 129 |
| <b>A review on Poincaré research in celestial mechanics and dynamics (stable and unstable periodic motions)</b> C.A. Altavista .....   | 130 |
| <b>Medición de la Carte du Ciel Córdoba : I- recopilación de las placas fotográficas</b> S. Paolantonio, J.H. Calderón, P. Andreis, I. BustosFierro.....   | 131 |
| <b>Córdoba Durchmusterung</b> Observatorio Astronómico de Córdoba .....  | 131 |

## HISTORIA Y ENSEÑANZA DE LA ASTRONOMIA:

|   |     |
|---|-----|
| <b>El aprendizaje de la noción astronómica de tiempo</b> H.L. Tignanelli.....   | 135 |
| <b>Proyecto Chivilcoy de educación en astronomía</b> H.L. Tignanelli .....  | 135 |
| <b>Educación en astronomía por métodos no formales</b> H.L. Tignanelli .....  | 136 |
| <b>La Astronomía y el Colegio Nacional: predicando entre sordos?</b> L.G. García, C.Quiroga, S. Paoli, R. Venero..... | 136 |

**INSTRUMENTACION:**

|  |            |
|--|------------|
| <b>Centro regional de datos satelitales y para estudios sobre el cambio global<br/>H.G.Marraco (Discurso Invitado).....</b>                        | <b>139</b> |
| <b>La nueva cámara CCD del O.A.F.A. R. Gil Hutton.....</b>   | <b>139</b> |
| <b>Proyecto de espectrógrafo Echelle para el telescopio de 1,54m de Bosque Alegre<br/>J.H. Calderón, C.A. Valotto .....</b>                        | <b>140</b> |
| <b>Microdensitómetro digital del OAC" J.H. Calderón, G.A. Giovanola, S.Paolantonio,<br/>C.A. Valotto, H.F. Peralta.....</b>                        | <b>140</b> |
| <b>Simulador de espectros Echelle C.A.Valotto, J.H.Calderón.....</b>   | <b>140</b> |
| <b>Modernización del reflector de 76 cm. de la estación astronómica Dr. Carlos Ulrico<br/>Cesco C. Francile, R. Gil Hutton, A.A. González.....</b> | <b>141</b> |
| <b>La utilización de lasers en la comunicación interestelar : su detección en el rango<br/>óptico G.A. Lemarchand .....</b>                        | <b>141</b> |
| <b>INDICE DE AUTORES.....</b>  | <b>143</b> |
| <b>DIRECCIONES DE LOS SOCIOS.....</b>  | <b>147</b> |

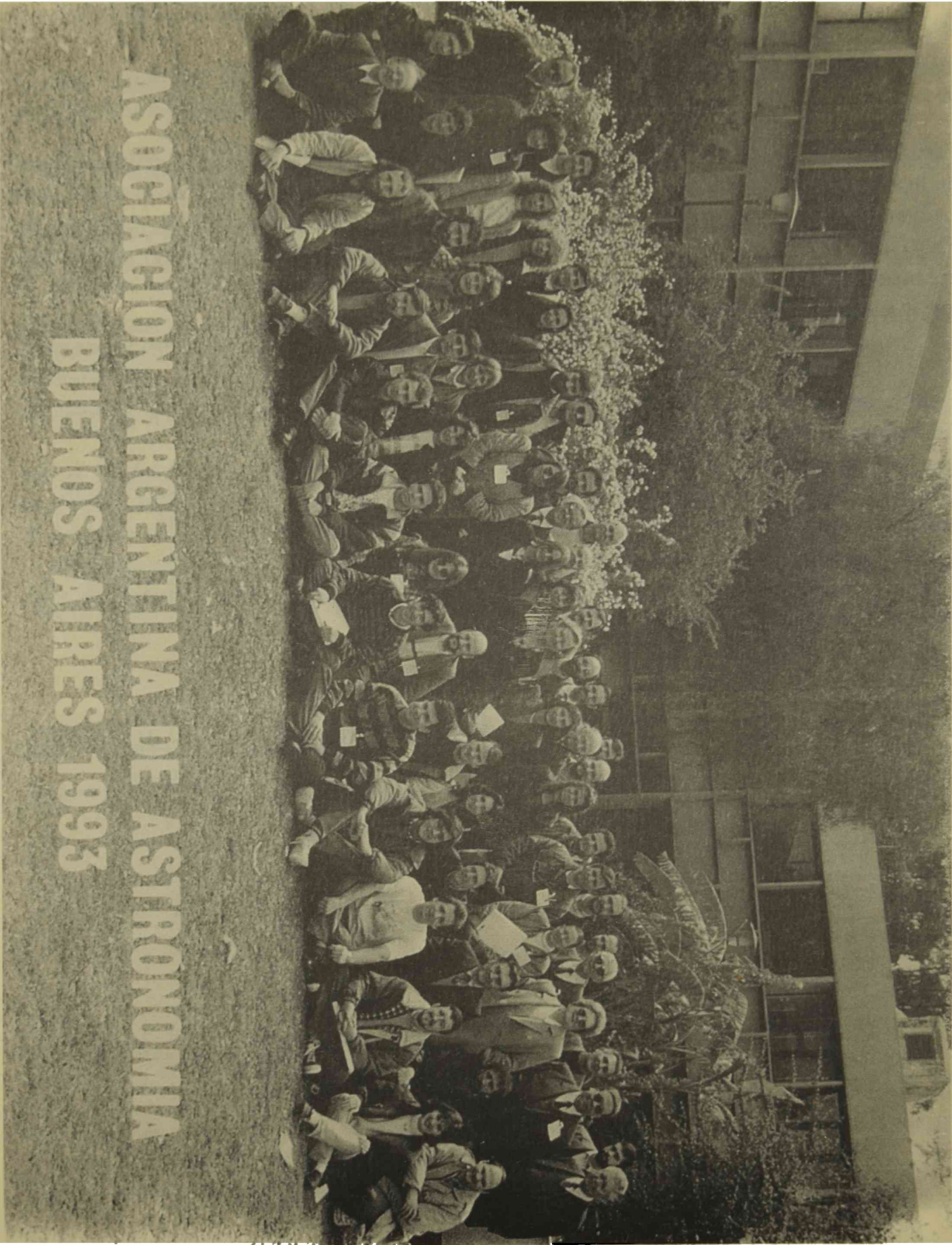
## PREFACIO

Este boletín N°38 esta basado en los trabajos presentados en la Reunión Científica Anual de la Asociación Argentina de Astronomía que tuvo lugar en la Ciudad Universitaria de la Universidad de Buenos Aires en Nuñez. Dicha reunión fue dedicada a la memoria del *Prof. Dr. José Luis Sérsic*, socio fundador y uno de los más destacados astrónomos argentinos, quien por su obra y personalidad permanecerá para siempre en el recuerdo de nuestra comunidad científica.

El comité organizador de la reunión estuvo formado por las siguientes personas: Lic. G. Gimenez de Castro, Dra. C. Mandrini, Lic. G. Milesi, Dra. V. Niemela, Dra.M.Rabolli, Dra. M. Rovira y Dra. I. Vega, todos ellos investigadores del Instituto de Astronomía y Física del Espacio.

En esta oportunidad, de acuerdo a la recomendación de la Asamblea de Socios, solo se publican en extenso los textos de los discursos invitados, ya que ellos pueden ser fuente de consulta y referencia para un mayor número de investigadores. En cambio, las comunicaciones orales y murales se incluyen en forma de resúmenes, dado que ellos en general son enviados para su publicación a otras revistas. De esta forma se aliviará nuestro restringido presupuesto.

Virpi Niemela, Carlos A. Olano  
Editores



## ABREVIATURAS

BU Brandom University (USA)  
CASLEO Complejo Astronómico El Leoncito (San Juan, Argentina)  
CEA Centro de Estudios Avanzados (UBA)  
CfA Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics (USA)  
CIC Comisión de Investigaciones Científicas de la Prov. de Buenos Aires  
CONAE Comisión Nacional de Actividades Espaciales  
CONICET Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas  
CTIO Cerro Tololo Inter-American Observatory (Chile)  
DAO Dominion Astrophysical Observatory (Canadá)  
DRAO Dominion Radioastronomy Observatory (Canadá)  
FCU Facultad de Ciencias, Montevideo (Uruguay)  
FCAGLP Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas (UNLP)  
FCByF Facultad de Ciencias Bioquímicas y Farmacia (UNR)  
FCEeI Facultad de Ciencias Exactas e Ingeniería (UNR)  
FCEyN Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (UBA)  
IAFE Instituto de Astronomía y Física del Espacio (CONICET, UBA)  
IAR Instituto Argentino de Radioastronomía (CONICET)  
IATE Programa de Investigación de Astronomía Teórica y Experimental (CONICET, UNC)  
IFA Institute for Astronomy (USA, Hawaii)  
IFIR Instituto de Física de Rosario (CONICET, UNR)  
INFIP Instituto de Física de Plasma (UBA)  
IPSGSM Instituto Politécnico Superior Gral. San Martín (UNR)  
MPIfR Max Plank Institute für Radioastronomie (Alemania)  
NRAO National Radioastronomy Observatory (USA)  
OAA Osservatorio Astronómico di Arcetri (Italia)  
OAC Observatorio Astronómico de Córdoba (UNC)  
OAFa Observatorio Astronómico Félix Aguilar  
OG Observatoire de Grenoble (Francia)  
OM Observatoire de Marseille (Francia)  
OP Observatoire de Paris (Francia)  
POAMR Planetario y Observatorio Astronómico Municipal de Rosario  
PROFOEG Programa de Fotometría y Estructura Galáctica (FCAGLP, UNLP)  
SdU Sternwarte der Univ. Bonn (Alemania)  
SO Steward Observatory, University of Arizona (USA)  
UBA Universidad de Buenos Aires  
UCh Universidad de Chile (Chile)  
ULA Universidad de Los Andes, Mérida (Venezuela)  
UNAM Universidad Nacional Autónoma de México (México)



UNC Universidad Nacional de Córdoba  
UNLP Universidad Nacional de La Plata  
UNR Universidad Nacional de Rosario  
UNSJ Universidad Nacional de San Juan  
UPR Universidad de Puerto Rico (USA)  
UT Universidad de Trieste (Italia)  
UTN Universidad Tecnológica Nacional  
UTSO University of Toronto Southern Observatory, Las Campanas (Chile)  
UV Universidad de Valencia (España)  
VLA Very Large Array (USA)  
YSO Yale Southern Observatory (San Juan, Argentina)



## **DISCURSOS INVITADOS**



**Dr. José Luis Sérsic  
(1933-93)**

**DR. JOSÉ LUIS SÉRSIC**  
**1933-1993**

El día 19 de Julio de 1993, afectado por una penosa enfermedad que se prolongó por más de un año, falleció a los sesenta años el Dr. José Luis SERSIC, astrónomo en el Observatorio de Córdoba y una de las personalidades astronómicas argentinas mas relevantes y de mayor riqueza espiritual.

Como Presidente de esta Asociación de la cual fuera él uno de los fundadores, como Director del Observatorio que se honró de contarlo entre sus astrónomos y como discípulo de antigua data, evocarlo hoy es una triste obligación.

Tengo de Sérsic un recuerdo muy personal y vívido, en el cual se mezclan cosas posiblemente importantes y otras quizás sin importancia, pero que dan consistencia al recuerdo; al menos tanta como puede tenerla el de un padre con quien haya habido diferencias que, a la larga, resultaron irrelevantes.

Oriundo de la localidad correntina de Bellavista, realizó sus estudios secundarios en la Capital Federal, y los universitarios en la entonces Escuela Superior de Astronomía y Geofísica de la Universidad Nacional de La Plata, de la cual egresó en 1956 como Doctor en Astronomía.

Al poco tiempo de doctorarse en La Plata y luego de un lapso breve en el Departamento de Astrofísica de ese Observatorio, en 1957 se estableció en Córdoba con su familia (inicialmente su esposa Hebe, a la que pronto se unieron sus hijas Beatriz y Alicia, y últimamente, sus nietos) como astrónomo en el Observatorio Astronómico de la Universidad Nacional. A fines de la década del '50 fue becario externo del CONICET (uno de los primeros) y al promediar los años 60 obtuvo la beca Guggenheim, desarrollando en ambos casos su actividad en los Estados Unidos.

Simultáneamente con la posición de astrónomo que mantuvo con continuidad desde 1957 en el Observatorio de Córdoba y en la cual alcanzó por concurso el nivel de Profesor Titular (dedicación exclusiva), integró desde 1961 la Carrera del Investigador Científico del CONICET en la cual actualmente poseía el nivel de Investigador Superior.

Ocupó en varias ocasiones la Dirección del Observatorio de Córdoba y fue el fundador y único Jefe de su Departamento de Astronomía Extragaláctica, al que en los últimos años reestructuró orientándolo hacia la "Astronomía Teórica y Experimental" aplicada a los sistemas extragalácticos (dando así forma al Programa IATE del CONICET).

No es fácil describir toda la actividad astronómica que desarrolló a lo largo de su vida el Dr. Sérsic; la amplitud y la riqueza que ella posee harían cualquier intento en ese sentido parcial e incompleto. Pero es posible brindar un esbozo que permita poner de relieve algunos rasgos dominantes que describan su especial personalidad y el amplio espectro de su interés.

Luego de un inicio en 1949 orientado a la Mecánica Celeste, tema en el que realizara su Tesis Doctoral -que trató de la aplicación de métodos de operadores para el desarrollo formal de diversos problemas de mecánica (en los cuales se aprecia la estima que siempre manifestó por los trabajos de H. Poincaré, Y. Hagihara, C. Lanczos, H. Mercier, L.Brillouin)-, desde 1956-7 su interés se orientó al estudio de problemas de astronomía extragaláctica en apariencia de muy variada índole pero que, vistos en perspectiva, traducen profundas inquietudes sobre la estructura y la escala del Universo y sobre los procesos que dan origen a sus distintos objetos .

Se sucedieron así los importantes trabajos de fotometría y morfología de galaxias que fueron la base del Atlas de Galaxias Australes, encarado con procedimientos originales de una muy alta precisión para la época (en la cual sobresalen las fotometrías de G. Oriano De Vaucouleurs y de E. Holmberg); se establecieron en su desarrollo criterios metrológicos de calidad (sensitómetro a escalones).

Poco después, la necesidad de determinar los brillos absolutos de las galaxias condujo a Sérsic a analizar los procedimientos para establecer sus distancias ; de ello resultaron su participación en el programa de rastreo de supernovas de F. Zwicky (cuya influencia en la definición de criterios morfológicos no puede dejar de destacarse) y sus trabajos, primero observacionales, sobre el diámetro de las regiones HII como indicadores de distancia (correlación entre una magnitud que da una medida del tamaño absoluto de las regiones HII y el tipo morfológico de las galaxias que las contienen). El fundamento teórico de esta relación - la proporción de gas en cada clase de galaxia (M.S. Roberts) y la masa máxima que en cada clase pueden alcanzar las estrellas mas masivas (V.C.Reddish)- fue ingeniosamente interpretado luego por Sérsic. Su orientación originalmente teórica lo llevó también a intentar la aplicación a estos problemas de los métodos de la física de plasmas (Virial tensorial y otros temas entonces de moda con los cuales se asocia el nombre de S. Chandrasekhar).

Tan importantes morfológicamente como las regiones HII son las distintas estructuras perceptibles en las galaxias; en particular, sus núcleos. Así, no es extraño que Sérsic se vinculara a un proyecto de largo aliento sobre esas regiones: se advirtió así la correlación entre algunas estructuras nucleares con ciertos tipos morfológicos: los núcleos Sérsic-Pastoriza (tema al que puede relacionarse el nombre de H.Morgan).

La importancia de la espectroscopía de galaxias como herramienta para estudiar sus propiedades y sus velocidades condujo por esos años, por iniciativa de Sérsic, a la puesta en operaciones en Bosque Alegre de un Espectrógrafo

Nebular fabricado por T. Page. También fue Sérsic quien advirtió sobre la importancia y la utilidad de utilizar, para los estudios nebulares con telescopios de mediana talla, los métodos interferenciales preconizados por G. Courtés siguiendo los pasos de Ch. Fabry, Ch. Perot y H. Buisson. La necesidad concurrente de mejorar los métodos de detección no era ignorada por Sérsic, quien impulsó la instalación de intensificadores de imágenes en el telescopio de 154 cm de Bosque Alegre ( Estación Astrofísica del Obs. de Córdoba).

Estos medios, en cuyo logro la gestión de Sérsic fue fundamental, habilitaron la posibilidad de encarar la medición de las curvas de rotación, las masas y el estudio de las condiciones físicas en núcleos y regiones de emisión de galaxias. Pero es digno de mencionar que él personalmente detestaba (o al menos se sentía incómodo) el uso de las técnicas espectroscópicas e interferométricas.

Otra línea de trabajo en la cual Sérsic siempre tuvo especial interés fue el de las galaxias peculiares, la asociación de peculiaridades con estructuras nucleares complejas, y la posibilidad de que se asociaran con procesos explosivos; posiblemente ello se haya debido en parte a su personal interés en el objeto peculiar NGC 5128 (ver tapa), que siempre consideró SU galaxia personal, pero es indiscutible la profunda influencia que los rusos V. Ambartsumian y B.Vorontsov-Velyaminof y el americano A. Harp ejercieron en ese sentido.

Procurando develar los mecanismos primordiales actuantes en el proceso de formación de estructuras en el Universo ( ya fueran galaxias o estrellas), Sérsic buscó el apoyo de la termodinámica de procesos irreversibles elaborada por I.Prigogine, S.R.de Groot y otros para describir procesos como el de fragmentación propuesto por F. Hoyle; otro de sus intentos que recuerdo consistió en tratar el proceso de formación estelar como un cambio de fase similar al que ocurre en el He a muy bajas temperaturas.

A comienzos de la década del ochenta, dirigió una parte importante de sus esfuerzos a la modelización numérica de procesos de colisión de sistemas de puntos. Pero también se ocupó de la cuasiconstancia de algunos parámetros en sistemas de muy diferente geometría y estructura (la Identidad de Jacobi y el virial, como lo discutieran V. y S. Ferronsky).

En los últimos tiempos, efectuó un retorno a los intereses astronómicos de sus comienzos, en los cuales siempre halló placer y gratificación: el estudio morfológico-fotométrico de galaxias utilizando técnicas digitales modernas para tratar material fotográfico antiguo y observaciones nuevas mediante CCDs. Con esta última técnica se logra proteger el talón de Aquiles más común de las pasadas fotometrías de galaxias: el problema del punto cero de sus escalas de magnitudes.

Fue también en estos años que dio a la prensa su antigua tesis, y en los que cristalizó sus reflexiones sobre la mecánica con un texto (aún inédito) de *Mecánica Celeste*.

Sérsic poseía un carácter jovial y ameno, atractivo para quienes éramos más jóvenes y lo adoptábamos como un modelo a imitar. Por eso, muchos de los estudiantes de Astronomía de Córdoba nos acercamos a él: en orden cronológico recuerdo a: Pereyra, Carranza, Pastoriza, Sisteró, Agüero, Dottori, Calderón, Moyano, Cerruti, Boeykens, Arreguine, Mosconi, Ferreyra, García Lambas, Navarro, Muriel, Nicotra, Abadi, Tissera, Doncelli....

Su influencia se proyectó también en otros lugares: varias generaciones de jóvenes platenses se beneficiaron con su trato y consejo; merecen recordarse las reuniones de astrónomos jóvenes realizadas en Bosque Alegre a su iniciativa a comienzos de los años setenta, en las cuales participamos casi todos los que hoy superamos los cuarenta años. Tuvo alumnos y dirigió tesis en Chile, y colaboró en la creación de una conciencia astronómica en Perú y en Paraguay.

Su libro de *Astronomía Extragaláctica*, editado por Reidel en Holanda y traducido al chino, es una valiosa síntesis de sus experiencias astronómicas y de la práctica docente que llevara a cabo.

Sérsic fue astrónomo durante toda su vida: desde la época de adolescente, con el OBVO, luego como miembro de la Asociación Argentina "Amigos de la Astronomía" (tengo presentes sus cuadernos "avon" escritos a lápiz en letras de imprenta minúsculas con las notas de Astrometría que brindara a los aficionados, en los que yo aprendí lo que es el "locus fictus") hasta estos tiempos, en que luego de una fecunda actividad, había alcanzado las más elevadas posiciones.

Trató siempre de transmitir al hombre común sus experiencias y curiosidades, en numerosas notas a través de los medios de difusión y también mediante libros, como "El conocimiento de las Fronteras" editado por TEUCO, en el cual describió las situaciones en las cuales la ciencia carece todavía de respuestas, o "La exploración de Marte" publicado por LABOR, en el cual los resultados de las sondas espaciales le permitieron retomar un tema que le fue caro desde sus épocas de aficionado cuando dibujaba la superficie del planeta rojo.

Sérsic siempre tuvo un espíritu inquieto, una gran capacidad de organización y un empuje casi irresistible. Existen de ello numerosos ejemplos:

- su activa participación en el proyecto y diseño de lo que hoy es un importante centro astronómico, este IAFE que hoy nos recibe;

- su combate exitoso para resistir la hegemonía de la Comisión Nacional de Estudios Geo-Heliofísicos por sobre el CONICET que pretendió imponer, en las ciencias duras, el políticamente fuerte presidente de aquella, el Padre Mariano Castex;



-sus exitosas gestiones hasta lograr que la Universidad Nacional de Córdoba diera status docente a los astrónomos del Observatorio, y la organización de este con un gobierno colegiado;

-su habilidad para organizar, casi sin medios, dos Reuniones Latinoamericanas de Astronomía Extragaláctica (1975 y 1987).

La experiencia y la amplitud de criterio del Dr. Sérsic hicieron que fuera convocado en numerosas ocasiones para prestar su asesoramiento en distintos organismos de promoción científica nacionales (integró durante años las comisiones asesoras general, especial y de seguimiento de unidades funcionales de la especialidad en el CONICET; el GT215 de la SECYT, responsable de la puesta en operaciones del CASLEO) y provinciales( comisión de física, matemática y astronomía del CONICOR). Por las mismas razones, integró durante años los Comités de Supervisión de numerosos Centros e Institutos del CONICET.

Fue un ávido lector, apasionado por los temas geográficos (como los sugeridos por textos como el Kosmos de Humboldt) que estimularon su espíritu viajero. También dejaron huellas permanentes autores de Ciencia-ficción de origen científico como Hoyle (La Nube Negra, A como Andrómeda,...) y Asimov (la saga de "Las Fundaciones"... ) que con frecuencia plantean los efectos que pueden llegar a producir la ciencia y los científicos, recurriendo a imaginativos mecanismos de operación social (en Hoyle, del tipo "trust" de cerebros; en Asimov, las fundaciones). Textos un poco en serio, un poco en broma como los del "Principio de Peters" o de las "Leyes de Parkinson" le fueron también útiles para contemplarse y para contemplarnos.

En las relaciones personales Sérsic fue una persona tímida, acogedora y cálida, siempre bien dispuesta para la conversación y las consultas sobre todo con los más jóvenes y siempre con una broma a flor de labios. Sus decisiones eran, sin embargo, firmes y a veces daban origen a vehementes discusiones.

El Dr. José Luis Sérsic desarrolló una relevante tarea en distintas actividades relacionadas con su condición de Profesor e Investigador de alto nivel, en concursos, evaluación de investigadores y de proyectos en Universidades y Centros de la Argentina y de otros países. También integró los Comités de Organización de numerosos coloquios y simposia especializados.

Fue miembro de la Unión Astronómica Internacional, de la Royal Astronomical Society (UK), de la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (Buenos Aires), de la Academia Nacional de Ciencias (Córdoba) y de la Asociación Argentina Amigos de la Astronomía.

Integró en varias ocasiones la Comisión Directiva de nuestra Asociación a la que presidiera en 1970. Durante más de una década formó parte del Comité Nacional de Astronomía, del cual fue Secretario en varias ocasiones, y tuvo la responsabilidad de elevar a la UAI la propuesta de nuestro país como sede para la Asamblea General que tuvo lugar en 1991.

He tratado de revivir mis recuerdos de Sérsic para compartirlos con Uds.; pero se que no es posible reflejar su personalidad en estos pocos minutos.

La desaparición de una persona como él representa, para nuestra pequeña comunidad, una importante pérdida; conservemos su recuerdo, tal vez el de un joven de quince años asociándose a la AAAA (cuando un adolescente se nos acerque con sus inquietudes), o el de un maestro que dejó en nosotros profundas huellas (cuando algún alumno insista en sus dudas), o el de un consejero al que recurrimos en momentos de duda (cuando debamos enfrentar alguna decisión compleja)...

...Será el mejor homenaje que podamos brindarle.

Gustavo J. Carranza

Setiembre de 1993





# HACIA UNA TEORIA GALACTICA DEL CATASTROFISMO TERRESTRE

C.A. Olano  
Instituto Argentino de Radioastronomía  
Buenos Aires, Argentina

*"My own view is that there is not longer any controversy except over the possible periodicity of the impacts, in which I am one of the few believers"*

*Luis Alvarez*

**Summary.** The contemporary theories of terrestrial catastrophism are briefly reviewed. The role of Apollo-objects and some historical references to Tunguska-type cases are shortly described. Since the likely galactic origin of periodicities in the terrestrial record, the possibility that encounters with GMCs perturbed the Oort cloud is analyzed. The galactic orbits of the Sun and nearby GMCs were determined for the last 40 Myr. The result is that the Sun encountered probably Ori OB1 and Mon OB1 Clouds in coincidence with the dates of the Miocene and Eocene mass extinctions (see Figs.1, 2, 3 and 4). It is proposed that the Sun was for 250 Myr captive of a supercloud or association of GMCs (Gould's belt), of which the progenitors of Ori OB1 and Mon OB1 formed part. A computer simulation of Sun's orbit relative to the hypothetical cloud, to which the Sun would have been physically attached, is presented (see Figs. 5 and 6). The 25-30/13-15 Myr quasi-periodicities in the terrestrial record can be explained by the model.

## 1. INTRODUCCION

La evolución de las especies y su relación con la historia de la Tierra han intrigado a los naturalistas desde hace un siglo y medio. Los términos históricos en los que se desarrolló el debate son "uniformitarismo" y, en contraposición, "catastrofismo". Las dos ideas sintetizadas en dichas palabras, y presentadas como opciones claras, llevaron a una polarización de opiniones, que es hoy insostenible. En el enfoque moderno, se reconoce la potencialidad de las grandes convulsiones terrestres para provocar las extinciones masivas y crear así una ventana de oportunidades para el surgimiento de una nueva población. La discusión actual se centra fundamentalmente en el posible papel de las catástrofes en el proceso evolutivo. El padre del catastrofismo fue Cuvier, naturalista francés de la época napoleónica, quien postulaba la idea de una serie de catástrofes para explicar la presencia en las rocas de animales extinguidos. Los

registros paleontológicos siguen las eras geológicas de modo que el final de un período geológico se corresponde generalmente con un significativo episodio de extinción de especies. El más dramático de todos estos desastres fue uno que ocurrió a fines de la época pérmica, hace 250 millones de años (Ma), cuando el 75% de los anfibios, y un 50% de los reptiles desaparecieron de repente. Igualmente importante es la ocurrida a fines del Triásico. Uno de los eventos mejor documentados es el del fin del Cretácico (hace ~ 65 Ma) en el cual desaparecieron numerosas especies, entre ellas los dinosaurios. Se dice a menudo, correcta o erróneamente, que la extinción de los dinosaurios condujo a la aparición del hombre a través de las oportunidades que se les abrieron a los mamíferos con la desaparición de los dinosaurios. En esta revisión, se examinan en particular las posibles causas de las extinciones catastróficas, que se sucedieron casi periódicamente durante los últimos 250 Ma. Recientes hallazgos han dado nueva vida a este viejo y complejo problema, en cuyos aspectos astronómicos se hace aquí hincapié. En las secciones 6 y 7, se presentan resultados originales del autor, que apoyan la tesis de una vinculación galáctica como causa primaria del catastrofismo terrestre.

## **2. TEORIAS NEOCATASTROFISTAS : IMPACTO VS. VULCANISMO**

En 1979, Luis Alvarez (Alvarez 1987), el descubridor del tritio y premio Nobel de física, encontró que la capa geológica correspondiente al Cretácico posee niveles anormalmente altos de iridio. Estos elementos son raros en la Tierra y, para explicar los hechos, Alvarez propone que un gran meteorito o cometa (~10 km de diámetro) chocó contra la Tierra a fines del período Cretácico. Posteriores estudios revelan que las capas geológicas de otras extinciones estarían también asociadas con un enriquecimiento de iridio (Alvarez 1982). La hipótesis del impacto fue tomada con entusiasmo por un grupo de destacados astrónomos, entre ellos, Clube y Napier (1979), pioneros en este campo. Por el lado de los geólogos se la considera con cierto escepticismo; prefieren invocar cataclismos debidos a procesos internos de la Tierra, (aunque no claramente fundamentados (Hallan 1988)). El vulcanismo muestra cierta correlación con las extinciones e incluso podría explicar el enriquecimiento de iridio. Ahora se sabe que hay un tipo particular de erupción volcánica capaz de acarrear iridio del núcleo, donde sí es relativamente abundante. Sin embargo, hay otras evidencias que inclinan la balanza en favor de la teoría del impacto. En la capa de iridio aparecen esférulas de mineral, es decir gotas de roca fundida y enfriadas en sus trayectorias balísticas que las esparcieron por todo el planeta. También se encuentran asociadas con granos de cuarzo impactado, una clara indicación de que la roca fue sometida a altas presiones por el choque de un cuerpo de alta velocidad. Aún más, se ha encontrado en la Península de Yucatán una estructura geológica de 200-300 km de diámetro que podría deberse al impacto del Cretácico, según todas las evidencias gravimétricas y magnéticas, junto a la presencia de granos de cuarzo impactado. Recientes estudios refuerzan dicha posibilidad. En efecto, mediante una técnica de datación muy precisa que utiliza las abundancias relativas de los isótopos del Argón se ha determinado que la edad del cráter de Yucatán es de 65.2Ma (Sharpton y otros 1993).

Las hipótesis del impacto y vulcanismo no serían mutuamente excluyentes, si entendemos que la actividad volcánica global fue desencadenada por el impacto cometario. A pesar de que el impacto de un gran cuerpo (8 ~ 10 km) puede haber jugado un papel central en la extinción del Cretáceo, las evidencias argumentan en favor de una historia más complicada, que incluiría múltiples impactos y complejos efectos sobre el medio ambiente .

El primer efecto que se consideró fue el del bloqueo de la luz solar debido al polvo y vapor arrojados a la alta atmósfera por el impacto, lo cual oscureció y enfrió a la Tierra durante meses. Este simple escenario de oscuridad y frío ha sido ampliado incluyendo factores tales como intensos vientos de 500 Km/h que duraron horas, incendios generalizados y otros de más larga duración como lluvia ácida, destrucción de la capa de ozono, efecto invernadero y vulcanismo inducido, etc.

El propio polvo inyectado en la atmósfera por un cometa puede producir también una sustancial extinción de la luz solar si los fragmentos son suficientemente pequeños. La densidad numérica de granos de 0.1  $\mu$ m en un cometa poroso  $\rho = 0.1 \text{ g/cm}^3$  es  $\approx 0.1(R_c / a_p)^3 = 10^{32}$ , donde  $R_c$  y  $a_p$  son el radio del cometa y de los granos de polvo respectivamente. Distribuido en la atmósfera de la tierra, esto conduce a una densidad de columna de  $N = 10^{32} / 4\pi R_r^2 \approx 2 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$  y una profundidad óptica en el ultravioleta de  $(-N\pi a_p^2 Q_{ext}) \approx 10^4$ . Dado que profundidades ópticas aún mucho mas pequeñas pueden desatar una edad de hielo, los efectos climáticos de un cometa serían catastróficos.

El bombardeo al cual ha estado expuesto la Tierra es fácilmente constatable en la superficie de la Luna. Los mares lunares, formados de rocas magmáticas solidificadas hace 3500 Ma (según las muestras traídas por la misión Apolo), cubren el 16% de la superficie lunar y constituyen así una excelente base donde contar el número de cráteres y estimar en consecuencia la frecuencia de las colisiones. Resulta que se formó en promedio un cráter de al menos de 50 km de diámetro cada 120 Ma. El resultado lunar puede ser extrapolado a nuestro planeta. La superficie de la Tierra es 80 veces mayor que aquella de los mares lunares. En consecuencia, la Tierra sufrió uno de tales eventos cada 10 Ma.

### 3. OBJETOS APOLO, LLUVIAS METEORICAS Y EVENTOS TUNGUSKA

Los asteroides cuyas órbitas cortan la terrestre representan una amenaza y muchas veces nos han chocado en el pasado con graves consecuencias. El geólogo Shoemaker ha llevado a cabo un estudio de los cráteres pequeños de impacto en la Luna. Sobre la base de ese estudio, él estimó que en los 5000 años pasados hubo en promedio sobre la Tierra aproximadamente 17 impactos de 12 megatones, 7 de 30 megatones y uno de al menos de 800 megatones de energía. Los cuerpos capaces de inyectar estas energías tienen tamaños que van desde 100m a 2km. Estos objetos próximos a la Tierra pertenecen a una familia de asteroides conocidos como objetos Apolo-Amor.

Muchos de estos siguen órbitas que recuerdan las de los cometas de corto período conocidos y por lo tanto pueden ser cometas "extintos" como sugirió en un comienzo Öpik.

Hay en la historia referencias a sucesos relacionados con fenómenos violentos que nos permiten inferir la posible influencia de los cometas gigantes sobre la evolución terrestre. En la mañana del 30 de Junio de 1908, una extremadamente violenta explosión devastó una extensa zona boscosa, cerca del río Tunguska en la meseta Siberiana. La fecha del evento corresponde al pasaje de la Tierra por el máximo de la corriente beta de la Tauridas. Por lo tanto, la más adecuada explicación es que parte del Cometa Encke entró en la atmósfera terrestre y explotó justo sobre la superficie (para una interpretación distinta ver Chyba y otros (1993)). La energía de la explosión, calculada sobre la base de los registros barométricos de las ondas de presión detectadas en diferentes lugares del mundo, fue de 30 a 40 megatones (una docena de bombas atómicas comunes de hidrógeno).

Otra referencia histórica es una curiosa crónica de un monje medieval, Gervasio de Canterbury, en la que da cuenta de un suceso extraordinario: el 25 de Junio de 1178, un grupo de monjes de la catedral de Canterbury contemplaron una explosión en la Luna. Aparte de lo sugestivo de la fecha, coincidente con la de la corriente anual de las Tauridas, hay evidencias físicas que permiten afirmar que lo observado 800 años atrás fue el choque de un cuerpo contra la Luna. Se piensa que el cráter Giordano Bruno (26km) y la oscilación de 15 m de la superficie lunar sobre su eje polar, con un período de 3 años (determinado en base a precisas mediciones láser de la distancia Tierra-Luna), son productos de aquel evento. El choque liberó una energía de 100.000 megatones equivalente a diez veces el arsenal nuclear combinado del mundo, lo cual si ocurriera en la tierra, produciría una catástrofe climática de escala planetaria; "un invierno nuclear".

Más atrás en la historia, los anales chinos revelan que hubo un incremento notable en el flujo de bólidos al final del primer milenio. Este período de gran actividad celeste fue causado probablemente por la gradual desintegración, sobre un período de varias centurias, de un gran cuerpo en la corriente de las Tauridas (el progenitor del cometa Encke). Estos fenómenos deben haberse visto también en Europa. En efecto, es sabido que el Papa Urbano II instó, en 1095 en el famoso sermón de Clermont, a realizar la Primera Cruzada, conciente de la conmoción y creencias escatológicas que habían despertado las lluvias de meteoros. Crónicas de entonces informan sobre "intensos terremotos en diversos lugares" y "Se vieron a través de todo el mundo estrellas cayendo hacia la Tierra ....." (ver referencias en Bailey y otros (1990) y en Clube y Napier (1990)). Si bien estos relatos son muy sugestivos de por sí, aún no se han encontrado evidencias físicas de que hayan ocurrido en ese entonces sucesos del tipo Tunguska.

Los eventos Tunguska producen solo daños locales en un radio de 100 Km. En cambio aquellos como el del relato de Canterbury tienen consecuencias ecológicas globales. La NASA está llevando a cabo un proyecto de detección y de eventual protección contra objetos que puedan amenazar nuestra civilización (Ahrens y Harris 1992).



#### 4. LA NUBE DE OORT, UN NEXO ENTRE EL SOL Y LA GALAXIA

Las órbitas de los cometas de largo período ( $> 200$  años) están orientadas esencialmente al azar, mientras que las de corto período se concentran fuertemente hacia la eclíptica. La primera impresión que se tiene es que los cometas de largo período provienen del exterior del sistema solar, pero ello no es así. A pesar de que ellos alcanzan distancias muy grandes, mucho más allá de los planetas más alejados, no se han encontrado órbitas hiperbólicas. Ello llevó a Oort a postular que el Sol está rodeado de una nube de cometas del orden de 1 pc de tamaño. Actualmente la población de la nube de Oort se estima en  $10^{12}$  cometas. Los encuentros lejanos con estrellas y la fuerza de marea del disco galáctico termalizan las órbitas de la capa exterior de la nube hasta un radio interior de  $a = 30.000$  UA, de modo que siempre hay una fracción de cometas con los parámetros orbitales justos para que se acerquen al Sol dentro del área de visibilidad (2 UA). Esto asegura un flujo estacionario de cometas del orden de uno o dos cometas por año dentro de la zona de visibilidad.

La probabilidad de colisión de los cometas de largo período con la Tierra es  $10^{-8}$  por cometa por año. Este número es aproximadamente igual al cociente del área proyectada de la Tierra con el de su órbita alrededor del Sol. Por lo tanto ello explica un 10 % de la tasa de producción de cráteres en la Tierra. Si se toman en consideración los cometas de corto período naturalmente un porcentaje mayor de la tasa de producción de cráteres puede explicarse. Según el punto de vista convencional, una fracción de los cometas de largo período se convierten en cometas de corto período debido a las perturbaciones planetarias que los confinan al interior del sistema solar. Los cometas de corto período son fundamentalmente los proveedores de objetos Apolo-Amor, los cuales son en última instancia los que chocan contra la Tierra.

Si la distribución de energía de los cometas es expresada por  $n(E) = |E|^{-\gamma}$ , la distribución radial de densidad es aproximadamente una ley de potencia de índice  $\gamma - 4$ . Se espera que en 100 Ma una estrella de  $0.6 M_{\odot}$  pase dentro de 7800 UA del Sol. Según Fernández e Ip (1987), si  $\gamma = 2$ , el número de cometas lanzados hacia dentro del sistema planetario por tal pasaje aumentaría sobre el de fondo en un factor mayor que 30.

#### 5. PERIODICIDADES EN LOS REGISTROS TERRESTRES: LA IMPRONTA GALACTICA

Otro hecho sorprendente es la aparente periodicidad del orden de 25-30 Ma en el patrón de las extinciones, como así también de varios indicadores geológicos. Raup y Sepkoski (1988) encuentran a partir de un estudio detallado de extinciones de géneros y familias, una regular periodicidad de 26 Ma durante los últimos 250 Ma. Este período estimado puede considerarse seguro dado que otros fenómenos globales, como las edades de los cráteres terrestres (Alvarez y Muller 1984), el vulcanismo etc. presentan periodicidades similares y en fase con aquella. La frecuencia de las inversiones del

campo magnético terrestre también varía en esos tiempos; sus períodos son 30 y 15 Ma, determinados con una incerteza de tan solo 2 Ma.

Los registros paleomagnéticos de las inversiones de polaridad son relativamente completos (abarcen los últimos 150 Ma), y pueden reflejar disturbios de la interfase entre el núcleo y el manto terrestre como consecuencia de traumas de impacto y climáticos. El ciclo de 15 Ma es considerado (Mazaud y otros 1983) como el fundamental y más prominente ciclo terrestre jamás encontrado. Una relación entre los eventos de inversiones y climáticos parece estar bien establecido al menos para el Pleistoceno. Recientes estudios sugieren que al menos parte de las variaciones geomagnéticas seculares son inducidas por anomalías de temperatura en el manto sólido (Gubbins 1987). El enfriamiento del manto controlaría así la convección en el núcleo y, en consecuencia, el ritmo de producción de las inestabilidades responsables de las inversiones del campo magnético.

Las lluvias de cometas inducidas por las perturbaciones estelares no pueden evidentemente dar periodicidades. Muchos intentos se han hecho para encontrar periodicidades astronómicas de ese orden. Una idea es que el Sol tiene una estrella compañera, Némesis, la cual orbita al Sol con un período de 30 Ma. Cuando esta estrella se acerca periódicamente al Sol, perturba las órbitas de los cometas y produce una avalancha de cometas hacia el interior del sistema solar. Sin embargo, esta idea no es viable debido a que la órbita de la hipotética estrella Némesis sería inestable (Clube 1988).

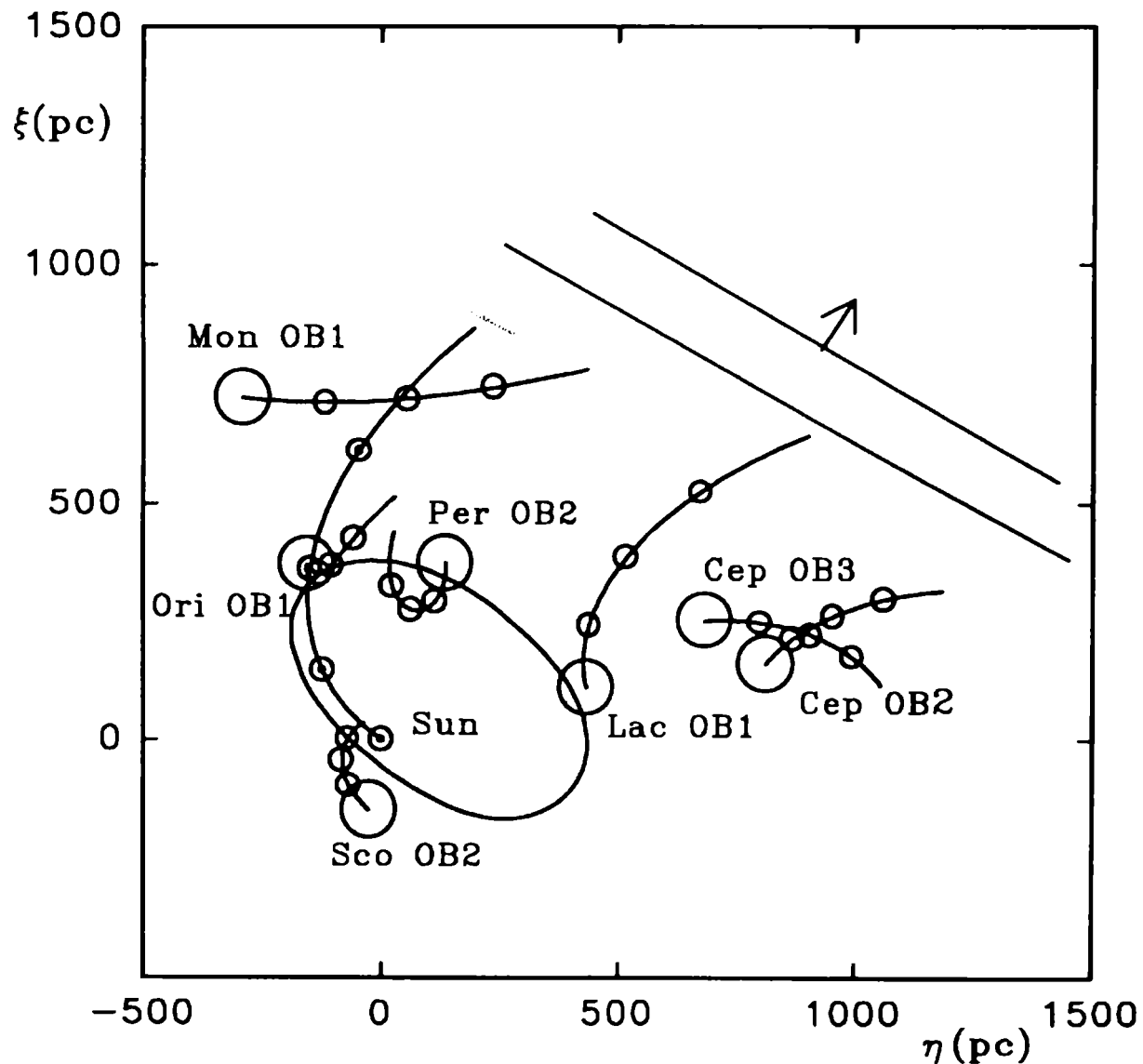
Otra periodicidad de la magnitud requerida es el tiempo de oscilación del Sol a través del plano galáctico. El período de este movimiento en la coordenada Z (perpendicular al plano galáctico) es del orden de 60 Ma. El período de las interacciones es la mitad de aquel, el intervalo entre cruces por el plano galáctico. Esta hipótesis ha sido defendida por Stother y Ramponi (1986), para quienes al pasar el Sol a través del plano galáctico, hacia donde se concentran las nubes interestelares, se perturbaría la nube de Oort. Esta teoría también tiene algunas contras. La amplitud de la oscilación en Z del Sol es del mismo orden que el espesor de la capa galáctica. Por otra parte, las nubes más abundantes no tienen masa suficiente para perturbar significativamente a la nube de Oort.

Sin embargo veremos en las siguientes secciones que la teoría galáctica puede quedar aún en pie si una hipótesis auxiliar se incorpora.

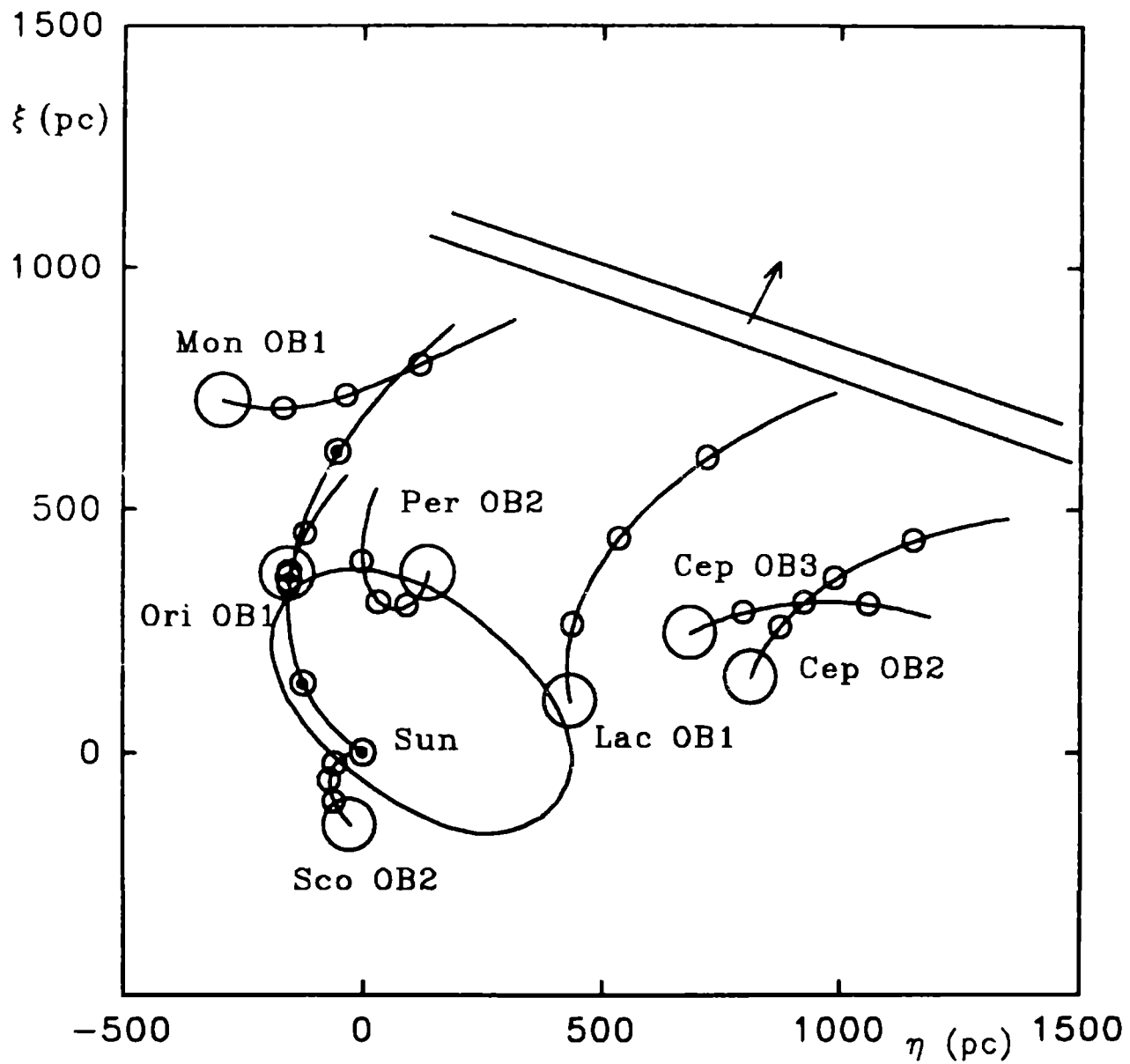
## **6. ENCUENTROS CON NUBES MOLECULARES GIGANTES**

Las nubes moleculares gigantes son potencialmente los mayores perturbadores de la nube de Oort. Estas poseen masas de hasta millones de masas solares ( $M_{\odot}$ ) y en un encuentro cercano con el Sol son ciertamente capaces de perturbar significativamente la nube de Oort. Por lo tanto, una pregunta básica es si el Sol se ha encontrado realmente con alguna de ellas digamos en los últimos 40-60 Ma, en sincronismo con las extinciones (Olano 1991, 1993). Más allá de 50 Ma es difícil reconstruir determinísticamente la historia orbital del Sol por las razones que más abajo serán evidentes.

En la Fig. 1, se representan en el plano galáctico las órbitas epicíclicas del Sol y de las nubes moleculares gigantes relacionadas a asociaciones OB de la vecindad solar (ver también Olano (1982), Olano y Pöppel (1987)). Los círculos mayores y el símbolo del Sol en el extremo de su órbita indican la posiciones presentes de las nubes y del Sol. Los círculos menores indican las posiciones pasadas a intervalos de 10 Ma. En la Fig. 2 se consideró que el sistema de movimientos propios del FK5 posee una rotación absoluta de  $0.001''/\text{año}$ , la incerteza estimada. Si tenemos en cuenta el gran parámetro de impacto de las nubes moleculares gigantes, vemos que hay un significativo acercamiento del Sol con Orión (hace 10-20 Ma) y con Mon OB1 hace 40-50 Ma .



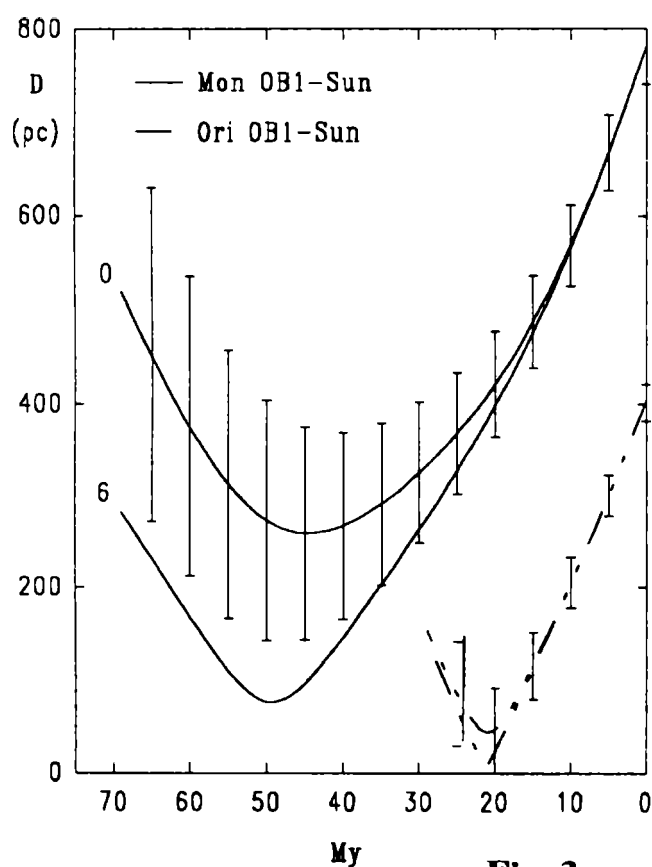
**Fig1.** Órbitas del Sol ( $\odot$ ) y de las asociaciones estelares locales en el plano galáctico. Los círculos mayores representan las posiciones presentes. Las posiciones pasadas cada 10 Ma están indicadas con los círculos menores. La curva elipsoidal corresponde al anillo del Cinturón de Gould (Olano 1982) en su configuración presente. El eje  $\eta$  apunta en la dirección de la rotación galáctica, y el eje  $\xi$  hacia el anticentro.



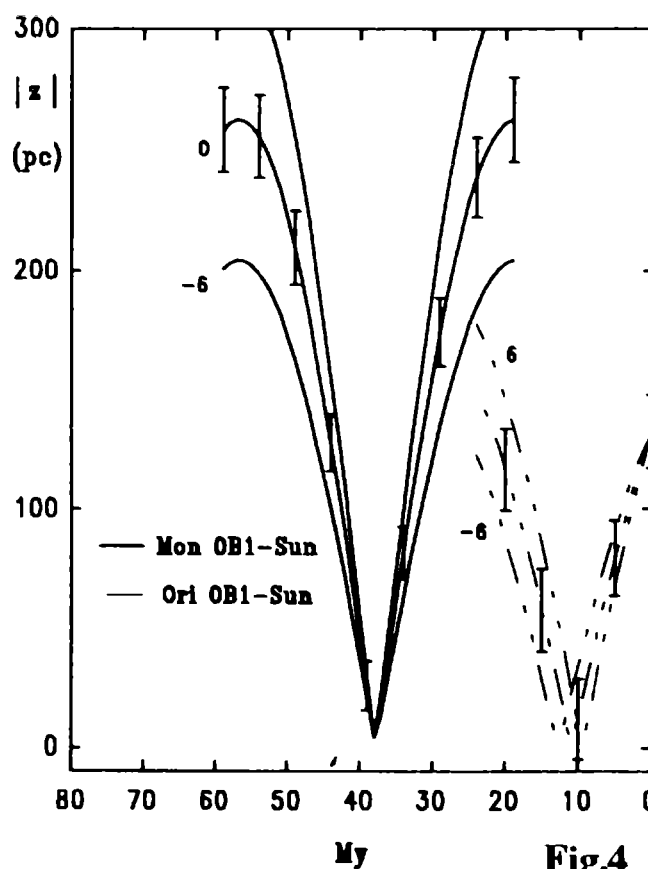
**Fig.2** . Lo mismo que en la Fig.1 pero aquí se adoptó una rotación absoluta del FK5  $\sim 0.001''/\text{año}$  ( $= 6\text{km/s/Kpc}$ ) en el sentido de la rotación galáctica.

Ello se ve claramente en las Figs.3 y 4 donde se representan las distancias, proyectadas sobre el plano galáctico (Fig.3) y sobre el eje Z (Fig.4), que Ori OB1 y Mon OB1 tuvieron con respecto al Sol en el pasado. Las incertezas que indican las barras de error se estimaron a partir de los errores de distancia, velocidad y movimientos propios de los complejos de gas y estrellas. Los números que acompañan a las curvas se refieren a distintos valores (-6, 0 y 6 km/s/kpc) para la rotación absoluta del sistema FK5.

Nótese que las dos épocas de encuentro, 10-20 y 40-50 Ma, coinciden aproximadamente con las de las dos últimas extinciones en masa (Mioceno y Eoceno).



**Fig. 3**



**Fig.4**

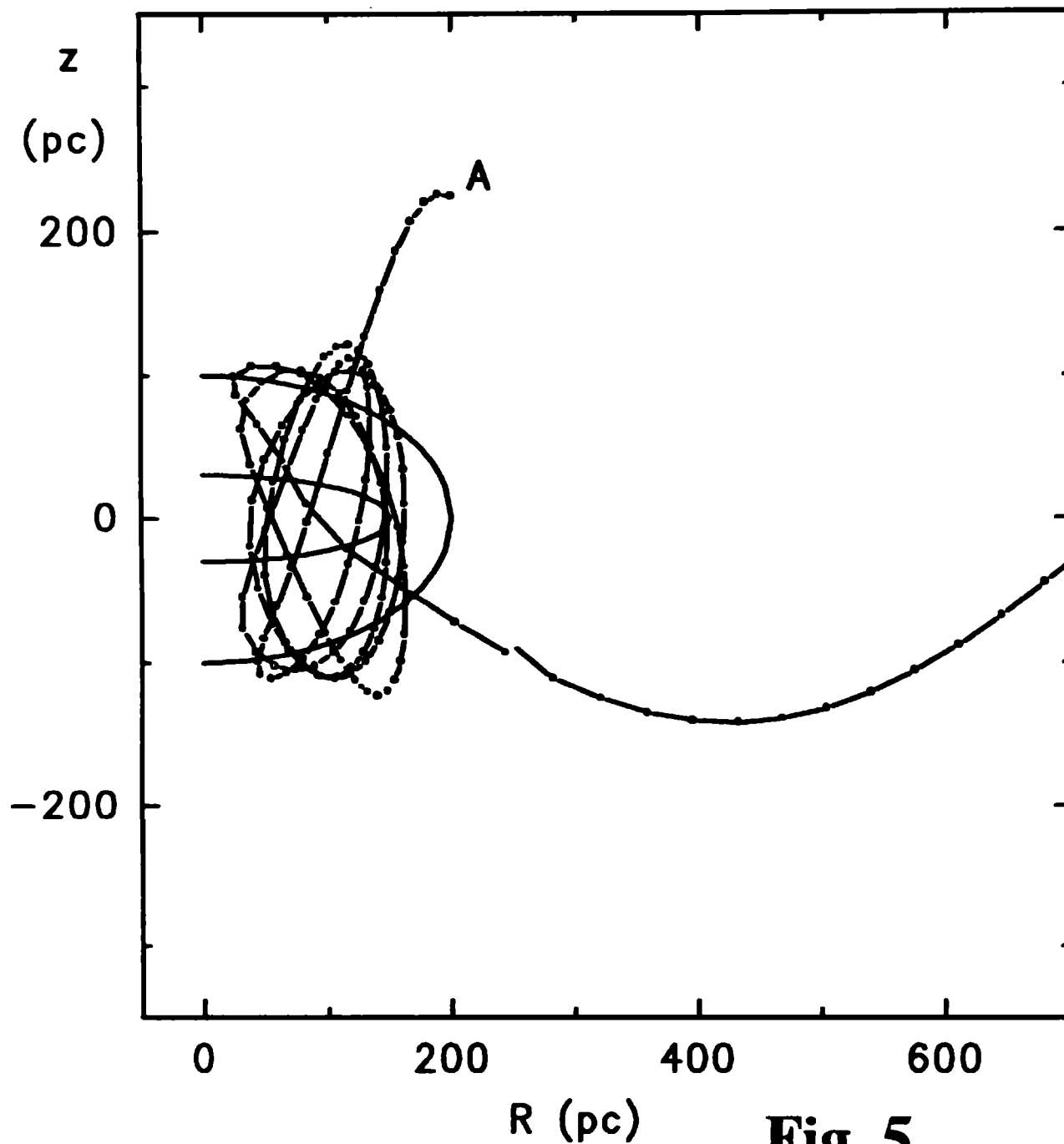
**Fig.3 .** Distancias relativas al Sol (en pc), proyectadas sobre el plano galáctico, de Ori OB1 (trazos) y de Mon OB1 (línea llena) en función del tiempo pasado en Ma. Los valores de la rotación absoluta del sistema FK5 (-6,0 y 6 km/s/kpc) con los cuales se trazaron las curvas son indicados .

**Fig.4 .** Lo mismo que en la Fig.3 pero para el módulo de las proyecciones sobre el eje Z (perpendicular el plano galáctico) de las distancias Sol - Ori OB1 y Sol- Mon OB1 en pc.

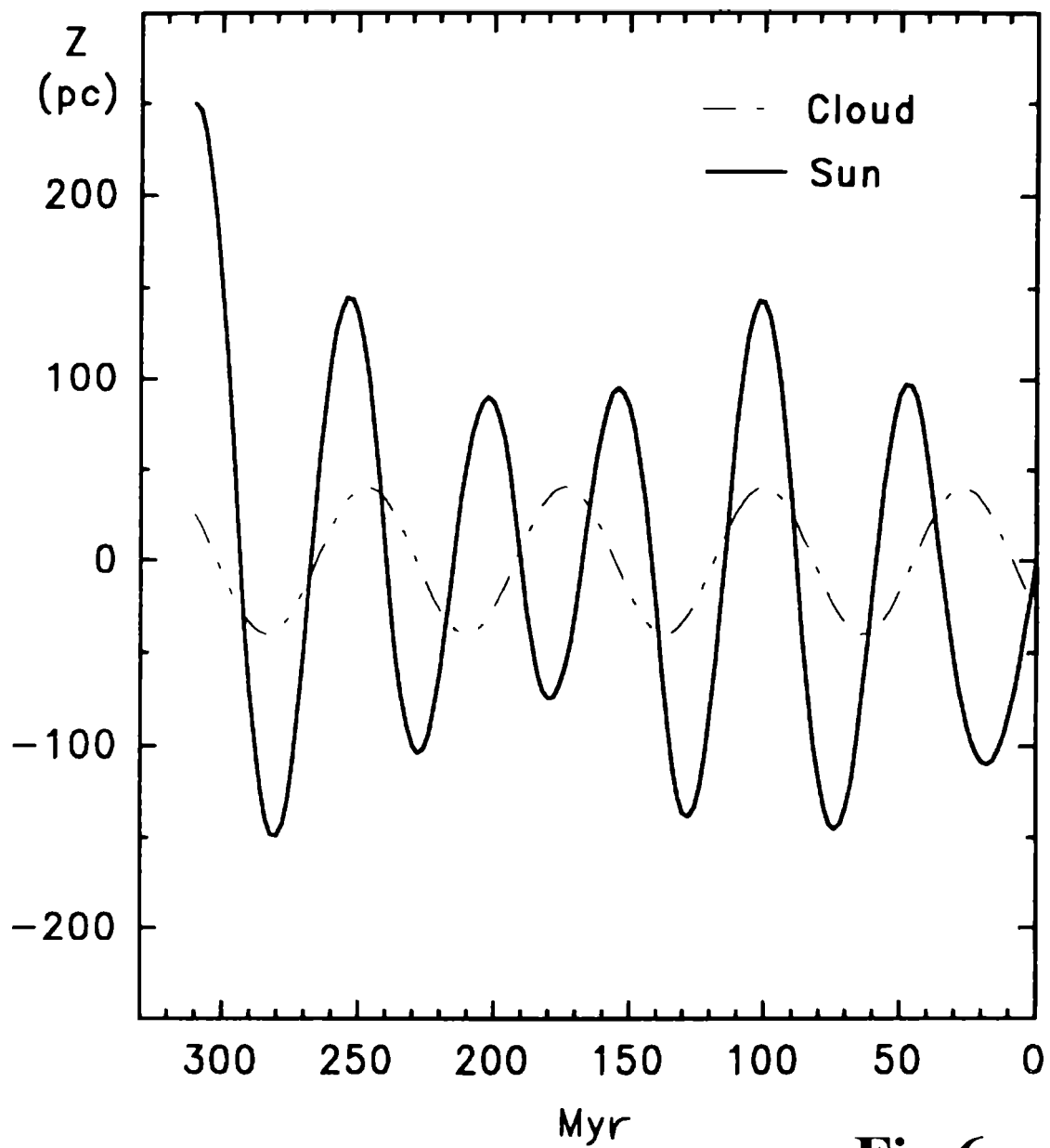
## 7. UNA SOLUCION POSIBLE : EL SOL CAUTIVO DE UNA NUBE INTERESTELAR GIGANTE

La primera sospecha de que el Sol ha tenido interacción con una nube interestelar surge del hecho de que el Sol tiene una velocidad mucho menor que otras estrellas de su edad (Bailey y otros 1987). Vemos (Figs.1 y 2) que el Sol está ahora emergiendo del borde interno de lo que podríamos denominar una asociación de nubes moleculares gigantes. El Sol se encontró con dos de sus miembros, 10-20 Ma atrás con Orión OB1 y 40 Ma con Mon OB1. Una hipótesis interesante es que el Sol estaba ligado a la supernube. El paso de un frente de choque galáctico o la colisión con otra nube frenó rápidamente a la supernube y como consecuencia el Sol que se encontraba hace 50 Ma cerca del progenitor de Mon OB1 se precipitó hacia el interior de la supernube (ahora en desintegración). El frente de choque está marcado probablemente por la alineación que tenían hace 50 Ma Mon OB1, Lac OB1 y las asociaciones de Cefeo (en las Figs.1 y 2 se indica el presunto frente con dos rectas paralelas).

Para estudiar el movimiento del Sol bajo la atracción gravitatoria del disco galáctico y de la nube a la cual el Sol estuvo unido, se representa la distribución de masa de la nube por una superposición de dos elipsoides homogéneos, concéntricos y achatados hacia el plano galáctico. Con ello consideramos que esencialmente la nube consistía en un denso y delgado disco rodeado de un halo masivo. La masa total adoptada para la nube es de  $5 \times 10^6 M_{\odot}$ . La densidad, el semieje mayor y la excentricidad del elipsoide interior son  $\rho = 0.89 M_{\odot} / pc^3$ ,  $a = 150 pc$  y  $e = 0.98$  respectivamente. Para el exterior que representa el halo  $\rho = 0.18 M_{\odot} / pc^3$ ,  $a = 200 pc$  y  $e = 0.87$ . Suponemos que la nube oscilaba armónicamente con una amplitud de 40 pc, respecto al plano galáctico. Las ecuaciones de movimiento se resolvieron numéricamente. La captura del Sol por la nube 300 Ma atrás y el escape, ocurrido 40 Ma atrás; son simulados perturbando adecuadamente la velocidad del Sol. Se supone que al cruzar el Sol el plano de la nube, las subestructuras del denso disco perturban la nube de Oort desencadenando una lluvia cometaria "mortífera". En el cálculo de la órbita, se considera que por cada cruce del plano hay un encuentro en el disco de la nube que adiciona a la velocidad del Sol una componente de 1 Km/s en módulo y orientada al azar. La Fig. 5 muestra la órbita meridional del Sol con respecto a la nube. En la Fig. 6 se representan las coordenadas en Z (perpendicular al plano galáctico y con origen en él) del Sol y de la nube en función de la cantidad de años antes del presente.



**Fig.5** Orbits meridional simulada del Sol (línea de trazos) con respecto a la nube (Elipses). En la ordenada, se representa una distancia  $z$  relativa: la altura del Sol sobre y debajo del plano medio de la nube, considerado paralelo al plano galáctico. En la abcisa, se representa la distancia del Sol relativa al centro de la nube y proyectada sobre el plano galáctico. La letra A indica la posición inicial del Sol (300 Ma atrás).



**Fig.6**

**Fig.6** Distancias  $Z$  (alturas), con respecto al plano galáctico, del Sol y de la nube en función del tiempo para el mismo modelo de la Fig.5.



Vemos que la solución en Z es cuasi periódica, el Sol cruza el plano de la nube cada  $25 \pm 3$  Ma (1/2 del período). El gas está concentrado hacia el plano de la nube y en cada pasaje del Sol, las irregularidades gravitatorias debidas a las subestructuras, perturban significativamente la nube cometaria de Oort (Olano 1996). Ello explica el ciclo de 25-30 Ma de los registros terrestres. Los encuentros con subestructuras del halo de la nube no son efectivos para perturbar la nube cometaria de Oort ( debido a la baja masa de estas), excepto los ocurridos en los extremos de la excursión en Z del Sol donde la baja velocidad relativa del encuentro hace importante la perturbación al Sistema Solar. La alternancia de las perturbaciones originadas al atravesar el disco de la nube y aquellas más débiles de las subnubes del halo en los extremos superior e inferior de la órbita del Sol genera en promedio un ciclo de 13-15 Ma (1/4 del período de oscilación del Sol relativo al plano medio de la nube). Ello explicaría el ciclo de 15 Ma de las inversiones del campo magnético.

**Agradecimientos.** El autor desea expresar su agradecimiento al Dr. F.R. Colomb por sugerirle este tema de investigación y al Dr. I. N. Azcárate por leer críticamente el manuscrito.

## REFERENCIAS

- Ahrens T.J., Harris A.W.: 1992, *Nature* **360**, 429  
 Alvarez L.W. ,1987. *Physics Today*, Julio , **24**  
 Alvarez, W. et al., 1982 . *Science* **216**, 886  
 Alvarez W. y Muller R.A. ,1984. *Nature* **308**, 718  
 Bailey M.E., Clube S.V.M. y Napier W.M. , 1990 . *The Origen of Comets Pergamon-Press*  
 Bailey M.E., Wilkinson D.A. y Wolfendale A.W. ,1987. *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, **227**,863  
 Chyba C.F., Thomas P.J. y Zahnle K.J. , 1993 . *Nature* **361**, 40  
 Clube V. M. 1988, *Catastrophes and Evolution* (editor Clube V.M.), 81  
 Clube V. y Napier B. , 1990. *The Cosmic Winter*. Basil Blackwell  
 Fernández, J.A. y Ip, W.H., 1987. *Icarus* **70**.  
 Gubbins D. 1987. *Nature* **326**, 167  
 Hallam A., 1988 . *Catastrophes and Evolution* (editor Clube V.M.), 25  
 Mazaud, A., Laj. C., de Seze, L. y Verosub, K.L., 1983. *Nature* **304**, 328  
 Napier W.M. y Clube V.M. ,1979. *Nature* **282**,455  
 Olano C.A. , 1991. *Transaction of the International Astronomical Union*, Vol. **XXIB**,354  
 Olano C.A. , 1993. *Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica* **26**, 118  
 Olano C.A. 1982, *Astr. Astrophys.* **112**, 195  
 Olano C.A. , 1996 (en preparación)  
 Olano C.A., Pöppel W.L.G. ,1987. *Astr. Astrophys.* **179**, 202

Rampino M.R. y Stothers R.B., 1986. *The Galaxy and the Solar System*. (editores :  
Smoluchowski R., Bahcall J.N., Matthews M.S.), 241  
Raup y Sepkoski , 1988. *Science* **241**, 94  
Sharpton et al. ,1993. *Nature* **359**, 819





# REMANENTES DE SUPERNOVAS

Gloria Dubner,  
Instituto de Astronomía y Física del Espacio  
Buenos Aires, Argentina

**Resumen.** En segundos la explosión de una supernova modifica dramáticamente su entorno, y su acción persiste por miles de años influenciando una amplia zona a su alrededor. En este informe se reseñan los progenitores de las supernovas y los mecanismos que conducen a la destrucción de una estrella, las manifestaciones de los remanentes de supernovas en los diferentes rangos del espectro, qué procesos físicos gobiernan la emisión en cada banda, qué información proveen las distintas observaciones y cómo se interpretan.

**Abstract.** In few seconds the explosion of a supernova dramatically modifies its environs and the action persists over thousands of years modifying a large region around. The present review summarizes the progenitors and the mechanisms that lead to the complete disruption of a star, the supernovae remnants as seen in the different spectral ranges, the physical processes involved in the emission in the different wavelengths, what can be learned from the observations and how are the observations currently interpreted.

## 1. INTRODUCCION

Cuando una estrella pierde su estabilidad térmica y mecánica en el punto final de su evolución se produce la disrupción total de la estrella, o bien la eyección de las capas externas y el colapso del núcleo. En cualquiera de los dos casos se tiene la explosión de una supernova.

Hablar de supernovas es adentrarse en un terreno de cifras espectaculares, aun en astronomía donde nadie se asombra de cifras. Al momento de la explosión de la estrella, y en una reacción que ocurre en contados segundos, se liberan al medio interestelar unos  $10^{53}$  ergios, aproximadamente la energía radiada por una estrella tipo solar durante  $10^{12}$  años, y se eyecta al espacio una masa de hasta  $10 M_{\odot}$  que sale disparada a una velocidad de 5000 a 10000  $\text{km s}^{-1}$ . De esa energía inicial sólo un diezmilésimo se emite en forma de luz, sin embargo esa cantidad es suficiente para que durante los primeros 30 días la supernova brille más que toda la galaxia que la contiene. El 99 % de la energía restante se la llevan los neutrinos y se pierde. Nos interesa analizar qué sucede con el 1% restante:  $10^{51}$  ergios depositados en

forma casi instantánea en una zona de dimensiones prácticamente puntuales. Puede además quedar un remanente compacto capaz de radiar una energía equivalente a  $10^5$  Soles por segundo. En tanto, la masa que se marchó enriquece el espacio con elementos pesados (C, O, S, Fe, etc.). Al cabo de unos miles de años de evolución, estos restos de la estrella muerta llegan a influir una zona de unos 100 años luz de radio, modificándole profundamente sus propiedades físicas. Se necesita que transcurran más de un millón de años, a veces varios millones, para que desaparezca todo rastro de explosión, y aun así puede quedar memoria de su paso si desencadena la formación de nuevas estrellas.

Recorreremos brevemente el estado actual de conocimiento de las supernovas y sus restos en el cielo, cómo se manifiestan en los distintos rangos del espectro y qué información se extrae de las observaciones.

## 2. SUPERNOVAS

Es generalmente aceptado que las estrellas masivas explotan como supernovas, al menos todas aquellas que no colapsan directamente para formar agujeros negros (Wheeler y Swartz 1994). Lo difícil es hacer la conexión entre supernovas y las estrellas que observamos con los telescopios, que exhiben una gran variedad de masas, metalicidades y hasta compañeras cercanas que alteran su evolución.

Hasta ahora los sistemas de clasificación de supernovas son empíricos, y aun es muy incierta su conexión con la física. Como consecuencia de esta ignorancia proliferan las "clases" y siempre aparecen nuevos eventos "híbridos". El problema es que aun no se conoce bastante como para abandonar una clasificación empírica y adoptar un sistema basado en la física. El esquema de clasificación ideal debería describir si una supernova resultó de una explosión nuclear o del colapso gravitacional del núcleo, y si la estrella fue masiva o de baja masa. En la actualidad se clasifican por la presencia o ausencia de hidrógeno en su espectro en el máximo de luz.

Probablemente las supernovas de tipo I (SN I), corresponden a violentos encendidos nucleares en estrellas de baja masa, mientras que las supernovas de tipo II (SN II), corresponden a estrellas muy masivas que sufren el colapso del núcleo. Sin embargo, estrellas muy masivas que han perdido su envoltura de hidrógeno por vientos estelares, pueden terminar como SN tipo I, pero con corazón de tipo II. Brevemente, la clasificación aceptada al presente reconoce las siguientes clases de supernovas: **Ia, Ib, Ic, II-P, II-L e híbridos.**

### 2.1 Supernovas tipo I

Las supernovas **tipo I** se identifican por la ausencia de líneas de hidrógeno en su espectro. A su vez se subclasifican por los rasgos de He en el espectro en: **SN Ia** : sin helio; **SN Ib** ricas en helio y **SN Ic** pobres en helio.

La ausencia de hidrógeno implica que los progenitores de SN I han perdido toda la envoltura de H al momento de la explosión. Esto pudo ocurrir por (Nomoto y Shigeyama 1991): 1) interacción con una compañera binaria cercana o 2) por pérdida de la envoltura de H por vientos. Entonces hay básicamente 2 candidatos para progenitores de supernovas de tipo I:

\***enanas blancas** con compañeras binarias; en este caso, la fuente de energía es fundamentalmente nuclear: detonación o deflagración del carbono. Estas serían las candidatas más probables para SN Ia.

\* **estrellas Wolf-Rayet** candidatas para progenitoras de supernovas tipo Ib y II. Estrellas muy masivas que han perdido toda su envoltura de hidrógeno y se han transformado en estrellas de helio.

Las teorías corrientes explican la explosión de SN Ia como consecuencia de deflagración del C en enanas blancas C+O con captura de masa de la compañera binaria. Cuando por aumento de la masa la densidad central de la estrella alcanza unos  $3 \cdot 10^9 \text{ g/cm}^3$ , se inicia el encendido explosivo del C en el centro de la enana blanca; se forma un frente de encendido que se propaga hacia afuera, llamado "onda de deflagración convectiva", y que en aproximadamente 1 segundo alcanza la superficie de la estrella. Detrás de la onda de deflagración el material sufre el encendido nuclear explosivo de Si, O, Ne y C. Mientras tanto la enana blanca se expande. En el modelo standard, ocurre deflagración de carbono en enanas de  $1.38 M_{\odot}$  de masa. La estrella explota completamente con una energía cinética de unos  $1.3 \cdot 10^{51}$  ergios y no queda estrella neutrónica de residuo (Nomoto y Shigeyama 1991).

Por otro lado, la pendiente de la curva de luz tardía para SN Ib, es similar a la pendiente del decaimiento del  $^{56}\text{Co}$  (Clocchiatti y Wheeler 1994), indicando que la estrella progenitora debió haber sido una estrella que en secuencia principal tenía entre 15 y  $30 M_{\odot}$ , y luego de perder todo el hidrógeno quedó con 5 a  $10 M_{\odot}$  (Swartz y Wheeler 1991). Su luminosidad en el máximo es menor que la de SN Ia por un factor 2 a 4.

En el caso de las SN Ic, basándose en los espectros de las últimas etapas dominados por líneas de O y Ca, se concluye que provienen de núcleos desnudos de baja masa ( $2$  a  $3 M_{\odot}$ ) (masa de la progenitora inmediatamente antes de la explosión), con una masa en secuencia principal de  $10$  a  $15 M_{\odot}$ . Para que una estrella de masa inicial moderada pierda totalmente el hidrógeno y el helio, el único camino posible es que sea por interacción con una compañera binaria, probablemente compacta (Wheeler y Swartz 1994).

Tanto las SN Ib como las SN Ic están asociadas con regiones de formación estelar (Van Dyk 1992). Las SN Ib pueden dejar remanentes compactos (estrellas neutrónicas? agujeros negros?). Entre las supernovas históricas la SN 1006 (G327.6+14.5), la de Tycho (G120.1+1.4, del año 1572), la de Kepler (G4.5+6.8, del año 1604) y Cassiopea A (G111.7--2.1) han sido clasificadas como tipo I.

## 2.2 Supernovas tipo II

Las SN Tipo II exhiben un amplio rango de propiedades espectrales y fotométricas, pero **todas** tienen líneas Balmer de hidrógeno. La fuente de energía de estas supernovas es fundamentalmente gravitacional. El colapso gravitacional es rapidísimo y de una violencia difícil de imaginar. En menos de 1 segundo, una masa de  $\approx 1 M_{\odot}$  colapsa de un radio de  $\approx 1000$  km a uno de unos 20 km, originándose así una onda de presión que luego se transforma en onda de choque.

La subdivisión entre tipos II-P y II-L se basa en la forma de la curva de luz. Las SN II-P muestran una zona de luminosidad casi constante después del máximo de luz, un "plateau" que dura entre unas semanas y algunos meses; las SN II-L tienen un decaimiento "lineal".

Las SN II-L son muy homogéneas. Todas alcanzan un brillo máximo  $M_B \approx -16.5 \pm 0.13$  (Miller y Branch 1990) y todas han sido detectadas en longitudes de onda de radio, lo cual indica la presencia de un fuerte viento pre-supernova (Sramek y Weiler 1990). Probablemente provengan de estrellas supergigantes G o K que eyectan al momento de la explosión de 2 a  $5 M_{\odot}$ .

En el caso de las SN II-P, sus curvas de luz pueden explicarse como el resultado de la explosión de una supergigante roja moderadamente masiva (tipo espectral M) (Litvinova y Nadyozhin 1983). También en este caso, como en las SN II-L, el hecho de que las estrellas progenitoras deban conservar una envoltura de hidrógeno bastante masiva al momento de la explosión, permite eliminar progenitoras excesivamente masivas o formando parte de binarias interactuantes. Las precursoras de las SN II-P son probablemente estrellas que en secuencia principal tenían entre 10 y  $20 M_{\odot}$  y que siguieron la evolución clásica de una estrella simple. Estrellas con este rango de masas producen grandes núcleos de Fe que colapsan para formar estrellas neutrónicas, o quizás agujeros negros (Hashimoto y col. 1993). Están asociadas con población estelar joven.

Entre las supernovas históricas la Nebulosa del Cangrejo (G184.6-5.8, del año 1054) y 3C58 (G130.7+3.1, año 1181?) han sido clasificadas como perteneciente al tipo II.

## 2.3 Supernovas "híbridas"

Son las que exhiben características de los dos tipos. El prototipo de este comportamiento es la SN 1987K (Filippenko 1988), y la mejor observada es la SN 1993J en M81 (Wheeler y Filippenko 1994). El espectro de los primeros días de SN 1993J, contenía líneas de hidrógeno típicas de SN II. Unos 25 a 30 días después de la explosión aparecieron líneas de He. Basándose en la masa eyectada y la cantidad de He detectado, se estima que la progenitora era una estrella que en la secuencia principal tendría unas  $15 M_{\odot}$  con un núcleo de He de 3 a  $4 M_{\odot}$ . Esta estrella debe haber



perdido su envoltura de H a través de una compañera binaria, comportándose como un híbrido entre SN II y SN I-b (Swartz y col. 1993). Otro ejemplo de este tipo es la SN 1954A que antes había sido tentativamente clasificada como SN Ib por las fuertes líneas de He I.

Wheeler y Harkness 1990 muestran ejemplos de espectros y curvas de luz de diferentes tipos de supernovas

### 3. REMANENTES DE SUPERNOVAS

Los astrónomos disponen de un tiempo breve para estudiar la explosión misma, pero tienen muchísimo tiempo para estudiar su desenlace. Los  $10^{51}$  ergios depositados en el medio interestelar al momento de la explosión inician una serie de fenómenos a través de la interacción energética con el medio interestelar circundante que dan origen a los **restos de supernovas** que brillarán en el cielo por cientos de miles de años. La física de la evolución de un remanente de supernova consiste básicamente del calentamiento y posterior enfriamiento del gas chocado. Diferentes condiciones iniciales y ambientales dan forma a los remanentes visibles en los distintos rangos espectrales.

Con la explosión de una supernova se produce un aumento local de la presión del medio interestelar. Como resultado de este aumento, la región perturbada se expande. Si el aumento de presión excede un valor mínimo, se forma un frente de choque en el borde de esta perturbación en expansión y el flujo en las vecindades de este frente se llama **onda de choque**. Brevemente entonces, una onda de choque es una perturbación irreversible en la dinámica del fluido que es empujada por presión. La energía cinética es disipada en forma de calor. En plasmas de baja densidad, esta disipación puede ocurrir sin choques atómicos ("collisionless shocks") y se debe a movimientos colectivos de partículas cargadas y los campos electromagnéticos resultantes. En gases neutros, la disipación se debe a viscosidad molecular en la transición del choque, donde hay violentos gradientes de velocidad. (Draine y Mc Kee 1993)

Al principio, las propiedades individuales de la supernova dominan la física de la expansión. Un remanente joven está claramente ligado a la supernova: la composición depende del interior estelar, el medio en que evoluciona depende de las pérdidas de masa de la estrella previas a la explosión y el remanente estelar depende de los detalles del colapso o la explosión. Al cabo de unos 1000 años de evolución, las propiedades particulares pierden importancia y la evolución es completamente gobernada por la interacción de las ondas de choque con el gas circundante. De todos los parámetros de la explosión hay sólo dos que son importantes para la evolución del remanente: **la energía cinética inicial  $E_0$  del material eyectado** y la presencia o ausencia de un **pulsar**. Si hay un pulsar, éste ejercerá por unos 1000 a 10000 años una influencia significativa inyectando partículas relativistas y campo magnético.

La propagación de las ondas de choque en el medio interestelar es responsable de una variedad de efectos que se observan en los remanentes: a) radiación sincrotrónica observable en ondas de radio y a veces en todo el espectro, como es el caso en la Nebulosa del Cangrejo; b) filamentos ópticos; c) gas caliente radiando en rayos X y líneas coronales; y d) emisión infrarroja originada en el polvo calentado por la onda de choque. Revisaremos brevemente la naturaleza de estas emisiones.

### 3.1 Remanentes en radio

La emisión de radiación no térmica en ondas de radio es la característica definitoria de un remanente de supernova. Una radiación polarizada con un espectro siguiendo una ley del tipo  $S_\nu = \nu^{-\alpha}$  ( $S$ : densidad de flujo y  $\nu$ : frecuencia) con índices espectrales  $\alpha$  del orden de 0.3 a 0.7, indican un origen sincrotrónico de la radiación, es decir, electrones relativistas con un espectro de energías siguiendo una ley de tipo  $N(E) = kE^{-\gamma}$  orbitando alrededor de las líneas de campo magnético. Las partículas y el campo pueden ser inyectados por el pulsar, o bien las partículas eyectadas en la explosión pueden ser aceleradas en las capas de turbulencia cerca del frente de choque, donde también se amplifica el campo magnético interestelar.

Todos los remanentes de supernova conocidos en nuestra Galaxia, han sido identificados por su emisión en radio. Al presente hay 182 remanentes galácticos catalogados (Green 1991 y Green 1993), de los cuales sólo una pequeña fracción cuenta con datos en otras longitudes de onda.

Las observaciones en continuo de radio a varias frecuencias proveen información sobre la morfología de la emisión sincrotrónica, el estado de polarización, la densidad de flujo y el índice espectral. De esa información se puede inferir en principio la intensidad y orientación del campo magnético, y el espectro y la energía total de los electrones relativistas, como así también la eficiencia de su acoplamiento mutuo. Secundariamente, a través de calibraciones empíricas entre la densidad de brillo superficial de la fuente y el diámetro lineal (relación  $\Sigma - D \Sigma - D$ , Huang y Thaddeus 1985, Berkhuijsen 1986) se pueden hacer estimaciones de la distancia a los remanentes, aunque este método tiene de partida un error típico del orden del 30 % inherente al modelo mismo. Green (1988) hace una discusión crítica de la validez y confiabilidad de las distancias estimadas a través de este tipo de calibraciones.

La polarización lineal observada es en promedio del 3 al 10 %. En base a las mediciones polarimétricas de un gran número de restos de supernovas, Milne (1987 y 1988) sugiere que en remanentes jóvenes predominan los campos magnéticos orientados radialmente, mientras que en los más viejos el vector polarización es típicamente tangencial. En algunos casos, como en la Nebulosa del Cangrejo (Velusamy 1985), o en el remanente de Tycho (Dickel y col. 1991), se han observado fluctuaciones en la distribución e intensidad del campo magnético con una estructura celular a pequeña escala.

Basado en la morfología de la emisión en continuo de radio, los remanentes se clasifican en : a) de cáscara; b) de centro lleno o pleriones y c) compuestos, es decir con características de ambos. Debe tenerse en cuenta además que una fracción substancial de remanentes de supernovas galácticos no han podido ser aun observados con la resolución y sensibilidad suficiente como para ser clasificados.

Los remanentes de **tipo cáscara** parecen ser la clase más común. Estas cáscaras son en general bastante incompletas y frecuentemente muestran apartamientos de la geometría esférica, principalmente cuando están asociadas a remanentes ubicados cerca del plano galáctico, donde el ambiente es más inhomogéneo, y cuando no son muy jóvenes. Son poco polarizados, del 3 al 15 %, y el índice espectral es del orden de 0.5.

Los remanentes de **centro lleno**, o "tipo Crab", son aquellos en los cuales el brillo aumenta hacia el centro. Tal es el caso de la nebulosa del Cangrejo, 3C 58, etc. Los remanentes de centro lleno "puros", tienen un pulsar identificado en su interior, que alimenta al remanente permanentemente con partículas relativistas y campos magnéticos. El espectro de estos remanentes es achatado, con índices  $\alpha$  variando entre 0 y 0.3; el campo magnético tiene estructura bastante regular y es preferentemente tangencial y la polarización suele ser alta, entre el 20 y el 30 % a altas frecuencias. Los pleriones son probablemente el remanente de supernovas de tipo II. Lozinskaya (1980) propone que los pleriones son en realidad una etapa evolutiva temprana de los remanentes tipo cáscara, y que la formación de cáscaras depende de la densidad del medio en que se expande la onda de choque. Los remanentes "compuestos" serían objetos en estadios intermedios entre ambas etapas. El remanente 3C58 es un remanente pleriónico puro, observado con el VLA por Reynolds y Aller (1988).

Los remanentes **compuestos** presentan una morfología de cáscara, pero con un núcleo similar a los de centro lleno. En algunos de estos casos se identificó un pulsar central, como es el caso del remanente de Vela XYZ, mientras que en otros, aun tras búsquedas muy sensibles y con refinados analizadores de pulsos, no se ha localizado ninguna fuente compacta central. Más aun, hay casos como 3C400.2, W 44, W 49B, donde la morfología en radio es de tipo cáscara y su apariencia en rayos X es de centro lleno. CTB 80 es un caso muy complejo de remanente compuesto, ya que tiene un núcleo central fuertemente polarizado de aproximadamente 50" de diámetro y con espectro chato ( $\alpha \approx 0$ ), pero la morfología del resto es completamente anómala, con dos "jets" de unos 40' de longitud, depolarizados y con espectro más agudo. Cerca del núcleo central Kulkarny y col. (1988) descubrieron el pulsar 1951+32. Parecería ser que lo que se observa actualmente es la interacción entre un pulsar con movimiento rápido y un remanente de supernova viejo, donde el pulsar está inyectando partículas relativistas que lo "rejuvenecen" (Kulkarny y col. 1988). El remanente de supernova compuesto CTB 80 ha sido observado con el interferómetro de Westerbork por Angerhofer y col. (1981).

El punto crucial para entender las diferentes morfologías, es comprender la naturaleza y origen tanto de las partículas aceleradas a velocidades relativistas, como de los campos magnéticos intervinientes. Las posibilidades son (Reynolds 1988):

- los electrones relativistas se aceleran durante la explosión,
- los acelera el pulsar,
- pertenecen a la radiación cósmica ambiente, ó
- se aceleran en la discontinuidad de contacto de la onda de choque entre las eyecciones estelares y el medio interestelar chocado.

Similarmente, el campo magnético:

- se genera en el pulsar, como parecería ser el caso en la Nebulosa del Cangrejo, ó
- es campo magnético interestelar barrido, que luego es amplificado por turbulencia en el choque o en la discontinuidad de contacto.

Probablemente no hay un único mecanismo que explique todos los casos, ni tampoco el mismo mecanismo a diferentes edades del remanente. También es posible que actúe más de un mecanismo simultáneamente. En resumen, éste es aun un campo abierto a la investigación que debe ser abordado tanto desde el punto de vista teórico como observacional.

### 3.2 Remanentes en óptico

Los filamentos ópticos muestran el enfriamiento radiativo de regiones calentadas por el pasaje de las ondas de choque a través de nubes densas. Los espectros de los filamentos brillantes pueden explicarse como originados detrás de un frente de choque que se propaga en regiones densas del medio interestelar. El gas es allí rápidamente enfriado por pérdidas radiativas y colapsa en una capa densa y fría de unas décimas de parsecs de espesor, dentro de la cual hay una abrupta caída en la temperatura de  $\approx 10^6$  K a  $\approx 10^4$  K y un fuerte cambio en la densidad.

En remanentes jóvenes, como la SN 1006 y SN 1572 (Tycho), la emisión consiste de filamentos delgados, muy débiles, que sólo tienen líneas de emisión de Balmer. Esta emisión de choque dominada por líneas de Balmer se denomina usualmente "choque no radiativo" y se interpreta como el resultado de un choque de alta velocidad moviéndose a través de un medio de baja densidad y que lleva a la producción de líneas anchas y angostas (Chevalier y col. 1980). La componente angosta sería producida por la excitación colisional de átomos neutros pasando a través del frente de choque. La componente ancha, resultaría del intercambio de carga con protones de alta velocidad. Esta última componente puede relacionarse directamente con la velocidad de choque.

Las búsquedas de contrapartes ópticas de remanentes observados en radio en nuestra Galaxia y en galaxias externas se basan en imágenes profundas adquiridas con filtros de banda angosta centrados en las líneas  $H\alpha$  y de [NII], [SII] y [OIII]. Un remanente de supernova se puede diferenciar de otras nebulosas ópticas por su espectro; el cociente de intensidades [SII]/ $H\alpha$  es mucho mayor en restos de supernovas que en regiones HII. También el cociente [NII]/ $H\alpha$  suele ser alto, como en el caso de Puppis A donde alcanza el valor de 20. En general también se encuentra sobreabundancia de O

en los remanentes jóvenes (de menos de 2000 o 3000 años), en filamentos que se expanden a muy alta velocidad (unos miles de km/s); por ejemplo en Cas A. La sobreabundancia de N, en cambio, ocurre en filamentos a baja velocidad. Esto está probablemente conectado con el enriquecimiento del material que ocurre antes de la explosión de la supernova (Danziger 1983).

Vemos entonces que los estudios ópticos de restos de supernovas proveen datos que no son fácilmente obtenibles en otras bandas, tales como la cinemática de los remanentes en expansión a través del estudio de las velocidades radiales y movimientos propios, la temperatura y densidad del gas emisor y las abundancias elementales relativas al H y He, etc.

Del total de remanentes de supernovas identificados en nuestra galaxia, aproximadamente unos 60 han sido asociados con nebulosas ópticas. Los remanentes ópticos usualmente consisten de una red de delicados filamentos que llenan una cáscara circular, más o menos simétrica, como es el caso de Cygnus Loop, S147, Vela XYZ; o con una morfología de cáscara difusa, como se observa en W 28 o HB 9.

### 3.3 Remanentes en rayos X

Se ha detectado emisión en X en aproximadamente un tercio de los remanentes galácticos catalogados y también en los remanentes identificados en las Nubes de Magallanes.

La emisión en X puede ser de naturaleza **térmica**, en los remanentes de tipo "cáscara", o **no térmica** en las fuentes energizadas por un pulsar interno (Ej. el Cangrejo).

La emisión **térmica** proviene de un plasma ópticamente fino que ha sido calentado a temperaturas de rayos X por el pasaje de la onda de choque. Esta onda puede ser la onda expansiva asociada a la explosión estelar, o una onda inversa que se propaga hacia el interior de la cáscara (Mc Kee 1974) y que al barrer nuevamente un plasma caliente de baja densidad le aumenta la temperatura hasta rangos X. En ambos casos se esperaría tener emisión homogénea y con simetría circular. Esto no es lo que se observa usualmente, sino que hay variaciones de brillo que son atribuidas a variaciones en la densidad del medio.

En el medio interestelar suele haber nubecitas frías y densas, rodeadas por una envoltura tibia e inmersas en un medio caliente y de baja densidad. Si el remanente es bastante evolucionado, la onda de choque se expandió lo suficiente como para incluir varias de esas nubecitas. Esas estructuras son calentadas hasta temperaturas de rayos X por la onda inversa y aparecen claramente visibles en las imágenes. De modo que las observaciones en rayos X, además de proveer valiosa información sobre las condiciones físicas del remanente mismo, permiten hacer un diagnóstico del medio interestelar en que evoluciona este remanente. En el caso de remanentes jóvenes, las variaciones de brillo son atribuidas a grumos en las eyecciones estelares mismas también calentados por el choque inverso.

La emisión en X originada en la interacción onda de choque-nube, se produce por evaporación de masa de las nubes densas, en cuyo caso se produce gran transferencia de masa desde las nubes al medio internube, o por compresiones adicionales del plasma emisor por la formación de "bow shocks" alrededor de las nubecitas. En ese caso la presión y la densidad aumentan radialmente hacia el centro, contrariamente a la solución de Sedov de un remanente en expansión adiabática.

Normalmente las observaciones espectrales se ajustan con un modelo de bremsstrahlung térmico simple más un modelo de líneas de emisión. En general se supone la existencia de equilibrio térmico entre iones y electrones y que el remanente está en fase adiabática de expansión. Si bien estas aproximaciones no son muy realistas, con estos modelos se puede estimar una temperatura y de allí derivar la velocidad del frente de choque, y, conociendo la distancia, con el dato de velocidad se puede estimar la edad de la fuente. Por otro lado, a partir del flujo medido en X, se puede conocer la energía inicial.

En remanentes jóvenes, como Cas A, Kepler o Tycho, se detectan numerosas líneas de emisión de Mg, Si, S, Ar y Ca altamente ionizados. Los cocientes entre intensidades de líneas permiten hacer un diagnóstico detallado del plasma, informando sobre su temperatura electrónica, población de iones, temperatura de ionización, etc. (Winkler y col. 1983).

Finalmente, también puede haber fuerte contribución a la emisión en X de origen **no-térmico** en regiones de aceleración de electrones y amplificación del campo magnético asociado con ondas de choque (Reynolds y Chevalier 1981).

Cuando se comparan las imágenes en X con las de radio, hay casos en que las cáscaras coinciden perfectamente, por ej. en Cygnus Loop (Ku y col.1984). Esto indica que el calentamiento del plasma hasta energías de X y la aceleración de electrones y amplificación del campo magnético necesaria para emitir en radio, ocurren por lo menos muy cerca del frente de choque de la onda explosiva, y aproximadamente en la misma escala temporal. Dentro del remanente, esa correlación a menudo es menos buena. Las regiones brillantes en radio a veces coinciden con "grumos" brillantes en X, pero en la mayoría de los casos las zonas de mayor emisión en X no tienen contraparte en radio y viceversa. Lo mismo se observa en la comparación entre imágenes ópticas e imágenes en X.

Para obtener buena información observacional en el rango de rayos X son necesarias: **a)** imágenes de alta resolución que puedan hacer visible las inhomogeneidades, aun en pequeña escala, tanto del medio interestelar como de las eyecciones estelares; **b)** espectroscopía de alta resolución, para poder investigar la naturaleza de la emisión y el estado físico del plasma y **c)** un cubrimiento de una banda de energía amplia, para poder detectar muchas especies y refinar los modelos, por ejemplo entre 0.3 y 10 keV. Esto último permitiría separar la emisión de las eyecciones estelares de baja temperatura, de la emisión del medio interestelar calentado por la onda expansiva, y así determinar abundancias elementales para cada componente del plasma independientemente.

La investigación de remanentes de supernovas en rayos X cobró mayor impulso desde el lanzamiento del observatorio *Einstein* por la resolución de sus imágenes y la

capacidad espectroscópica (Seward 1990). Desde entonces el observatorio europeo EXOSAT, el satélite japonés TENMA y el satélite ROSAT han contribuido con importantes observaciones de alta calidad. Ultimamente el satélite japonés-americano ASCA permite realizar espectroscopía de alta resolución en rayos X.

### 3.4 Remanentes en infrarrojo

Basándose en anomalías isotópicas en meteoritos, se ha sugerido que las supernovas son un lugar factible de formación de granos de polvo (Anders y col. 1989). En contraste, los remanentes de supernovas constituyen el mecanismo más importante de destrucción de granos en la galaxia, ya que el polvo interestelar barrido por la onda de choque es calentado y puede ser destruido por colisiones con el plasma emisor de rayos X. De modo que las observaciones infrarrojas de supernovas en tiempos muy cercanos a su explosión deberían mostrar evidencias de granos recién formados y/o de la composición del material circumestelar (como en la SN 1987A, Felten y Dwek 1989), mientras que observaciones infrarrojas de remanentes de supernovas, pueden proveer información valiosa sobre la interacción entre partículas de polvo y gas caliente (Dwek 1989).

El frente de choque en expansión de la supernova calienta colisionalmente el polvo en el medio interestelar donde avanza, y este es de hecho el mecanismo responsable de la emisión infrarroja observada con el satélite IRAS en muchos remanentes galácticos (Braun y Strom 1986 a y b, Arendt 1989), con excepción de la Nebulosa del Cangrejo, donde el polvo es predominantemente calentado por el campo de radiación no térmica de la nebulosa (Marsden y col. 1984, Mezger y col. 1986).

En base a datos del IRAS, Saken y col. (1992) realizaron un relevamiento de la emisión infrarroja para 161 remanentes de supernovas galácticos. De ellos, se detectó clara emisión infrarroja en 35 fuentes, con 9 posibles candidatos más. En base a este estudio concluyen que los remanentes jóvenes (Tycho, Kepler, Cas A) son sistemáticamente más brillantes en 12 y 25  $\mu$  y su emisión puede ser representada por un modelo con una única temperatura, mientras que los remanentes más viejos son más intensos en 60 y 100  $\mu$  y requieren un modelo de polvo con por lo menos 2 temperaturas distintas.

En general se encuentra buen acuerdo entre las emisiones en radio y en infrarrojo y mejor aun entre infrarrojo y X (Ej. el Cygnus Loop). Saken y col. 1992 muestran la imagen de Cygnus Loop como aparece en el cociente de las bandas en 60 y 100  $\mu$ .

Las imágenes de los remanentes de supernova en infrarrojo proveen información no sólo de la morfología del remanente mismo, sino también del medio en el que se expande. Por ejemplo en Cygnus Loop (Braun y Strom 1986b), las imágenes IR, demostraron que el remanente se está expandiendo en el interior de una cavidad creada previamente por el viento de la estrella progenitora; en Puppis A (Arendt y col. 1990), se aprecia que el remanente se expande en un medio de fuertes gradientes de

- Emission* ed. I. Danziger y P. Gorenstein, D.Reidel.
- Dickel, J.R., van Breugel,W.J.M., Strom,R.G., 1991, A.J. 101, 2151.
- Draine,B.T , Mc.Kee,C.F. 1993, Ann. Rev. A & A 31, 373, 1993.
- Dubner,G.M. , Arnal,E.M., 1988, A & A Suppl.Ser. 75, 363.
- Dubner,G.M., Winkler,F., Braun,R., Goss, M., 1991, A.J. 101,1466.
- Dubner,G.M., Moffett,D.A., Goss,W.M., Winkler,P.F., 1993, A.J.105, 2251.
- Dwek,E., 1989, en IAU Symp. *135 Interstellar Dust* , ed. L.J.Allamandola ,  
A.G.G.M. Tielens, Kluwer Ac. Publishers, Dordrecht, p. 479.
- Felten,J.E. , Dwek,E., 1989, Nature 339, 123.
- Fesen,R.A., Shull,J.M. , Saken,J.M., 1988, Nature 334, 229.
- Filippenko,A.V., 1988, A.J. 96, 1941.
- Filipenko, A.V. 1991 en *SN 1987A and Other Supernovae* , eds. I.J. Danziger and K.  
Kjaer, ESO:Garching, p. 343.
- Green,D.A., 1988, Astroph. & Sp.Sci. 148, 3.
- Green,D.A., 1991, PASP 103, 209.
- Green,D.A. , 1993, disponible por login anónimo en ras.phy.cam.ac.uk (131.111.48.8)  
(/pub/SNRs/SNRs.dat y /SNRs/README)
- Hashimoto,M., Iwamoto,K., Nomoto,K., 1993, Ap.J. 414, L105.
- Huang, Y.-L., , Thaddeus,P., 1985, Ap.J. 295, L13.
- Ku,W.H.M., Kahn,C.M., Pisarski,R., 1984, Ap.J. 278, 615.
- Kulkarny,S., Clifton,T.R., Backer,D.C., Foster,R.S., Fruchter,A.S., Taylor,J.H., 1988,  
Nature 331, 50.
- Litvinova,I., Nadyozhin ,D.K. 1983, Ap. Sp. Sci. 89, 89.
- Lozinskaya,T.A. 1980, Sov. Astron. 24,407.
- Marsden,P.L., Gillett,F.C., Jennings,R.E., Emerson,J.P., De Jong,T., Olton,F.M., 1984,  
Ap.J. 278, L29.
- Mc Kee,C.F. 1974 Ap.J. 188, 335.
- Mezger,P.G., Tuffs,R.J., Chini,R., Kreysa,E., Gemund,H.P., 1986, A & A 167,145.
- Miller,D.L. , Branch, D. 1990, A.J. 100, 530.
- Milne,D.K., 1987, Aust.J.Phys. 40,771.
- Milne,D.K., 1988, en IAU Coll. 101, *Supernova Remnants and the Interstellar Medium*,  
ed. R. Roger , T. Landecker, Cambridge Univ. Press., Cambridge,p.351.
- Nomoto,K. , Shigeyama,T., 1991, en *Supernovae* , ed. S.E.Woosley, Springer-Verlag,  
New York, p.572.
- Reynolds,S. P., 1988, en *Galactic and Extragalactic Radio Astronomy* , editores  
G.L. Verschuur , K.I. Kellermann, Springer-Verlag Berlin,p. 439.
- Reynolds,S.P. , Aller,H.D., 1988, Ap.J. 327, 845.
- Reynolds,S.P. , Chevalier,R.A., 1981,Ap.J. 245,912.
- Seward,F.D.,1990, Ap.J.Suppl. 73, 781.
- Sramek, R.A., Weiler,K.W., 1990,en *Supernovae* , ed. A.G. Petschek, Springer: New  
York, p. 76.
- Swartz, D.A. , Wheeler, J.C. 1991, Ap.J. 379, L13.
- Swartz,D.A., Clocchiatti,A., Benjamin,R., Lester,D.F., Wheeler,J.C., 1993, Nature 365,  
232.



densidad, confirmando resultados previos de Dubner y Arnal (1988); en CTB 80 ( Fesen y col. 1988) descubrieron una cáscara de emisión en IR presumiblemente asociada con el pulsar central.

#### 4. CONCLUSIONES

Una supernova es el laboratorio ideal para investigar ondas de choque en plasmas en condiciones que no pueden recrearse en un laboratorio en tierra. Es así un fenómeno riquísimo en experimentos irrepetibles, que atrae a astrofísicos de muy variadas especialidades. El estudio de sus remanentes ofrece, por otro lado, la ventaja de que, al estar presentes en el cielo por miles de años, se pueden planificar y realizar experimentos, alimentar con nuevos datos las teorías y refinarlas, para volver nuevamente a buscar la información en el cielo que corrobore o descalifique las predicciones teóricas.

Desde las primeras observaciones de Baade y Zwicky, o de Minkowski en la década del 30 ( O tal vez deberíamos remontarnos hasta los textos de la dinastía Shang alrededor de 1200 años AC?), es muchísimo lo que se ha avanzado en el conocimiento de las supernovas y sus remanentes. Todo este avance observacional y teórico lo que ha hecho es abrir un panorama cada vez mayor de incógnitas, que a su vez requiere más y más observaciones en todo el rango del espectro electromagnético, con mayor sensibilidad y resolución, para llegar a comprender la física que gobierna la evolución durante un millón de años de una catástrofe estelar que dura sólo unos segundos.

**Agradecimientos.** A Elsa Giacani por la lectura crítica del manuscrito.

#### REFERENCIAS

- Anders,E., Lewis,R.S., Ming,T., Zinner,E., 1989, IAU Symp. 135 *Interstellar Dust*, ed. L.J.Allamandola , A.G.G.M. Tielens, Kluwer Ac. Publishers, Dordrecht, p. 389.
- Angerhofer,P.E., Strom,R.G., Velusamy,T., Kundu,M.R., 1981, A& A 94, 313.
- Arendt,R.G., 1989, Ap.J.Suppl. 70,181.
- Arendt,R., Dwek,E., Petre,R., Dickel,J.R., Roger,R.S., Milne,D.K., Kesteven,M.J., 1990, Ap.J. 350, 266.
- Berkhuijsen,E.M., 1986, A & A 166, 257.
- Braun,R. , Strom,R.G., 1986a, A & A 164, 193.
- Braun,R. , Strom,R.G., 1986b, A & A 164, 208.
- Clocchiatti, A. , Wheeler,J.C., 1994, en preparación.
- Chevalier,R.A., Kirshner,R.P. , Raymond,J.C., 1980, Ap.J. 235, 186.
- Danziger,I.J., 1983, en IAU Symp. 101 *Supernova Remnants and their X-Ray*

- Van Dyk,S. 1992, A.J. 103, 1788.
- Velusamy,T., 1985, MNRAS 212, 359.
- Wheeler,J.C. , Harkness,R.P. 1990, *Reports on Progress in Physics*
- Wheeler,J.C., Swartz,D.A., 1994, en *Evolution of Massive Stars: Confrontation Between Theory and Observation*, ed. D. Vanbeveren, Vrije Universiteit, Brussel, en prensa.
- Wheeler,J.C., Filippenko,A.V., 1994, en *Supernovae and Supernova Remnants*, ed. R.A. Mc Cray , Z.Wang, Cambridge Univ. Press: Cambridge, en prensa.
- Winkler,P.F., Canizares,C.R., Bromley,B.C., 1983, en *Supernova Remnants and their X-Ray emission* , IAU Symp. 101, ed. Danziger,J. ,Gorenstein,P., D. Reidel, p. 245.





## COMPORTAMIENTO DINAMICO DEL CINTURON DE ASTEROIDES

LOPEZ GARCIA, Francisco D.

Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de San Juan  
San Juan, Argentina

**Resumen.** El movimiento de los asteroides en su órbita es, en general, estable, en el sentido que los semi-ejes mayores no varían en forma irregular con el tiempo. Sin embargo, existen varios casos de excepción en los cuales los elementos elípticos de las órbitas varían en forma muy irregular.

Uno de los progresos más interesantes de la Mecánica Celeste en la última década fue el descubrimiento del movimiento caótico en la resonancia 3:1 con Júpiter, en el cinturón principal de asteroides. Históricamente, después que Kirkwood (1867) descubriera las lagunas (ó vacíos) en la distribución de asteroides, varios autores han tratado de explicar, analítica y numéricamente, la no-existencia de asteroides en algunas regiones de resonancia. Se exponen los últimos resultados del estudio de la estructura dinámica del cinturón de asteroides.

**Abstract.** The orbital motion of asteroids is, in general, stable, in the sense that the semi-major axes do not change in irregular form with the time. However, there are some cases in which the orbit's elliptical elements vary in irregular form. This paper is a "review" of the progress in Celestial Mechanic in the last two decades for explaining the dynamical structure of the main belt asteroids, specially the existence of Kirkwood gaps which are related with the mean motion resonance. Different attempts to explain the formation of these gaps and of the isolated groups are discussed.

-----  
(1) Discurso Invitado, presentado en la XXXVIII Reunión de la Asociación Argentina de Astronomía, Buenos Aires, setiembre 1993.

## 1. INTRODUCCION

Desde hace más de un siglo se sabe que la distribución de asteroides, pequeños cuerpos del Sistema Solar que giran alrededor del Sol en órbitas casi circulares o elípticas, **no es uniforme**. La mayoría de estos pequeños planetas se encuentra en una zona comprendida entre las órbitas de Marte y Júpiter. El estudio y la interpretación de la estructura dinámica del cinturón principal de asteroides ha sido y es un desafío para la Mecánica Celeste. Este problema se origina a partir del descubrimiento de los vacíos (ó lagunas) de Kirkwood. Los vacíos han sido observados en diferentes resonancias con Júpiter; se define la resonancia como la relación de las frecuencias de sus movimientos con una razón de la forma:  $(p+q)/p$ , siendo  $p$  y  $q$  números enteros y pequeños. Por ejemplo, los famosos vacíos de Kirkwood han sido observados en las resonancias 3:1, 5:2 y 7:3. Una explicación completa de este fenómeno es todavía un problema insoluble, aunque en las últimas dos décadas se han realizado muchos y satisfactorios progresos. Los vacíos de Kirkwood y otras lagunas observadas son posibles de identificar pues sus posiciones en una distribución real de asteroides son conocidas (ver Fig. 1.), sin embargo, continua siendo un enigma comprender la estructura dinámica del cinturón de asteroides. La mayoría de los astrónomos e investigadores creen que estas lagunas se deben a procesos físicos de inestabilidad mas que a razones cosmológicas relacionadas con la formación del Sistema Solar. El comportamiento dinámico del Sistema Solar es muy complejo, pues está representado por un sistema dinámico no-integrable, con muchos grados de libertad; este comportamiento no permite un estudio completo, ya sea analítico ó numérico, de la evolución de la órbita de un asteroide para un intervalo de tiempo muy grande.

Una excelente revisión sobre el estudio de las resonancias en el cinturón de asteroides fue realizado por Greenberg y Scholl (1979), quienes efectuaron un análisis completo del problema. Distintos argumentos han sido propuestos para explicar la existencia de los vacíos observados, los cuales continúan siendo una incógnita. Diferentes hipótesis han sido desarrolladas, a saber:

- i) una aproximación estadística.
- ii) una teoría puramente gravitacional.
- iii) la hipótesis colisional.
- iv) una hipótesis cosmogónica.
- v) "the primeval sweeping".

## Distribucion de asteroides. Distancia desde el Sol Vs. No. de asteroides.

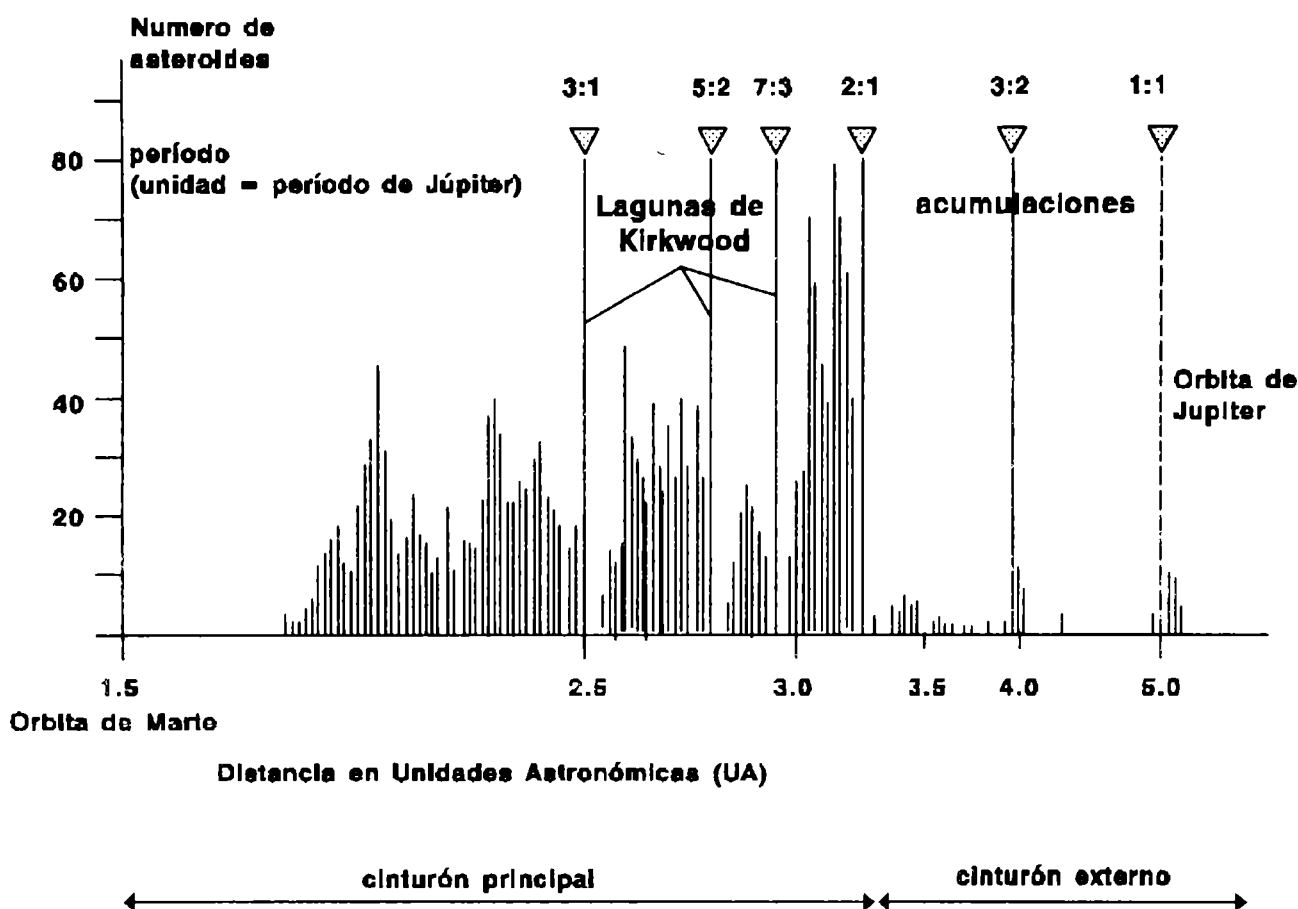


Fig. 1. El período de revolución de un asteroide (como el de todos los cuerpos celestes) alrededor del Sol esta relacionado con el radio de su órbita. Un enigma que plantean los asteroides proviene de la distribución de sus distancias al Sol. Al representar el número de asteroides en función del semi-eje mayor  $a$ , la distribución no es uniforme y presenta lagunas, familias, acumulaciones. Cada flecha indica la posición de las resonancias.

La hipótesis estadística supone que los asteroides libran alrededor de los vacíos y por tanto rara vez parecen cruzar la resonancia exacta. La hipótesis gravitacional supone que los asteroides que originalmente se formaron en los vacíos de Kirkwood fueron posteriormente removidos por fuerzas puramente gravitacionales debidas a la acción de Júpiter. De acuerdo a la hipótesis colisional, los asteroides son removidos a partir de los vacíos, ya sea por destrucción o cambios en sus movimientos medios, este proceso se realizaría por colisiones con asteroides vecinos. Finalmente, la hipótesis cosmogónica supone que los vacíos representan regiones donde los asteroides dejaron de formarse durante la formación inicial del Sistema Solar.

Posteriores revisiones de Froeschlé y Scholl (1983) y de Scholl (1985), actualizaron la anterior. Los reviews de Wisdom (1987) y de Froeschlé (1987) se concentraron en la dinámica de caos. De las cuatro hipótesis previamente formuladas para explicar la existencia de los vacíos de Kirkwood, la hipótesis gravitacional, basada en el problema restringido de tres cuerpos Sol-asteroide-Júpiter, ha demostrado ser la más adecuada gracias a los recientes avances teóricos.

Es evidente que las características de la estructura dinámica del cinturón de asteroides están relacionadas con el origen y evolución del Sistema Solar. Como el fenómeno de **resonancia** representa uno de los rasgos más destacados de los asteroides, su evidencia física está puesta de manifiesto en los siguientes hechos observacionales:

- i) Los vacíos de Kirkwood.
- ii) El grupo aislado de Hilda.
- iii) La órbita del asteroide Thule.
- iv) La órbita de los Troyanos.

### **El planteo físico**

Por todas las razones expuestas, es que se utilizan modelos simplificados para el estudio de las órbitas de los asteroides. En la mayoría de los modelos se considera que la única fuerza que actúa sobre el asteroide es la atracción gravitacional de Júpiter, además de la fuerza gravitatoria ejercida por el Sol. Por otra parte, como la masa del asteroide es despreciable, el modelo descrito corresponde al problema restringido de tres-cuerpos circular ó elíptico (Szebehely, 1967), donde el efecto que ejerce la masa de Júpiter es considerado como una perturbación. Otros modelos, algo más complejos, incluyen la masa de Saturno ó de Marte, según la resonancia que se estudie. Como los vacíos en la distribución espacial de asteroides, están relacionados con los **movimientos medios resonantes**, es interesante describir este proceso físico.

**La frecuencia de revolución de Júpiter girando alrededor del Sol determina la frecuencia resonante del sistema: Sol-asteroide-Júpiter. Un movimiento medio resonante se produce si la frecuencia de revolución ó su equivalente, el movimiento medio ( $n$ ) de un asteroide es un cociente racional del movimiento medio de Júpiter ( $n_j$ ), i.e., están relacionados por la expresión:**



$$\frac{n}{n_j} = \frac{p+q}{p}$$

donde  $p$  y  $q$  son enteros pequeños.

El interés en estudiar los movimientos en resonancias esta motivado por razones teóricas y evidencias observacionales. Desde el punto de vista teórico es muy interesante, pues el movimiento medio resonante incluye los siguientes temas:

Puntos Homoclínicos,  
 Separatrices,  
 Movimientos integrables y ergódicos,  
 Movimiento caótico,  
 Orbitas periódicas estables y no-estables.

La aplicación de los métodos de perturbaciones standard presenta dificultades debido a la presencia de pequeños denominadores en los desarrollos en series de la función perturbadora, esto dió origen a la creación de métodos particulares para estudiar la dinámica del movimiento medio resonante. Por otra parte, las evidencias observacionales sugieren relacionar las resonancias en el cinturón de asteroides con su evolución dinámica y su origen cosmogónico. La ubicación de estas resonancias coincide con los vacíos en la distribución de asteroides. Las lagunas mas importantes, llamadas vacíos de Kirkwood, están ubicadas en los movimientos medios con las siguientes razones:

$$\frac{n}{n_j} = \frac{3}{1}, \frac{5}{2}, \frac{7}{3}, \frac{2}{1}$$

estas razones corresponden a una distancia desde el Sol de:

2.500, 2.824, 2.957 y 3.277 U.A.

Es obvio, en este planteo, que la formación de las lagunas con movimientos medios resonantes es debida principalmente a efectos puramente gravitacionales, sin embargo, no hay una teoría generalmente aceptada para explicar la formación de estos vacíos, entonces se nos presenta el siguiente interrogante:

**Es necesario aplicar un mecanismo adicional, al puramente gravitacional, a fin de explicar la formación de estos vacíos ?**

Por supuesto estos mecanismos serían no-gravitacionales. Además de este hecho, en el movimiento medio resonante puede ocurrir un efecto opuesto, dando lugar a la formación de grupos de asteroides ubicados exactamente en la posición de una resonancia (3:2, 1:1), llamados grupos aislados de asteroides (ver Fig. 2), es decir, estos grupos forman aglomeraciones de asteroides con movimientos medios resonantes, ellos son:

El grupo de (153) Hilda:  $\frac{n}{n_j} = \frac{3}{2}$ ,  $a = 3.977$  U.A.

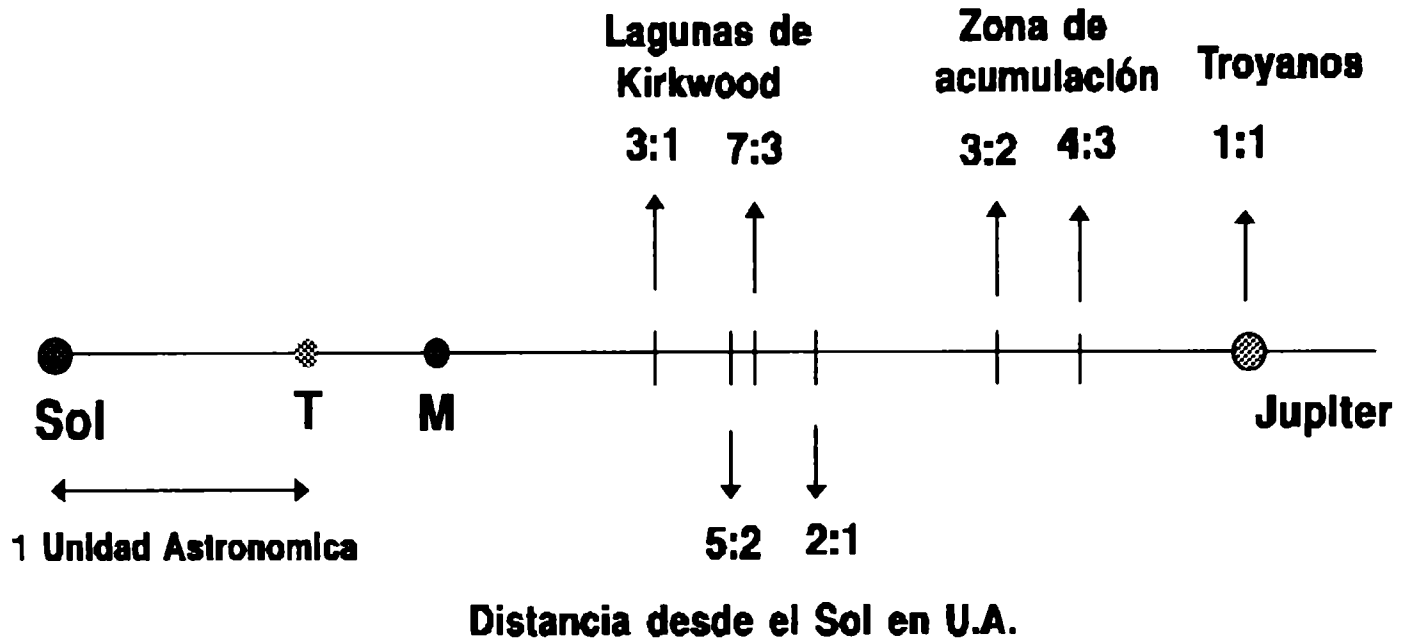
279 Thule:  $\frac{n}{n_j} = \frac{4}{3}$ ,  $a = 4.273$  U.A.

Los Troyanos:  $\frac{n}{n_j} = \frac{1}{1}$ ,  $a = 5.20$  U.A.

**En resumen, los movimientos medios resonantes parecen representar una paradoja.**

**En algunas resonancias como en la 5:2 ( $a = 2.824$  U.A.), las órbitas parecen ser no-estables, mientras que en otras resonancias como en la 3:2 ( $a = 3.97$  U.A.), las órbitas son estables debido al movimiento en resonancia.**

**Distribucion de los movimientos medios resonantes en funcion de la distancia al Sol.**



1 U.A. = 150 millones de Km.

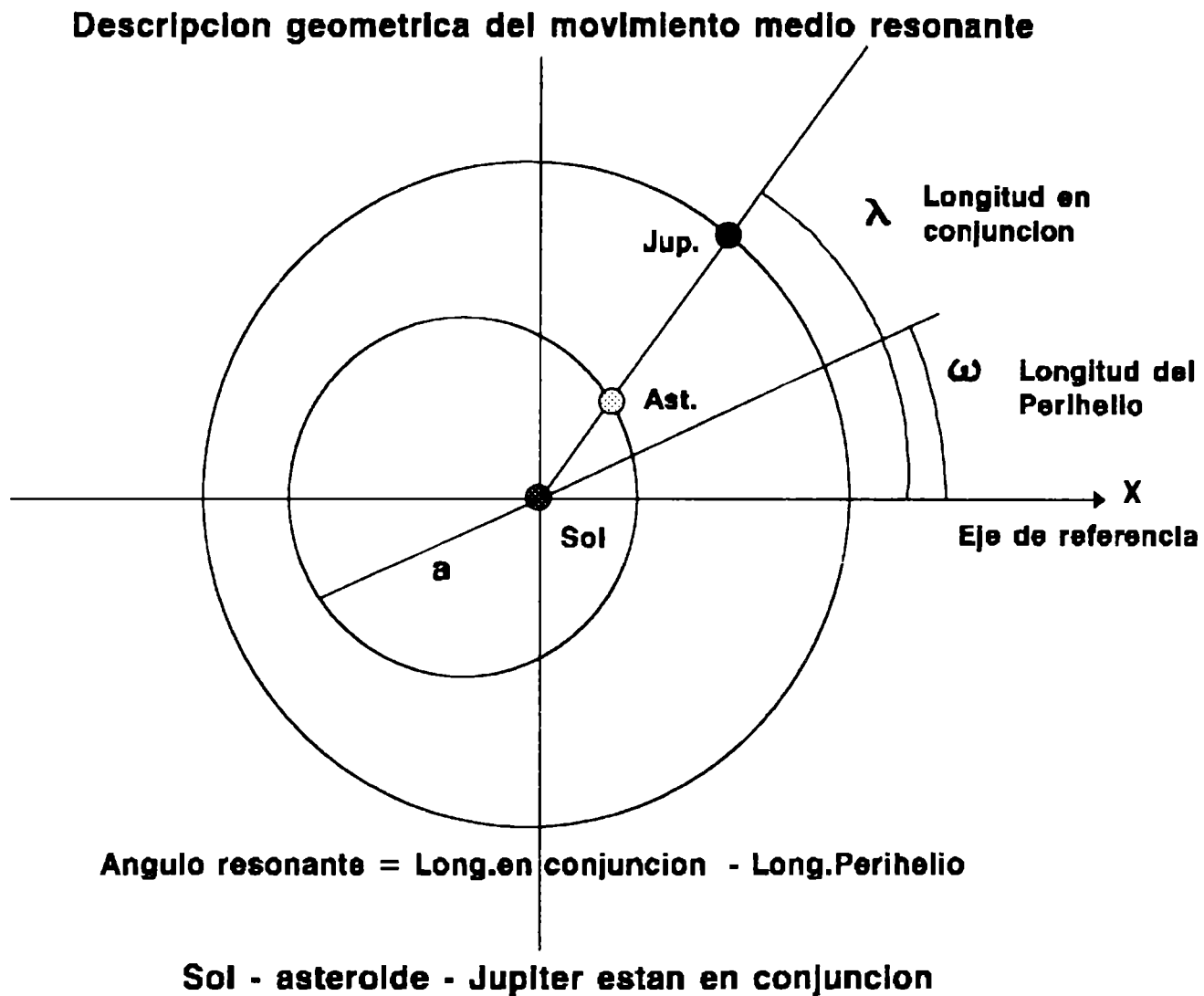
Fig.2:

**2. DESCRIPCION DEL MOVIMIENTO MEDIO RESONANTE**

El movimiento medio resonante puede ser descripto fácilmente en forma geométrica. La Fig. 3, muestra una conjunción entre el Sol (S), el asteroide (A) y Júpiter (J), i.e., los tres cuerpos están alineados.  $\omega$  representa la longitud del perihelio de la órbita del asteroide. La conjunción ocurre en el ángulo  $\Lambda$  medido desde el eje-X de un sistema de coordenadas definido convenientemente. En el caso de un movimiento medio resonante la conjunción se repite cerca ó muy próximo al mismo ángulo  $\Lambda$  después de unas pocas revoluciones del asteroide alrededor del Sol. Por ejemplo, para la resonancia 3:1, las conjunciones se repiten después de 3 revoluciones del asteroide y una revolución de Júpiter alrededor del Sol. La Fig. 4, representa geoméricamente la relación entre los períodos para la resonancia 2:1.

Si la configuración geométrica se repite durante un tiempo se obtiene como resultado un incremento de las perturbaciones ejercidas por Júpiter sobre el asteroide. Por ejemplo, Júpiter puede hacer variar el vector momento angular de la órbita del asteroide aumentando su módulo y

cambiando la dirección del vector. Para una descripción física del fenómeno de resonancia ver Peale(1976) y Greenberg (1977).



**Fig.3.** Descripción geométrica del movimiento medio resonante.

Es conveniente, en los estudios analíticos, introducir la variable resonante  $\sigma$ , definida por la relación:

$$\sigma = \Lambda - \varpi$$

La variable  $\sigma$  describe la posición angular de una conjunción con respecto a la longitud del perihelio del asteroide. Para  $\sigma = 0^\circ$  la conjunción se produce en el perihelio del asteroide, esta posición es muy favorable para la estabilidad de la órbita. Por otra parte, si  $\sigma = 180^\circ$ , la conjunción ocurre en el afelio del asteroide, esta posición puede causar encuentros próximos con

Júpiter, en particular cuando las órbitas tienen poca inclinación ( $i \approx 0^\circ$ ); estas conjunciones en afelio pueden desestabilizar la órbita del asteroide. En forma general, la variable resonante  $\sigma$  esta definida por la relación,

$$\sigma = -(\varpi + \frac{p}{q} \mu), \text{ donde } \mu = \lambda - \frac{(p+q)}{p} \lambda_j$$

siendo  $\lambda$  y  $\lambda_j$  las longitudes medias del asteroide y de Júpiter. La longitud media  $\lambda = M + \varpi = n(t - T) + \Omega + \omega$ ,

ó en su forma mas conocida

$$\sigma = \frac{(p+q)}{q} \lambda_j - \frac{p}{q} \lambda - \varpi,$$

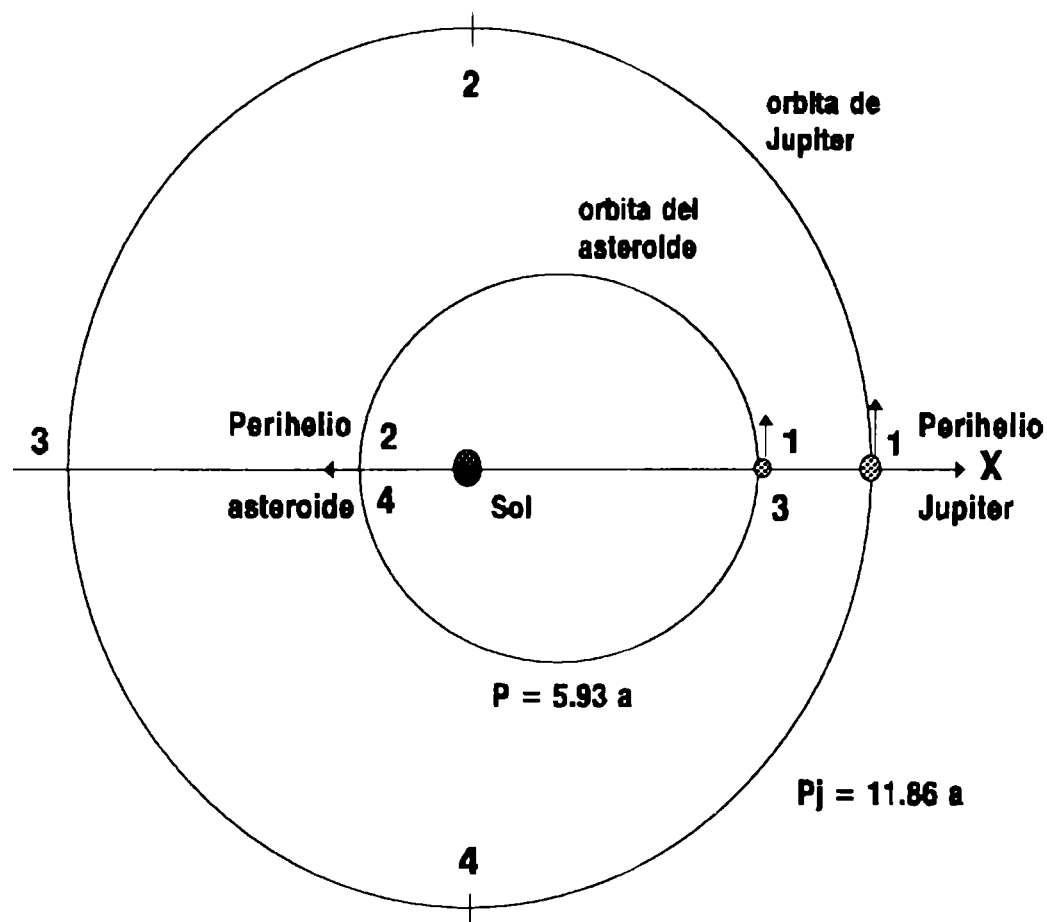
donde la razón  $\frac{(p+q)}{p}$  define la resonancia. Por ejemplo, la resonancia 3:2 esta dada por  $p = 2$

y  $q = 1$ . El valor de  $q$  indica el orden de la resonancia, en este caso,  $q = 1$ , la resonancia es de primer-orden.

Como  $\sigma$  es un parámetro que varia lentamente con el tiempo en un movimiento resonante, parece natural usar a  $\sigma$  como variable en el estudio teórico de este tipo de movimiento. Poincaré (1902) demostró que  $\sigma$  es una variable canónica en el sistema de ecuaciones diferenciales que describen el movimiento resonante en el problema restringido plano para la resonancia 2:1. La Fig. 5, nos muestra la variación del parámetro resonante en el espacio  $\sigma$  vs.  $\sqrt{2.S}$ . La trayectoria corresponde a la conmensurabilidad 2:1. Se puede observar una fuerte libración respecto al centro de coordenadas. La topología de esta trayectoria corresponde al modelo de la media de Schubart. S esta definida por la relación:

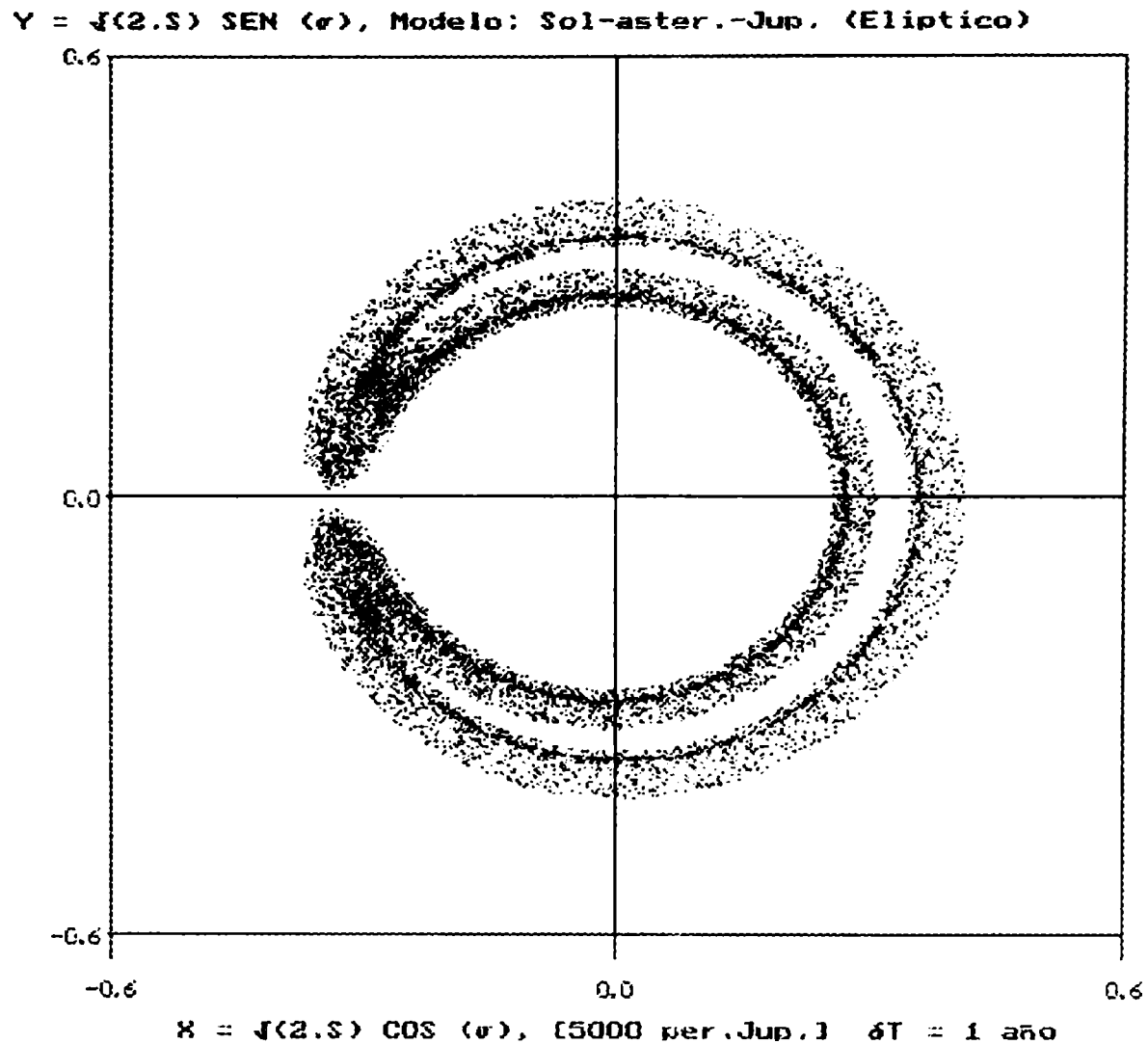
$$S = \sqrt{a}(1 - \sqrt{1 - e^2})$$

### Relacion entre los periodos para la resonancia 2:1



Dos periodos de revolucion del asteroide alrededor del Sol corresponde a un periodo de Jupiter

**Fig. 4.** Se muestran las posiciones relativas que ocupan el asteroide y Júpiter para la resonancia 2:1, i.e., un período de Júpiter corresponde a dos períodos del asteroide en su órbita.



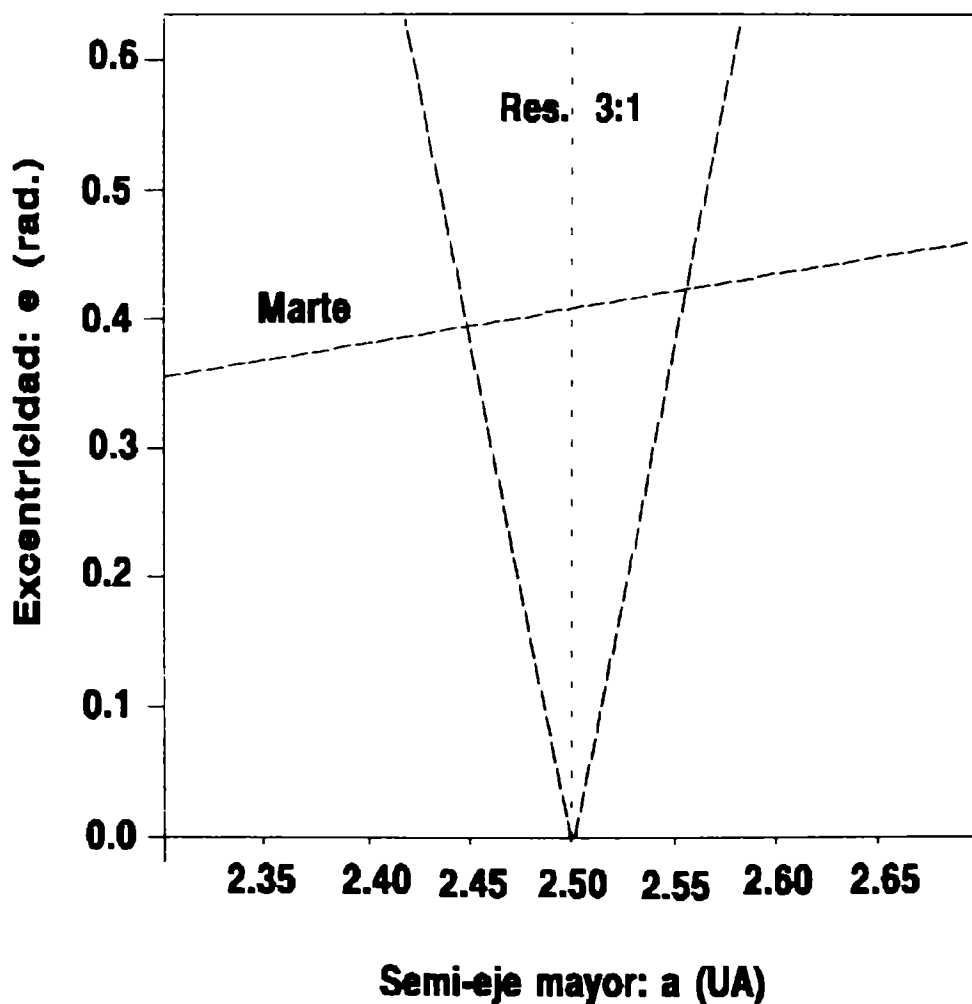
**Fig. 5.** Las oscilaciones alrededor del centro son libraciones. La amplitud de libración de  $\sigma$  y la variación de  $n$  puede ser muy grande, mientras que la variación de  $e$  puede ser relativamente pequeña. Se representa  $X = \sqrt{2.S} \cos(\sigma)$  vs.  $Y = \sqrt{2.S} \text{sen}(\sigma)$ . Tiempo de integración: 5000 períodos de Júpiter  $\Delta T = 1$  año.

Schubart (1978) usó una nueva variable resonante canónica,  $\tau$ , para el problema no-plano, la cual mide la longitud de conjunción desde el nodo ascendente de la órbita del asteroide, al igual que  $\sigma$ , es una variable crítica que permite estudiar la estabilidad de la órbita.

### 3. LA ESTRUCTURA DE LOS VACIOS DE KIRKWOOD

La distribución de las excentricidades  $e$  y de las inclinaciones  $i$  de las órbitas de los asteroides próximos a las resonancias no coinciden con la misma distribución en el cinturón de asteroides. Este fenómeno observacional fue descubierto, recientemente, por Dermott y Murray (1983); en la Fig. 6, se representa la distribución de las excentricidades osculadoras de todos los asteroides con  $2.35 \leq a \leq 2.65$  U.A., obtenidos del archivo TRIAD

**Distribución de los elementos osculadores de asteroides con  $2.35 \leq a \leq 2.65$  UA**  
**Las líneas punteadas representan el ancho de la libración en la resonancia 3:1.**



**Fig. 6.** Se muestra la distribución de los elementos orbitales  $a$  vs.  $e$  correspondiente a la resonancia 3:1, con una variación de  $2.35 \leq a \leq 2.65$ . La línea punteada representa el



ancho de la libración en la resonancia 3:1. Se grafica también la región de cruce de Marte. Este gráfico corresponde al modelo de Dermott y Murray (1983).

La línea punteada representa el ancho de la libración del movimiento resonante. Es evidente que las excentricidades aumentan al aumentar la distancia a partir de la posición del vacío 3:1, el cual corresponde a un valor de  $a = 2.50$  U.A. Este mismo gráfico es válido para otros vacíos de Kirkwood así como también para las inclinaciones de las órbitas. Dermott y Murray(1923) concluyen que las lagunas de Kirkwood observadas deben haber sido formadas después que los asteroides se dispersaron de las proximidades del disco co-planar, en el cual ellos se acrecentaron (se formaron y aumentaron). Por último, también concluyen que la acción gravitatoria de Júpiter dio origen a la formación de los vacíos.

#### 4. MODELOS ANALITICOS Y NUMERICOS PROPUESTOS PARA ESTUDIAR EL MOVIMIENTO MEDIO EN RESONANCIA

Para estudiar el movimiento medio resonante se han propuesto, en las últimas dos décadas, varios modelos; éstos están basados, en su mayor parte, en un tratamiento adecuado del Hamiltoniano  $H$  ó su equivalente la función perturbadora  $R$ , que interviene en las ecuaciones diferenciales que describen el movimiento.

El Hamiltoniano  $H$  está representado por:

$$H = H(x_i, y_i, t) \quad (1)$$

donde,

$x_i \Rightarrow$  coordenadas generalizadas,

$y_i \Rightarrow$  momentos conjugados,

$t \Rightarrow$  tiempo.

Las ecuaciones diferenciales del movimiento son:

$$\begin{aligned} \frac{dx_i}{dt} &= \frac{\partial H}{\partial y_i} \\ \frac{dy_i}{dt} &= -\frac{\partial H}{\partial x_i} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\frac{\partial L}{\partial t} = -\frac{\partial H}{\partial t} \quad (3)$$

formando un sistema que se conoce con el nombre de **ecuaciones canónicas de Hamilton**, el cual constituye un sistema de  $2n + 1$  ecuaciones de primer-orden, siendo  $n$  el grado de libertad del sistema dinámico.  $L$  es la función de **Lagrange** definida como

$$L = T - V$$

siendo  $T$  la energía cinética y  $V$  la potencial.

Por otra parte, la función perturbadora  $R$  tiene la expresión, en coordenadas rectangulares,

$$R = G m' \left[ \frac{1}{\Delta} - \frac{r r'}{r^3} \right] \quad (4)$$

donde,

$G$  es la constante universal de la gravitación

$m'$  es la masa del planeta perturbador

$$\Delta = [(x' - x)^2 + (y' - y)^2 + (z' - z)^2]^{1/2}$$

$$r \cdot r' = x \cdot x' + y \cdot y' + z \cdot z'$$

$$r'^3 = [x'^2 + y'^2 + z'^2]^{3/2}$$

siendo,

$\{x, y, z\}$  las coordenadas heliocéntricas del asteroide.

$\{x', y', z'\}$  las coordenadas heliocéntricas del planeta perturbador.

Luego, las ecuaciones del movimiento del asteroide respecto al Sol, son:

$$\frac{dx}{dt} = \text{mov. Kepleriano} + \frac{\partial R}{\partial x} \quad (5)$$

y ecuaciones similares para las variables  $y, z$ .

Las ecuaciones del movimiento de un asteroide forman un sistema no-integrable, Ec.(5), aún en el problema restringido de tres-cuerpos. Distintas y variadas aproximaciones se

han usado para representar la solución de las ecuaciones canónicas (2)-(3) ó de las ecuaciones heliocéntricas (5). Estas aproximaciones consisten en un tratamiento apropiado del Hamiltoniano  $H$  ó de la función perturbadora  $R$ .

La función perturbadora  $R$  puede ser desarrollada en una serie trigonométrica de Fourier, ver Brouwer y Clemence (1961); en el caso del problema restringido  $R$  admite un desarrollo de Fourier en función de los argumentos:  $\lambda, \lambda_j, \varpi, \varpi_j, \Omega$ .

donde,

$\Omega$  = longitud del nodo ascendente

$\varpi = \omega + \Omega$  = longitud del perihelio

$\lambda = M + \varpi$  = longitud media

son los parámetros angulares de la órbita del asteroide y Júpiter, respectivamente.

El desarrollo de Fourier de la función perturbadora  $R$  tiene la forma general

$$R = \sum C \cos D \quad (6)$$

donde

$$C = C ( a, a_j, e, e_j, i )$$

$$D = D ( i\lambda + j\lambda_j + k\varpi + l\varpi_j + m \Omega )$$

es decir, los coeficientes  $C$  son funciones de los semi-ejes mayores, excentricidades e inclinaciones y los argumentos dependen de los elementos angulares. La suma se realiza sobre todos los valores permitidos de los números enteros  $i, j, k, l$  y  $m$ , los coeficientes  $C$  también dependen de estos enteros, ver Danby (1962). Por ejemplo, para el problema restringido plano se tiene,

$$C = C ( a, a_j, k, l ) e^k, e_j^l$$

$$D = i\lambda + k \lambda_j - l\varpi - n \varpi_j$$

y ecuaciones adicionales que relacionan los índices de suma,  $i, k, l$  y  $n$ . Los coeficientes  $C$  se pueden expresar en función de los coeficientes de Laplace.

Es importante destacar que el desarrollo de Fourier (6) goza de las propiedades de la serie de d'Alembert, por tanto:

$$C \sim O ( e^{|k|}, e_j^{|l|}, i^{|m|}, i_j^{|n|} )$$

la suma  $(m+n)$  es par, e  $(i+k+j+l+m+n) = 0$ ; por lo tanto,  $|k+l+m+n| \geq |i+j|$ . Los términos con  $i=0$  y  $j=0$  son llamados términos seculares pues los argumentos del coseno varían muy lentamente. Sin embargo, si la razón de los movimientos medios  $n$  y  $n_j$  esta representado por un número racional, es decir

$$\frac{n}{n_i} = \frac{(p+q)}{p}$$

entonces, la cantidad  $(i\lambda + j\lambda_j)$  puede variar lentamente y dominará el movimiento del asteroide debido a que los términos restantes, no-seculares, son de corto período. Estos términos de corto período son por lo general eliminados, utilizando el principio de la media el cual supone que si un término resonante particular esta variando lentamente, entonces se puede obtener el valor medio de  $R$  y sus derivadas promediando sobre el período resonante; con esto se logra que  $R$  sólo contenga los términos seculares y resonantes. Sin embargo, estos son aún calculados por una suma cuádruple, sobre los índices  $k, l, m$  y  $n$ . En general, se realizan otros promedios sobre el promedio obtenido, la validez de este proceso depende de la posición de la resonancia y del máximo alcanzado por la excentricidad de la órbita pues  $a/a_j$  y  $e^{|k|}$  aparecen en los coeficientes del cos  $D$ .

El número de términos que contiene la función perturbadora desarrollada en la forma de serie de d'Alembert depende fundamentalmente del valor de  $q$ . Para las resonancias de primer-orden de la forma  $(p+1):p$ , los términos que aparecen son del orden:  $\sim O(e)$ , mientras que para la resonancia 3:1 ( $q = 2$ ), los términos de mayor orden son:  $\sim O(e^2, e_j^2, e_j \cdot e)$ , los términos siguientes son  $\sim O(e^4)$ . En cualquiera de los casos, el problema es conservar suficientes términos para obtener una buena representación del movimiento; pero cuando son incluidos los términos de orden superior el estudio analítico de las órbitas se hace muy difícil. Por lo tanto los desarrollos en serie de la función perturbadora están truncados en un cierto orden, el cual depende de  $e^n$ , siendo  $n$  (entero) $>0$ .

Además de los desarrollos en serie truncados (según el orden de la aproximación), un cambio adecuado en las coordenadas canónicas ha conducido a dos modelos fundamentales para interpretar la resonancia:

- i) el modelo del péndulo
- ii) un modelo de Henrard y Lemaître (1983 a)

La teoría del movimiento del péndulo ha sido a menudo considerada como el modelo básico para interpretar el fenómeno de resonancia, ver Lichtenberg y Lieberman (1983); en Mecánica Celeste es frecuente tratar al problema de la resonancia como el de un péndulo, mediante un tratamiento adecuado de la función Hamiltoniana.

Resumiendo, la función perturbadora  $\mathbf{R}$  ó su equivalente el Hamiltoniano  $\mathbf{H}$  tienen una expresión, en forma general, como:

$$\mathbf{R} = \mathbf{C} (a, a_j, e, e_j, i) [\mathbf{R}_{tcp}(\lambda, \lambda_j) + \mathbf{R}_{sec}(q, \sigma, q, \tau, \varpi, \varpi_j, \Omega)]$$

$$\mathbf{H} = \text{Const} [ \mathbf{H}_{tcp} + \mathbf{H}_{sec} ]$$

tcp  $\Rightarrow$  términos de corto período, varían muy rápidamente.

sec  $\Rightarrow$  términos seculares, varían lentamente, secularmente

donde  $\mathbf{R}_{tcp}$  contiene términos que varían rápidamente y el argumento  $\mathbf{D}$  solo depende de las longitudes medias,  $\mathbf{R}_{sec}$  contiene términos que varían lentamente llamados términos seculares. El mismo razonamiento es válido para el Hamiltoniano  $\mathbf{H}$ ; en algunos estudios,  $\mathbf{H}_{sec}$  se descompone en dos términos, una parte resonante y una parte secular, donde la parte secular no depende de las variables resonantes  $\sigma$  y  $\tau$ .

### Desarrollos en serie de $\mathbf{R}$ y $\mathbf{H}$

Murray y Fox (1984), desarrollaron para el caso plano en la resonancia 3:1 la parte  $\mathbf{R}_{sec}$  de la función perturbadora hasta el segundo orden en las excentricidades y obtuvieron el siguiente desarrollo:

$$\mathbf{R}_{sec} = \sum A_i B_i(e, e_j) \cos[D_i(\sigma, \varpi, \varpi_j)]$$

para la resonancia 3:1,  $q = 2$ . Los coeficientes  $A_i$  son los coeficientes de Laplace. En esta aproximación los términos de corto período  $\mathbf{R}_{tcp}$  son despreciados, esto significa que los términos de corto período en promedio tienden a cero durante el período de la resonancia, i.e.,  $\langle \mathbf{R}_{tcp} \rangle \Rightarrow 0$ . El Hamiltoniano que corresponde a este caso se puede escribir en el modo clásico de la forma:

$$\mathbf{H}^* = - \mathbf{H} (\text{probl.dos-cuerpos}) - \mathbf{R}_{sec}$$

reemplazando este valor de  $\mathbf{H}^*$  en el sistema canónico de ecuaciones diferenciales (2), Murray y Fox (1924) resolvieron numéricamente el sistema de ecuaciones resultante, i.e.,

$$\frac{dx_i}{dt} = \frac{\partial H^*}{\partial y_i}$$

$$\frac{dy_i}{dt} = -\frac{\partial H^*}{\partial x_i}$$

Este procedimiento se puede aplicar a cualquier resonancia del tipo  $\frac{(p+q)}{p}$ , excepto para los asteroides Troyanos (1:1), pues el desarrollo de  $a/a_j$  en los coeficientes  $A_i$  no tiende a uno como es de esperar. La aplicación de este método para órbitas con altas excentricidades no es aconsejable. El método puede ser mejorado desarrollando  $\mathbf{R}$  hasta términos de orden superior en las excentricidades.

## 6. EL METODO DEL PROMEDIO DE SCHUBART

Schubart (1964,1968), desarrolló un nuevo método de promedio el cual difiere del principio de promedio usado por Murray y Fox. En sus estudios, Schubart **no supone** que los términos de corto período promediados tienden a cero, y por tanto él no desprecia estos términos, por el contrario son tomados en cuenta. En la aplicación de este método promediado, Schubart, considera el Hamiltoniano original  $\mathbf{H}$ , éste incluye, por supuesto, los términos de corto período y por tanto,  $\mathbf{H}$  es promediado sobre el período de resonancia, entonces, el Hamiltoniano promediado  $\overline{H}$  es usado para reemplazar al Hamiltoniano original  $\mathbf{H}$  en el sistema de ecuaciones canónicas (2). El Hamiltoniano promediado de Schubart se obtiene mediante la ecuación:

$$\langle H \rangle = \overline{H} = \frac{1}{2\pi(p+q)} \int_0^{2\pi(p+q)} H d\lambda$$

donde  $H = H(\lambda)$ . Luego, el sistema de ecuaciones canónicas con el Hamiltoniano promediado  $\overline{H}$ , es integrado numéricamente donde el sistema de ecuaciones diferenciales canónicas está dado por:

$$\frac{d\sigma}{dt} = \frac{\partial \overline{H}}{\partial S}, \frac{dS}{dt} = -\frac{\partial \overline{H}}{\partial \sigma}, \dots, etc.$$

Este sistema de ecuaciones diferenciales con un Hamiltoniano promediado  $\overline{H}$ , se resuelve numéricamente del siguiente modo: consideremos, por ejemplo, la ecuación para  $\sigma$ , donde  $S$  es la variable canonica conjugada de  $\sigma$ , i.e.,

$$\frac{d\sigma}{dt} = \frac{\partial \overline{H}}{\partial S}$$

El segundo miembro de esta ecuación diferencial, para un Hamiltoniano  $H$  no-promediado, está representado por una función analítica  $F$ . La expresión de  $F$ , para el Hamiltoniano original  $H$ , es periódica en los elementos  $\lambda$  y  $\lambda_j$  en el intervalo de resonancia definido por  $2\pi(p+q)$ . Dividiendo éste intervalo de resonancia en  $N$  subintervalos iguales con respecto a la anomalía excéntrica  $E$  del asteroide, se puede calcular la función  $F(i, \lambda(i), \lambda_j(i), \dots)$  con  $i = 1, \dots, N$ . Las longitudes medias  $\lambda(i)$ ,  $\lambda_j(i)$  se obtienen conservando al asteroide en una órbita Kepleriana, definida por los elementos orbitales en  $i=1$ . Por lo tanto, el valor medio de  $F$  está dado por:

$$\overline{F} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N F(i, \lambda(i), \lambda_j(i), \dots)$$

y por consiguiente,

$$\frac{d\sigma}{dt} = \frac{\partial \overline{H}}{\partial S} = \overline{F}$$

luego, el sistema de ecuaciones diferenciales canónicas dado anteriormente está representado por:

$$\frac{d\sigma}{dt} = \overline{F}, \frac{\partial S}{\partial t} = -\frac{\partial \overline{H}}{\partial \sigma}, \dots, etc.$$

en este sistema la ecuación diferencial con el valor medio  $\overline{F}$  puede ser resuelta utilizando cualquier integrador numérico preciso. Schubart, en su trabajo, no usó la forma canónica de este sistema de ecuaciones sino que utilizó un sistema con elementos más adecuados, ver Schubart (1968). Es obvio que el método del promedio aplicado por Schubart difiere fundamentalmente

del principio de la media propuesto por Murray y Fox, el cual había sido ya propuesto por Poincaré en 1902. En la aplicación de su método, Schubart no desprecia los términos de corto período y tampoco usa desarrollos en serie, esto hace que la media utilizada por Schubart tenga un rango, comparativamente mayor, de aplicaciones que el propuesto por Murray y Fox; en particular, no existen restricciones para las excentricidades ó las resonancias típicas. En el caso de los asteroides Troyanos no hay inconveniente en estudiar sus movimientos aplicando este método. No es aconsejable su aplicación cuando tiene lugar una configuración donde la distancia entre Júpiter y el asteroide es demasiado pequeña, en este caso no se pueden calcular las funciones  $F(i, \lambda(i), \lambda_j(i), \dots)$

## 7. LA REPRESENTACION (MAPPING) DE WISDOM

Otro método, independiente y muy rápido, para calcular numéricamente órbitas con movimientos medios resonantes fué propuesto por J. Wisdom (1982). En forma similar al método propuesto por Murray y Fox, Wisdom descompone el Hamiltoniano  $H$  en tres partes:

- i) agrupa los términos de corto período.
- ii) considera solamente los términos resonantes.
- iii) agrupa la parte secular.

es decir,

$$H = H_{\text{tcp}} + H_{\text{reson}} + H_{\text{sec}} \quad (7)$$

Wisdom, para la resonancia 3:1, desarrolla  $H_{\text{sec}}$  en serie de potencias de las excentricidades  $e$  y  $e_j$ , hasta los términos de orden de  $e^2$ , otra diferencia con el trabajo de Murray y Fox es que Wisdom no desprecia los términos de corto período sino que reemplaza estos términos por **funciones delta**,  $\delta$ , definidas convenientemente. El concepto fundamental introducido por Wisdom esta basado en una idea muy general propuesta por B.V. Chirikov (1979), la idea es la siguiente:

El movimiento del asteroide es interpretado como un oscilador perturbado, donde el Hamiltoniano está representado por la ecuación (7), i.e., expresado en tres parte.  $H$  es una función periódica de los argumentos  $\lambda$  y  $\lambda_j$ . Los términos de corto período ó de alta frecuencia



durante una revolución de Júpiter son, por supuesto, debidos a las perturbaciones de Júpiter. En las sucesivas revoluciones del asteroide, las perturbaciones continúan actuando y éstas afectan las altas frecuencias del movimiento; estas fuerzas (las perturbaciones) son reemplazadas por un número pequeño de impulsos, los cuales actúan instantáneamente durante una revolución de Júpiter alrededor del Sol. Esta sustitución es interpretada matemáticamente en el modelo como una **función delta de Dirac**,  $\delta$ . Físicamente, esta sustitución está justificada por el hecho que el uso de la función delta,  $\delta$ , es equivalente a introducir un número infinito de términos de alta frecuencia. El nuevo Hamiltoniano definido por Wisdom,  $H_w$ , tiene la forma:

$$H_w = H_{sec} + H_{reson}. \quad (8)$$

Para el movimiento medio resonante 3:1, Wisdom encontró que son suficientes cinco impulsos para aplicar este modelo a los términos de corto período y al movimiento resonante del asteroide durante una revolución completa de Júpiter. Con éste Hamiltoniano  $H_w$ , la solución numérica del sistema de ecuaciones canónicas (2) se hace muy fácil y en particular muy rápida. Además, Wisdom encontró que la parte secular de éste Hamiltoniano es analíticamente **integrable**. Como los dos términos que forman el  $H_w$  se pueden integrar fácilmente no es necesario, entonces, resolver numéricamente las ecuaciones diferenciales canónicas sino que simplemente se las resuelve mediante un **mapeo**. La aplicación de este "mapping" permite resolver en forma rápida el sistema ya que se requiere calcular solamente cinco veces las funciones delta durante una revolución de Júpiter.

El "mapping" desarrollado por Wisdom es aplicable a órbitas de asteroides con poca excentricidad para la resonancia 3:1 y además, es más rápido que el método de Murray y Fox y que el método de la media de Schubart. Es interesante preguntarse si el mapeo de Wisdom puede ser aplicado ó no a otras resonancias y a órbitas con grandes excentricidades ( $e > 0.5$ ), con la misma eficiencia como en la resonancia 3:1. Dos factores son los que determinan la rapidez del mapeo de Wisdom:

- i) el escaso número de funciones delta de Dirac necesarias durante una revolución de Júpiter alrededor del Sol.
- ii) el término secular del Hamiltoniano  $H_w$  es integrable, éste es deducido a partir de un desarrollo en serie.

## 8. INTENTOS PARA EXPLICAR LA FORMACION DE LAS LAGUNAS DE KIRKWOOD

En la última década se publicaron cinco modelos diferentes los cuales intentaron explicar la formación de los vacíos de Kirkwood y los grupos aislados de asteroides relacionados con el movimiento medio resonante, ellos son:

- i) Gonczi et al. (1982, 1983)
- ii) Torbett y Smoluchowski (1982, 1983)
- iii) Lemaître y Henrard (1983)
- iv) Hadjidemetriou y Ichtiaroglou (1984)
- v) Wisdom (1983)

Wisdom propone solamente un mecanismo para la resonancia 3:1.

Los otros cuatro autores no proponen un mecanismo completo para la formación de las lagunas de Kirkwood ni para los grupos de asteroides (acumulaciones), sino que investigan el efecto de una fuerza externa sobre el movimiento resonante; ésta es una fuerza adicional al efecto gravitatorio ejercido por Júpiter. La naturaleza física de esta fuerza adicional no es necesariamente conocida pero se hacen suposiciones sobre la forma en que actúa.

Gonczi et al. (1982,1983), investigaron el efecto arrastre de Poynting-Robertson sobre la evolución de órbitas próximas a una resonancia. Estos tienen en cuenta los términos más importantes del "Poynting-Robertson drag" además de la fuerza gravitatoria de Júpiter. Debido al arrastre el semi-eje mayor,  $a$ , de la órbita varía lentamente hacia las resonancias Jovianas; si ésta ingresa en una resonancia, la órbita puede abruptamente variar su excentricidad,  $e$ , y puede, por tanto, disminuir fuertemente su semi-eje mayor, la órbita no es atrapada en la resonancia sino que pasa muy rápidamente a través de ella. De este modo se pudieron haber formado los vacíos.

Por otra parte, una órbita que inicialmente está en una región resonante puede permanecer ahí un período de tiempo relativamente grande antes de abandonar la región de resonancia. El intervalo de tiempo en el cual la órbita permanece en esta región, llamado "trapping time", fue calculado para las resonancias, 3:1, 5:2, 2:1 y 3:2. Es importante destacar que para las resonancias 3:1 y 5:2, el tiempo de permanencia en la resonancia es muy corto, esto

se debe a que las regiones de libración son muy pequeñas, en cambio para las resonancias 2:1 y 3:2 este tiempo parece ser relativamente mayor.

Torbett y Smoluchowski (1982,1983), investigaron el efecto "barrido", debido a las resonancias Jovianas, sobre una distribución inicialmente uniforme de asteroides. El efecto "barrido" sobre las resonancias pudo haber sido causado por la dispersión del disco de acreción original formado alrededor del proto-Sol y/o por una variación de la masa Joviana. Estos investigadores, igual que Gonczi et al., encontraron que los asteroides que inicialmente parten fuera de una región resonante tienen un pasaje muy rápido por esta región y también hallaron, un período relativamente grande para la permanencia de la órbita en la región resonante. Este efecto se encuentra en las resonancias observadas 3:1, 5:2,7:3 y 2:1; pero el ancho observado de los vacíos no esta de acuerdo con los cálculos realizados.

Un estudio físico, similar a los propuestos por los anteriores autores, pero con consideraciones mas generales fue realizado por Henrard y Lemaître (1983). Ellos investigaron analíticamente el efecto de un desplazamiento de las resonancias Jovianas basadas en la teoría de los invariantes adiabáticos (Henrard, 1982). Para ello promediaron el Hamiltoniano respecto de las longitudes medias de Júpiter,  $\lambda_j$ , y desarrollaron el Hamiltoniano resultante en potencias de la excentricidad. Henrard y Lemaître estudiaron primero la topología del movimiento resonante, realizando un estudio similar al trabajo de Schubart (1964), el modelo utilizado es un problema restringido circular plano, aplicable solo a órbitas con poca excentricidad. Estos investigadores encontraron puntos homoclínicos, regiones de libración y circulación las cuales están separadas por una curva semejante a una separatriz. Un lento desplazamiento del centro de resonancia hace que la órbita del asteroide comience a evolucionar a través de diferentes regiones del espacio, pasando de un lado a otro del punto homoclínico. El pasaje a través del punto homoclínico hace variar, en forma abrupta, el tiempo de evolución del semi-eje mayor y la excentricidad. Varios autores habían ya descubierto este violento comportamiento: Scholl y Froeschlé (1974), Froeschlé y Scholl (1979), Gonczi et al. (1983), Torbett y Smoluchowski (1982) y Wisdom (1983).

Para describir la evolución de una órbita aplicando la teoría de los invariantes adiabáticos son necesarios dos parámetros,  $A$  y  $\delta$ .  $\delta$  es un parámetro sin dimensiones, es la relación entre el semi-eje mayor y el centro de la resonancia.  $A$  representa el área encerrada por la órbita del asteroide en un espacio de fase definido adecuadamente.

Una **variación adiabática** significa un cambio muy lento de la variable  $\delta$  con el tiempo y el indicador de área  $A$  está relacionado con el **invariante adiabático**. Estudiando

analíticamente el comportamiento de A en función de  $\delta$ , Henrard y Lemaître encontraron dos resultados muy importantes:

i) La órbita de un asteroide que inicialmente parte fuera de la región de resonancia cruza repentinamente esta región mientras que el centro de la resonancia se desplaza adiabáticamente. Después de éste rápido pasaje por la zona resonante, la órbita del asteroide permanece en el lado opuesto de la región resonante.

ii) Una órbita que inicialmente parte de la región de resonancia puede permanecer en la región un período bastante grande en la zona de resonancia durante un cambio adiabático. Este período depende de la distancia entre la órbita y la curva separatriz.

Esta teoría fue aplicada con éxito a la resonancia 2:1, ver Lemaître (1984). Una aproximación diferente a las teorías mencionadas para explicar los vacíos de Kirkwood fué publicada por Hadjidemetriou e Ichtiaroglou (1984). Esta aproximación esta basada en un análisis de la estabilidad del movimiento resonante en el problema restringido circular plano. En particular, estudiaron la estabilidad de órbitas periódicas simétricas simples en un sistema rotante. Estas órbitas en el cinturón de asteroides están divididas en familias con ramificaciones a órbitas circulares y elípticas. Los autores investigaron las ramificaciones que pasan a través de las resonancias. Hadjidemetriou (1982) demostró que las órbitas circulares resonantes en la conmensurabilidad:

$$\frac{n}{n_j} = \frac{3}{1}, \frac{5}{3}, \frac{7}{5}, \dots$$

tienen siempre un Hamiltoniano perturbado, el cual genera inestabilidad. Además, demostró que cualquier órbita elíptica puede volverse inestable si se aplica una perturbación adecuada, i.e.,

$$H = H_0 + \varepsilon H_1$$

El estudio de la estabilidad de una órbita está basado en el método de las superficies de sección, (ver Hénon y Heiles, 1964) y la inestabilidad está medida por el módulo de los autovalores no-estables.

Los principales resultados obtenidos por Hadjidemetriou e Ichtiaroglou son:

i) Todas las órbitas circulares resonantes ( $\approx$  problema restringido circular) son estables, excepto para las resonancias : 3:1, 5:3, 7:5, ..., porque éstas están rodeadas por curvas invariantes.

ii) Las órbitas elípticas resonantes próximas a las conmensurabilidades: 2:1, 3:2 y 4:3, pueden existir. Además, se puede conjeturar que una perturbación adicional puede causar inestabilidad en la resonancia 2:1, pero no en las resonancias 3:2 y 4:3.

El Hamiltoniano toma la forma:

$$H(\text{elíptico}) = H_0 + \varepsilon H_1(\text{perturbado})$$

Además, las aproximaciones de Henrard y Lemaître y la de Hadjidemetriou e Ichtiaroglou tratan, ambas, de explicar la paradoja de los grupos de acumulación y los vacíos, que se producen en las resonancias debido a un comportamiento diferente del criterio de estabilidad, con relación a una perturbación adicional. Entonces el Hamiltoniano se puede expresar como:

$$H = H_0(\text{Probl.2 - C}) + H_{tcp} + H_{res} + H_{sec} \equiv H^*$$

y por tanto

$$H = H^* + \varepsilon H_1$$

Otra aproximación, independiente de las anteriores, para explicar la formación de los vacíos de Kirkwood, fué propuesta por J. Wisdom (1983). De acuerdo a las investigaciones de Wisdom, la resonancia 3:1 se forma porque los asteroides situados en la 3:1 se hacen cruzadores de la órbita de Marte y por tanto cambian su órbita debido a la acción de Marte. Aplicando su **mapeo**, descrito anteriormente, Wisdom demostró que la excentricidad de la órbita de un asteroide cuyas condiciones iniciales corresponden al vacío observado en la 3:1, tarde ó temprano salta súbitamente hasta un valor mas grande, entonces comienza a cruzar la órbita de Marte. El proceso de estos repentinos saltos en la excentricidad están relacionados con un **movimiento caótico**, tal como Wisdom lo demostró, aplicando el método de los máximos exponentes característicos de Lyapunov. Hay que destacar, que Froeschlé y Scholl (1981), calcularon los máximos exponentes de Lyapunov para la resonancia 2:1 y no encontraron claras evidencias de

un movimiento caótico. Estos abruptos cambios en los elementos observados en el comportamiento de una órbita ya eran conocidos por Scholl y Froeschlé (1974 y 1979); estos autores pensaron que las violentas variaciones de los elementos eran casos excepcionales, mientras que Wisdom demostró que estos cambios son normales en todas aquellas órbitas que estén en la resonancia 3:1. Estas órbitas deben ser calculadas por un período de tiempo muy grande. Esto explicaría porqué Froeschlé y Scholl sólo hallaron cambios violentos en unos pocos casos. El mérito de Wisdom es que empleó un mapeo muy rápido, el cual le permitió calcular las evoluciones dinámicas de las órbitas para millones de años ( $> 10^6$  años) y, el principal resultado obtenido por sus investigaciones es la demostración que el ancho observado en la laguna de Kirkwood 3:1 coincide con el tamaño de la región caótica. Este brillante trabajo de Wisdom fué premiado.

Sin embargo, falta mucho por realizar, todavía no se ha demostrado que en los otros vacíos de Kirkwood el proceso de un movimiento caótico produce, también, cruzadores de Marte. El movimiento caótico sólo no es suficiente para explicar la formación de vacíos, ya que una región caótica puede ser envuelta por una región **no-caótica**.

**La incógnita sobre el origen de los vacíos y las acumulaciones de asteroides con movimiento medio resonante continua siendo una preocupación para los astrónomos !**

**Agradecimientos.** A Diego López García por su colaboración en la diagramación de los gráficos. Parte de este trabajo fue realizado con un subsidio otorgado por la Secretaría de Investigaciones Científicas de la U.N.S.J. 1993)

## **BIBLIOGRAFIA**

Chirikov, B.V.: 1979, Phys. Rep. **52**, 263-379.

Danby, J.M.A.: 1962, Fundamentals of Celestial Mechanics, Macmillan, New York, p.254-255.

Dermott, S.F., Murray, C.D.: 1983, Nature **301**, 201-205.

- Ferraz- Mello, S: 1987, In Dynamics of the Solar System, Sidlichovsk • M. (ed ) Astrom. Inst. Czech. Acad. Science. Praha, 121.
- Ferraz-Mello, S.: 1988, Astron. J. **96**, 400
- Ferraz-Mello, S.: 1990, Revista Mexicana Astron. Astrofisica **21**, 569
- Ferraz-Mello, S., Klafke, J.C.: 1991, In Predictability, Stability and Chaos in N-Body Dynamical Systems, A.E. Roy (ed.), NATO ASI Series, Plenum Press, N.Y. 177 .
- Froeschlé, Cl., Scholl, H.: 1979, Astron. Astrophys. **57**, 33-39.
- Froeschlé, Cl., Scholl, H.: 1981, Astron. Astrophys. **93**, 62-66.
- Froeschlé, Cl., Scholl, H.: 1983, In Asteroids, Comets, Meteors, C.I. Lagerkvist and H. Rickman, eds., Uppsala University, p. 115-125.
- Gonczy, R., Froeschlé, Ch., Froeschlé, Cl.: 1982, Icarus **51**, 633-654.
- Gonczy, R., Froeschlé, Ch., Froeschlé, Cl.: 1983, In Dynamical Trapping and evolution in the Solar System. V.V. Markellos y Y. Kozai, (eds)., D. Reidel, Dordrecht.
- Greenberg, R., Scroll, H.: 1979, In Asteroids, Comets, Meteors, T. Gehrels, (ed)., University Arizona Press.
- Hadjidemetriou, J.D.: 1982, Celes. Mech. **27**, 305-322.
- Hadjidemetriou, J.D., Ichtiaroglou, S.: 1984, Astron Astrophys. **131**, 20-32.
- Hénon, M., Heiles, C.: 1964, Astron. J. **69**, 73-79.
- Henrard, J.: 1982, In Application of modern dynamics, V. Szebehely, (ed.) Reidel, Dordrecht, p. 153-171.
- Henrard, J., Lemaître, A.: 1983, Icarus, **55**, 482-494.
- Kirkwood, D.: 1867, Meteoric Astronomy: A treatise on shooting-stars, fireballs and Aeolites, Ch.13 ( Philadelphia: J.B. Lippincott)
- Lemaître, A.: 1984, Celes. Mech. **32**, 109-126.
- Murray, C.D., Fox, K.: 1984, Icarus, **59**, 221-233.
- Poincaré, H.: 1902, Bull.Astron. **19**.
- Scholl, H.: 1985, In Resonances in the motion of planets, satellites and asteroids, S. Ferraz-Mello y W. Sessin, (eds.), USP, IAG, p.129-141.
- Scholl, H., Froeschlé, Cl.: 1974, Astron. Astrophys. **33**, 455-458.
- Schubart, J.: 1964, Smithsonian Astrophys. Obs. Special Report No. **149**.
- Schubart, J.: 1968, Astron. J. **73**, 99-103.
- Szebehely, V.: 1970, Theory of Orbits. Academic Press Inc.
- Torbett, M., Smoluchowski, R.: 1982, Astron. Astrophys. **111**, 43-49.

- Torbett, M., Smoluchowski, R.: 1983, *Astron. Astrophys.* **127**, 345-348.
- Wisdom, J.: 1982, *Astron. J.* **87**, 577-593.
- Wisdom, J.: 1983, *Icarus* **56**, 51-74.
- Wisdom, J.: 1987, *Icarus* **72**, 241







# **RESUMENES**



# **ESTRELLAS**



## ¡QUE COSA MAS EXTRAÑA !

H. Vucetich (Dto. Física UNLP, FCAGLP, CONICET)

Las dificultades con que se encuentran los modelos numéricos de supernovas tipo II para explotar, sugieren que existen fenómenos físicos ignorados por el modelo. Un fenómeno "herético" es la formación de materia extraña : una forma de materia con un contenido de extrañeza no nulo y más ligada aún que el  $^{57}\text{Fe}$ . La detonación de materia nuclear a materia extraña en el corazón de una supernova puede explicar la explosión y predice que todas las estrellas compactas son estrellas extrañas y no estrellas de neutrones. Se presenta un modelo de púlsar extraño capaz de presentar los fenómenos de relajación, *glitches*, emisión pulsada ..... Se discute la posibilidad de falsificar la teoría a través de la observación.

## ENFRIAMIENTO DE ESTRELLAS ENANAS BLANCAS

L. Althaus, O. G. Benvenuto (FCAGLP)

Hemos calculado la evolución final de una enana blanca de  $0.5 M_{\odot}$  hasta el comienzo del enfriamiento de Debye a partir de un punto en el que los procesos de liberación de energía nuclear son despreciables. Para ello incluimos una física actualizada prestando especial atención a la fase sólida que se espera en estos objetos. Se consideró un interior totalmente ionizado sujeto a interacciones coulombianas, degeneración relativista y no relativista para los electrones, correcciones de intercambio y de Thomas Fermi. Se incluyó además la liberación de calor latente durante la cristalización. Las oscilaciones de los iones en la fase sólida han sido calculadas utilizando el modelo de Debye. Las opacidades radiativas fueron adecuadamente extrapoladas y las opacidades conductivas fueron tomadas de la formulación de Itoh para las fases sólida y líquida.

La *Función de Luminosidad* es bien reproducida excepto que no obtenemos una abrupta caída como muestran las observaciones: el enfriamiento de Debye ocurre a luminosidades más bajas que las de interés. Por otra parte los tiempos obtenidos son muy cortos como para atribuir la caída a una edad finita del Disco Galáctico. Concluimos que, ó los tiempos evolutivos son mayores que los que obtuvimos, haciendo que la edad del disco juegue un rol fundamental en la forma de la FL, ó existe algún mecanismo no incluido por el que la FL sufre una abrupta caída.

## MODELOS ATMOSFERICOS DE UNA FULGURACION ESTELAR

P. Mauas (IAFE), A. Falchi (OAA)

Se presentan modelos semiempíricos de la atmósfera de la estrella dMe AD-Leo, calculados para ajustar las observaciones de la fulguración del 12 de abril de 1985, una de las mayores fulguraciones estelares que hayan sido observados. La comparación de las observaciones con los modelos, calculados para distintos valores del área de la fulguración, permiten estimar dicha área. Asimismo, se presenta una estimación de la energía necesaria para producir la fulguración, y se compara con las fulguraciones en luz blanca observadas en el Sol.

## ESTUDIO DE LAS ABUNDANCIAS QUIMICAS DE DOS ESTRELLAS CP MAGNETICAS: HD 43819 Y HD 147550

Z. López García (OAFa , CONICET), S.J.Adelman (The Citadel, USA)

Utilizando material espectroscópico de alta dispersión, y modelos de atmósferas calculados con el programa ATLAS 9, cuyas predicciones se ajustan a la espectrofotometría y a los perfiles de H $\gamma$ , se realiza un *fine analysis* de las estrellas CP magnéticas **HD 43819** y **HD 147550**. Se discute especialmente la influencia del uso de las nuevas funciones de distribución que incluyen metales reforzados, en la determinación de parámetros atmosféricos y en la estimación de las abundancias químicas.



## VIENTOS MHD ANISOTROPOS

N. Rotstein (IAFE, CONICET), C.Ferro Fontán (INFIP, CONICET)

La anisotropía en los vientos estelares suele introducirse a través de un parámetro de asimetría de masa, manteniendo esféricas las superficies alfvénicas. Sin embargo, mas allá de cierta simplificación matemática que este procedimiento implica, el formalismo presenta algunas características que merecen ser revisadas. En este trabajo se cambia el enfoque tradicional, introduciendo la anisotropía a través de la función de Mach-Alfvén y no del perfil de densidad de masa. A modo de ilustración se resuelve el problema de un viento embebido en un campo puramente radial. Los resultados obtenidos se discuten a la luz de las observaciones y de la estabilidad de los modelos.

## EVOLUCION DE ESTRELLAS MASIVAS DE POBLACION I

L. Althaus, O. G. Benvenuto (FCAGLP)

Se presentan los resultados evolutivos computados para estrellas masivas de **Población I** con masas desde 2 hasta  $60 M_{\odot}$  desde la secuencia principal de edad cero hasta el encendido de las reacciones de quema de carbono. Se ha calculado las opacidades radiativas a partir del trabajo de Rogers e Iglesias, el cual presenta grandes diferencias respecto de las tablas anteriormente consideradas. Las opacidades conductivas se tomaron de los trabajos de Hubbard y Lampe para bajas densidades y de los de Itoh para altas densidades. Las pérdidas de energía por emisión de neutrinos se tomaron a partir de los trabajos de Itoh. Las ecuaciones de evolución de las abundancias químicas se han resuelto a partir del esquema implícito de Arnett y Truran. Los *tracks* evolutivos obtenidos tienen una razonable concordancia con los que se encuentran en la literatura (por ejemplo los trabajos de Maeder y colaboradores) a pesar de que nuestro programa aún se encuentra en etapas de preparación.

## **NUEVAS MEDIDAS DE LA POLARIZACION LA SN 1987A**

O. Benvenuto, C. Feinstein, M. Mendez (FCAGLP, CIC, CONICET)

Se presentan nuevas medidas de la polarización de la SN 1987a. Estas indican que los efectos del material en la línea de la visual hacia SK -69° 202 es mayor que lo supuesto anteriormente. Se discute entonces cual fue la evolución de la polarización durante los primeros meses a partir de considerar una componente *foreground* diferente a la analizada en trabajos anteriores. Los resultados obtenidos indicarían que la componente observada en el segundo mes de la explosión podría ser explicada por inestabilidades Rayleigh-Taylor o por interacción con material que tendría la misma simetría que el anillo descubierto por el Space Telescope.

## **FOTOMETRIA CCD DE ESTRELLAS NSV**

C.E. Lopez , R. Gil Hutton (OAFSA , YSO)

Como parte de un programa destinado a efectuar un control estricto de los catálogos relacionados con estrellas variables (confirmadas o sospechosas), es que hemos iniciado la observación sistemática de estrellas NSV (New Suspected Variables) ubicadas en el hemisferio sur. El proyecto pretende confirmar definitivamente la supuesta variabilidad de dichas estrellas, mejorar cartas de identificación y suministrar, además, información astrométrica precisa.

## **A CODE TO COMPUTE STELLAR MASSES IN THE HR DIAGRAM**

G. Baume, S. Paoli, R.A. Vázquez, A. Feinstein (FCAGLP, PROFOEG -CONICET)

We describe a code to determine the initial and present mass of a star in the **HR** diagram. The code is based on an interpolation procedure between the two adjacent evolutionary tracks where the star is situated according to its luminosity and temperature (from  $M_v$  and  $CI$ ). With a few modifications the code may be used with any set of evolutionary tracks. The mass obtained from the present position of the star in the **HR** diagram, may be rather ambiguous considering that it can be positioned in any of all the possible loops predicted by the theory of the evolution. Our code takes into account all possible solutions.

## **PULSACIONES ESTELARES Y MATERIA EXTRAÑA**

R.O. Aquilano (IFIR, POAMR, IPSGSM), L.P. Neira (POAMR), H. Vucetich (FCAGLP, CONICET)

Las dificultades para explicar algunos aspectos de la supernovas Tipo II, hacen pensar que existen fenómenos físicos ignorados por los modelos. Una forma de materia con un contenido de extrañeza no nulo, y más ligada aún que el  $^{57}\text{Fe}$  puede ser la explicación. La detonación de materia nuclear a materia extraña en el corazón de una supernova puede explicar la explosión y predice que todas las estrellas compactas son estrellas extrañas y no estrellas de neutrones. El presente trabajo no pretende, en principio, demostrar que oscilaciones radiales en púlsares extraños sean "la explicación" para las oscilaciones cercanas al milisegundo observadas en algunos destelladores de rayos X y gamma ; sino que la intención es abrir tan sólo un interrogante más en este no tan claro problema de la astrofísica actual.

## **DINAMICA DE CASCARAS ESFERICAS RADIANTES Y DESTELLADORES DE RAYOS X**

R. O. Aquilano (IFIR, POAMR, IPSGSM), C. A. Montenegro (POAMR, IPSGSM)

Un modelo de cáscara esférica radiante moviéndose en un campo gravitacional intenso, desarrollado mediante el formalismo de la Relatividad General, es utilizado. Al modelo relativista se le obtiene su aproximación clásica y se hacen comparaciones entre las curvas de luminosidad obtenidas y los datos observacionales de destelladores de rayos X existentes . Los resultados indican un buen ajuste del medelo relativista .

## **EVENTOS ASTROFISICOS Y FORMACION DE ESTRUCTURA**

M.B. Mosconi, P.B. Tissera, D. García Lambas (OAC)

Se están estudiando los procesos astrofísicos vinculados a los eventos de explosión de supernova. En particular se analiza la posibilidad que la energía liberada pueda modificar la dinámica local en un esquema jerárquico de formación de estructura como el modelo *Cold Dark Matter*. Además, se está trabajando en la elaboración de un programa de cómputos basado en el esquema *particle - mesh* y que permita un tratamiento adecuado de las interacciones partícula - partícula en escalas menores que la resolución del potencial de la red. Esto permitiría un cómputo mas preciso de estos modelos.

## **FeII: DIAGNOSTICO DE ATMOSFERAS EXTENDIDAS**

S. Paoli (FCAGLP), L. Cidale (FCAGLP, CONICET)

Se propone estudiar la estructura de las atmósferas extendidas de las estrellas Be tempranas mediante el modelado teórico de las líneas del Fe II. Para calcular estas líneas resolvemos simultáneamente las ecuaciones de transporte radiativo y de equilibrio estadístico para átomos con muchos niveles de energía. El modelo de atmósfera adoptado es un medio que se expande con simetría esférica, compuesto por regiones con características termodinámicas distintas, lo que se refleja en la utilización de diferentes leyes de velocidad y temperatura. Mediante el ajuste de los perfiles calculados y los observados se discuten las condiciones físicas de las regiones de formación de las líneas.

## **MODELO PARA LA ATMOSFERA EXTENDIDA DE 48 LIBRAE**

A. Cruzado (FCAGLP)

El objeto de este trabajo fue construir un modelo de la atmósfera extendida de 48 Librae, incorporando los resultados de Cidale, sobre la influencia de las leyes de velocidad en el perfil de  $H_{\alpha}$ , y los resultados de Iglesias, sobre el balance energético en la atmósfera. Los datos observacionales utilizados fueron: imágenes del satélite IUE, perfiles de  $H_{\alpha}$ , y  $H_{\beta}$  obtenidos de distintas publicaciones, datos fotométricos, observaciones espectroscópicas realizadas en CTIO y polarización intrínseca. Con ellos se obtuvieron velocidades radiales, de rotación y Doppler, profundidad óptica, columna de átomos, temperatura de excitación y distancia al centro de la estrella de la región de formación de las líneas. Se discutieron las leyes de velocidad en el viento y se aplicó el modelo **RI** del modo en que lo hizo Fox. Se concluyó que las variaciones con el tiempo de un campo magnético pueden ser las responsables de los cambios periódicos observados en el espectro de la estrella.

## **EL ESPECTRO SINTETICO CALCULADO PARA DOS ESTRELLAS CP DEL GRUPO Hg -Mn: Mu LEPORIS Y 53 TAURI**

Z. López García (Oafa, CONICET), R. Faraggiana (UT)

Se comparan espectros IUE de alta dispersión de las estrellas del grupo Hg-Mn, Mu Lep y 53 Tau, en la región 150 nm -300 nm con espectros sintéticos NLTE calculados utilizando los modelos de Kurucz obtenidos con el programa ATLAS 9, que incluyen nuevas fuentes de opacidad que permiten obtener un buen ajuste en la región ultravioleta del espectro. Se determinan los parámetros atmosféricos y las abundancias químicas.

## **EVOLUCION ESTELAR DESDE LA RAMA HORIZONTAL**

L. Althaus, O.G. Benvenuto, A. García (FCAGLP)

Hemos calculado la evolución de una estrella de  $0.5 M_{\odot}$  de población I desde la rama horizontal (modelos con quema de He en el centro en condiciones no degeneradas con una envoltura rica en H). Se supuso que el núcleo de He contiene  $0.465 M_{\odot}$ . En este trabajo se completó la rutina que calcula el proceso de quema del He mediante la inclusión de las reacciones  $^{12}\text{C}(4\text{He},\text{G})^{16}\text{O}$  y  $^{16}\text{O}(4\text{He},\text{G})^{20}\text{Ne}$ . Las abundancias fueron calculadas mediante un esquema explícito basado en el método de Runge-Kutta de cuarto orden. Este esquema ha presentado algunas dificultades por lo que se lo ha reemplazado por un esquema implícito linealizado (Ver el trabajo *Evolución de estrellas masivas de población I*). El modelo inicial fue construido por el método de ajustes, y la evolución fue calculada hasta la aparición del primer pulso térmico, mas allá del agotamiento del He en el núcleo estelar. Se han encontrado inestabilidades, que deberían ser de origen numérico, durante el quemado de He. Estas se encontraron para abundancias menores de  $Y < 0.06$ , debido a un aumento en el tamaño del núcleo convectivo. Se presentan varios gráficos en que se detalla la evolución, la cual está en buen acuerdo con lo calculado por otros autores.

## **VALIDEZ DE LAS APROXIMACIONES TRADICIONALES DEL CAMPO DE RADIACION EN ATMOSFERAS ESTELARES EN EXPANSION**

M. Colazo (CONAE), L. Cidale (FCAGLP, CONICET)

Existen varias aproximaciones para describir el campo de radiación en atmósferas estelares extendidas. Frecuentemente, estas aproximaciones están basadas en consideraciones geométricas y/o en las propiedades ópticas del medio circumestelar. En este trabajo se estudió el comportamiento del campo de radiación estelar con la profundidad óptica monocromática para un viento no isotérmico que se expande con simetría esférica. Las curvas de intensidad media en función de la profundidad óptica, obtenidas con una solución rigurosa de la ecuación del transporte radiativo, son comparadas con las aproximaciones más utilizadas. Las discrepancias encontradas entre ambas soluciones dependen de la longitud de onda y se acrecientan para las longitudes de onda infrarrojas.

## EXPERIMENTACION CON ANALISIS DE ABUNDANCIAS QUIMICAS

S.J. Adelman (The Citadel), A.F. Gulliver (BU), Graham Hill (DAO), O. I. Pintado (CASLEO)

En los últimos años se ha mejorado la calidad de los espectros estelares, tanto por el uso de detectores electrónicos como por las técnicas desarrollada para el análisis de los datos. Los modelos de atmósferas estelares representan cada vez más fielmente los procesos físicos que en ellas ocurren, y las técnicas de sintetización de espectros permiten realizar un cálculo muy exacto de las abundancias químicas de las mismas. Usando estas técnicas es posible calcular abundancias usando un número limitado de líneas espectrales de buena calidad. Sin embargo, esto no se puede hacer cuando se usan líneas débiles, debido a los errores sistemáticos que presentan los valores de  $gf$  para esas líneas. Usando espectros de Reticon con un rango de  $6.7 \text{ \AA mm}^{-1}$  y  $2.4 \text{ \AA mm}^{-1}$  de dispersión, para un conjunto de estrellas con velocidades de rotación menores que  $25 \text{ km s}^{-1}$ , investigamos de que manera podemos determinar las abundancias en forma consistente y correcta, aun cuando los datos atómicos disponibles no sean de muy buena calidad.

### ESTUDIO DE LA ESTRELLA SIMBIOTICA CD -43°14304 EN UN AMPLIO RANGO ESPECTRAL (3700-10100 Å)

L. García (FCAGLP), E. Brandi (FCAGLP, CIC), R. Barbá (FCAGLP, CONICET)

**ABSTRACT.** The symbiotic star CD -43°14304 (Hen 1924) was observed with Reticon and CCD detectors (in 1990 and 1992, respectively) using a Cassegrain spectrograph attached to the 2.15m telescope at CASLEO, San Juan, Argentina. An important number of images were obtained covering the spectral range 3700-10100 Å. Previous spectroscopic data of this object are very scarce. Our images show a well defined continuum and the presence of TiO absorption bands corresponding to a K5 III cool component. Some absorption lines (*e.g.* Ca II H and K, Na I and many of Mg I, Fe I, etc.) appear weakened for this spectral type and no variations were detected over two years of observations. We have detected emission lines of H I (Balmer and Paschen series), He I, He II, O I 8446 Å, and emission bands at 6830 and 7088 Å. No forbidden emission lines were observed. Emission line intensities were increased in 1992 respect to 1990. There are no appreciable differences in radial velocities seen over the time elapsed between the observing runs.

RESUMEN. La estrella simbiótica CD -43<sup>o</sup>14304 (Hen 1924) fue observada con el espectrógrafo Cassegrain adosado al telescopio de 2.15m del CASLEO, utilizando como detectores a un Reticon de dos canales (Z-Machine) y un CCD Thomson en 1990 y 1992, respectivamente. Las imágenes cubren el rango espectral entre 3700 y 10100 Å. En ellas se advierte un continuo de origen estelar bien definido que, junto a la presencia de bandas en absorción de TiO sugieren un tipo espectral K5 III para la componente fría, que no varía en el lapso de los dos años que separan a los dos grupos de observaciones. Algunas líneas en absorción (*e.g.* Ca II H and K, Na I and many of Mg I, Fe I, etc.) aparecen debilitadas respecto a lo esperado para este tipo espectral. Se detecta la presencia de líneas en emisión de H I (series de Balmer y Paschen), He I, He II, O I 8446 Å y las bandas en emisión en 6830 y 7088 Å. La intensidad de estas emisiones se incrementó entre 1990 y 1992, fundamentalmente He I. No se detecta la presencia de líneas prohibidas en emisión. Las velocidades radiales no muestran diferencias apreciables (en la dispersión media utilizada) en los dos años de observación.

Velocidades radiales de CD -43<sup>o</sup>14304

| D.J.H.     | H I    | He I   | He II  |
|------------|--------|--------|--------|
| 2 448 000+ | [km/s] | [km/s] | [km/s] |
| 080        | 45     | 36.16  | -      |
| 117        | 41.4   | 26.8   | 28.4   |
| 201        | 41.3   | 26.5   | 29.5   |
| 845        | 28.8   | 40.11  | 30.7   |



## KX TRA y HE-127: DOS ESTRELLAS SIMBIOTICAS DE ALTA EXCITACION

E. Brandi (FCAGLP, CIC), L. García (FCAGLP), R. Barbá (FCAGLP, CONICET)

**ABSTRACT.** These two high excitation symbiotic stars were included in the observing programme of spectroscopic research of southern symbiotic stars, carried out in CASLEO, with 2.15m telescope, during 1990 and 1991. The observed spectral region ( $\sim 4400-7200 \text{ \AA}$ ) showed several emission lines of allowed and forbidden transitions with a broad ionization range. The wavelength and flux calibrated images of both stars were analyzed in order to obtain radial velocities, equivalent widths and intensities of the emission features. The intensities of the red continuum and the molecular bands, allowed us to give the spectral type of the late type companion in these systems.

**RESUMEN.** Estas dos sistemas simbióticas de alta excitación fueron observadas durante 1990 y 1991 con la Z-Machine en el telescopio de 2.15m del CASLEO, cubriendo dos regiones espectrales:  $\sim 4400-5100 \text{ \AA}$  y  $5700-7200 \text{ \AA}$ . KX TrA muestra un espectro muy rico en líneas de emisión de elementos que abarcan un amplio rango de ionización como: H, He I, He II, [O I], [O III], [Ne IV], Si II, [Ca VII], Ti II, Fe II, [Fe II], [Fe VI], [Fe VII] y las bandas asociadas a dispersión Raman de fotones UV de O VI por H I,  $6830 \text{ \AA}$  y  $7088 \text{ \AA}$ . El espectro continuo de KX TrA en la región observada indica un tipo espectral no más tardío que M3, pero esta clasificación no es precisa debido a la contribución de un continuo más azul que disminuye la intensidad de las bandas de TiO (Kenyon (1986), la clasificó como M6). Entre 1990 y 1991 no se observan variaciones apreciables en las intensidades de las líneas de emisión. Comparando nuestras mediciones con las realizadas por otros autores, evidencian una marcada disminución de los flujos relativos a H $\beta$  (*e.g.* la relación HeII4686/H $\beta$  para 1965, 1972, 1986, 1990 y 1991 dan 0.5:, 0.95, 0.90, 0.58 y 0.41, respectivamente). En He2-127, además de las emisiones de H, He I, He II y Fe II, se encuentran presentes varias emisiones prohibidas tales como: [N II], [N V], [O I], [O III], [A III], [A V], [Ca VII], [Fe II], [Fe VI], [Fe VII]. También están presentes las bandas presumiblemente originadas por dispersión Raman en  $6830 \text{ \AA}$  y  $7088 \text{ \AA}$  y, siendo la primera la emisión más intensa, después de H alpha, en la región roja del espectro. Además, esta banda presenta una asimetría hacia el azul y el ancho de las alas se extiende en 1200 km/s. Las relaciones de intensidades con respecto a H $\beta$  no muestran variación entre 1990 y 1991. A partir de nuestras imágenes se puede sugerir un tipo espectral más tardío que M4 para la componente roja del sistema.

## OSCILACION DE PERFILES DE LUMINOSIDAD Y CONTRACCION DE ESFERAS RADIANTES EN RELATIVIDAD GENERAL

R.O. Aquilano (IFIR, POAMR, IPSGSM), A. Melfo, L.A. Nuñez (ULA)

Para estudiar la evolución de esferas radiantes en relatividad general cuando es impuesto un específico esquema de contracción y un particular perfil oscilatorio de radiación, se utiliza un método numérico ideado por Herrera, Jiménez y Ruggeri. Se consideran y estudian tres casos particulares: el del límite estático de una solución homogénea del Schwarzschild, que representa un fluido incomprensible de densidad constante; la ecuaciones de estado para una solución estática de Toldman VI, cercana a un gas de Fermi altamente relativista; y finalmente la solución de Toldman V, donde la relación  $P/\rho \sim 1/3$  es mantenida durante la contracción al centro de la distribución. Se encuentra que la frecuencia de pulsación coincide con la correspondiente oscilación de la superficie de una estrella de neutrones.

# **SISTEMAS ESTELARES**



## **OSCILACIONES RADIALES DE SISTEMAS ESTELARES ESFERICOS.**

J.C. Muzzio, J.A. Núñez , A.R. Plastino (FCAGLP , PROFOEG- CONICET)

Aunque el uso del teorema del virial para determinar condiciones de equilibrio de sistemas estelares es muy frecuente, no está tan difundida su aplicación para analizar oscilaciones de esos mismos sistemas, aún cuando la misma es conocida desde hace tiempo (S. Chandrasekhar y D.D. Elbert, 1972, M. N. R. A. S. 155, 435). El muy reciente estudio numérico de W.L. Sweatman (1993, M. N. R. A. S. 261, 497) ha vuelto a poner sobre el tapete el problema de las oscilaciones radiales de sistemas esféricos. Hemos retomado y extendido la técnica de Chandrasekhar y Elbert para estudiar este problema, extendiéndolo con las técnicas de dinámica no lineal a situaciones caóticas y de inestabilidad.

## **RELAJAMIENTO NO COLISIONAL DEBIDO AL NUMERO FINITO DE PARTICULAS**

J. C. Muzzio, S. A. Cora, M. M. Vergne (FCAGLP, PROFOEG-CONICET)

En un sistema compuesto por un número finito de estrellas el potencial varía con el tiempo a causa de las fluctuaciones estadísticas de dicho número en diferentes regiones, por lo que las energías de las estrellas individuales se van modificando. Utilizamos simulaciones numéricas realizadas empleando códigos multipolares (de L.A. Aguilar) y de suma directa (de S.J. Aarseth) para mostrar que se produce un efecto de relajamiento significativo y que difiere del causado por los encuentros interestelares. En particular, en tanto que los efectos colisionales dependen de las masas individuales de las estrellas, los efectos debidos al número finito de objetos son independientes de dichas masas. También hallamos una considerable dependencia de los efectos de relajamiento con la distribución de velocidades, aumentando notablemente esos efectos cuando, en vez de distribuciones isotrópicas, se consideran distribuciones con predominio de velocidades radiales.

## **MOVIMIENTO ESTOCASTICO EN UN CAMPO CENTRAL CON UNA BARRA DEBIL SIN ROTACION**

J.A. Núñez, P.M. Cincotta, J.C. Muzzio (FCAGLP, PROFOEG- CONICET)

Presentamos un nuevo método para evaluar el comportamiento global de órbitas en un potencial dado, mediante el cómputo de la entropía del mapa de Poincaré para un conjunto dado de condiciones iniciales. Utilizamos este método para evaluar el grado de estocacidad global del movimiento en un campo central perturbado por una barra débil sin rotación. Nos interesa particularmente hallar condiciones iniciales adecuadas para que se produzca la inestabilidad de órbitas radiales, mostrando nuestros resultados que la estocacidad juega un papel primordial en este problema.

## **BUSQUEDA DE POLVO EN EL CUMULO GLOBULAR 47 TUCANAE**

L. P. Bassino, J. C. Forte, M. Mendez (FCAGLP, CONICET), E. I. Vega (IAFE, CONICET)

Se presenta un análisis de datos CCD (bandas UBVR) del cúmulo globular NGC 104 (47 Tuc). Mediante técnicas de procesamiento de imágenes es posible resaltar zonas del cúmulo en las que se producen disminuciones de brillo (posible extinción) en el perfil de la componente estelar no resuelta. Para cada candidato a nube de polvo se analiza el comportamiento de la extinción aparente en función del color, y se compara con modelos sencillos que tienen en cuenta absorción y scattering, según una ley determinada. Por otra parte se presentan datos polarimétricos de unas 50 estrellas individuales en el campo del cúmulo, incluyendo algunas variables identificadas previamente. Una de estas últimas muestra una polarización muy alta (unas 5 veces mayor que la del resto de las estrellas medidas), lo que sumado a la dependencia de esta polarización con la longitud de onda, sugiere que la estrella está atravesando una etapa de pérdida de masa. Se discute la implicancia de este resultado respecto del origen de nubes de polvo en cúmulos globulares.

## LOS BRAZOS ESPIRALES DE LA VIA LACTEA

A. Feinstein (FCGALP, CONICET)

Mediante el análisis de los datos referentes a unos 40 cúmulos abiertos muy jóvenes, con edades menores de diez millones de años, se determina la posición de los brazos espirales de la Galaxia y sus dimensiones, lo mismo que los valores de la absorción interestelar. Igualmente se estudia las características de las estrellas más brillantes de los mismo cúmulos abiertos, en especial de las estrellas O, Of y WR. Dos cúmulos abiertos, NGC 3603 y Ru 44 presentan discordancias muy fuertes entre las determinaciones de distancia de distintos observadores.

## ESTUDIO DE LAS ASOCIACIONES PUPPIS OB1-OB2 Y DEL CUMULO RUPRECHT 55

A.M. Orsatti (FCAGLP)

Con el objeto de mejorar el conocimiento de la estructura espiral en la región de Puppis ( $230^\circ \leq l \leq 260^\circ$ ) de la Vía Láctea Austral, se ha desarrollado una búsqueda y estudio de nuevos indicadores espirales (en particular estrellas OB), en aquella parte del plano galáctico conocida como Ventana de Puppis ( $l = 245^\circ$ ) por su baja absorción a grandes distancias del Sol. En este Informe de Trabajo se exponen los resultados correspondientes a las asociaciones Puppis OB1-OB2 y al cúmulo Ruprecht 55. Como resultado de una búsqueda de estrellas OB realizada en placas de prisma objetivo delgado, con respecto a la región cubierta por Puppis OB1 y OB2 se pudieron detectar 24 y 55 posibles nuevos miembros, respectivamente. Con fotometría fotoeléctrica y fotográfica se encuentra que Puppis OB1 se extendería ahora también hacia latitudes positivas, a diferencia de lo conocido previamente, pero manteniéndose la ausencia de algún tipo de concentración marcada. Acerca de Puppis OB2, la mayoría de los objetos detectados se dispersan a lo largo de la visual dirigida hacia su núcleo, Ruprecht 44, en una distancia de aproximadamente 3 kpc. Las conclusiones sobre Ru 55 señalan la inexistencia del cúmulo como entidad física, reemplazado por dos grupos de estrellas jóvenes, visualmente superpuestos y con módulos de distancia  $V_0 - M_V$  de 13.0 y 14.3 mag, lo que los situaría a uno de ellos sobre la extensión del brazo de Perseo y al otro sobre el brazo +II.

## DEEP PHOTOMETRY IN THE CORE OF THE OPEN CLUSTER NGC 5606

R.A. Vazquez, A. Feinstein (FCAGLP, PROFOEG - CONICET), G. Baume (FCAGLP), P. Prado (UTSO)

La zona central del cúmulo abierto NGC 5606 fue re-observada con fotometría CCD de banda ancha UBVRI. Se encontraron miembros potenciales del cúmulo hasta  $V = 18.5$  que definen una clara secuencia principal aunque no muy bien poblada. Esta nueva fotometría nos permite mejorar el módulo de distancia del cúmulo que se ubica en  $V_0 - M_V = 12.00$ . El enrojecimiento medio es  $E(B-V) = 0.55$  y la edad calculada con ajuste de isocronas computadas con pérdida de masa y overshooting está entre  $6.3$  y  $7 \times 10^6$  años. Se discute la *Función Inicial de Masa* de este cúmulo.

## CCD PHOTOMETRY OF GLOBULAR CLUSTER SYSTEMS: THE BACKGROUND REMOVAL PROBLEM

P.G. Ostrov (FCAGLP, CONICET)

A semi-analytic model to adjust the profile of the halo light of NGC 1399 was constructed. A comparison with the images in which halo light was subtracted using median filtering allows us to verify the following advantages: a) A semi-analytic model permits us to remove the halo light even very close to the center, where the luminosity gradient is very strong. b) The "bleeding" do not cause any problem and can be further subtracted. c) The extended sources are not distorted and aperture photometry on it is feasible.

In order to construct the model, the following procedure was carried out: 1) Median filtering was used to obtain an image in which the positions and dimensions of features such as extended sources, bleeding, etc., which could unsettle the bright profile adjustment, were identified. The signal belonging to these regions was replaced with those belonging to symmetrically opposed areas respect to the approximate galactic centroid position. 2) In order to decrease the noise, median filtering with a very small window was applied on the resultant image. This image was used for the construction of the semi-analytic model. 3) It was imposed that isophotes are ellipses, leaving as free parameters the position angle, the semi-axis relation, the central coordinates and the size. For each isophote it was obtained: The brightness in ADUs, the central coordinates  $(X_0, Y_0)$ , the position angle  $\varphi$ , the semi-axis relation  $b/a$ , and the size  $\sqrt{ab}$ . 4) The model was constructed by interpolation using this table, and subtracted from the original image. 5) The bleedings were subtracted adjusting a function with shape  $I = I_0 / (Y - Y_0)^n$ .

*I acknowledge the help of Daniel Carpintero with the Salford's Fortran 77 programming.*



## A STUDY OF THE DARK PATCHES NGC 2209

P.G. Ostrov, J.C. Forte (FCAGLP, CONICET)

The globular cluster NGC 2209, belonging to the LMC, shows a striking "hole" in which there are no stars, as well as some other less evident structures. Roberts (1960), Kanagy and Wiatt (1978) concluded that it is very unlikely that such "holes" are caused by statistical fluctuations in the distribution of bright stars. Dottori, Melnick and Bica (1987) carried out a CCD photometry in the B,V and I bands, determining that stars superimposed with the patch are unreddened. Our photometry confirms this result, suggesting that the patches are originated by a cloud of dark matter in the interior of the cluster. In Fig.1, are shown the positions of two stars in the most evident hole. Fig. 2, shows the positions of these stars in the  $T_1$  vs  $(C - T_1)$  diagram. The observations were carried out with the 1.5 m telescope at the CTIO. CCD frames of NGC 2209 were obtained in the C,M, and  $T_1$  bands of the Washington's photometry System. The photometry was carried out using DAOPHOT. In order to avoid large errors in the sky value determination in more crowded regions toward the center of the cluster, a model of the sky brightness due to unsolved stars was constructed.

### References

- Dottori H., Melnick J., Bica E. (1987) Rev. Mex. Astron. Astrof. 14,183  
Kanagy S.P., Wiatt S.P. (1978) A.J. 83(7),779.  
Roberts M.S. (1960) A.J. 65, 457.

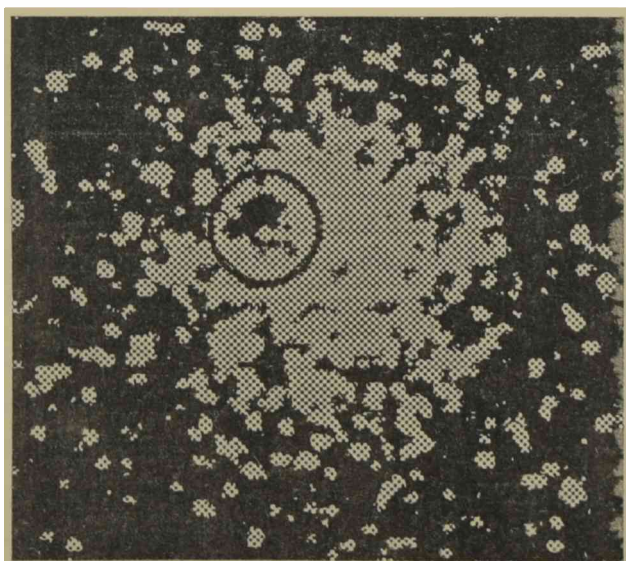


Fig.1

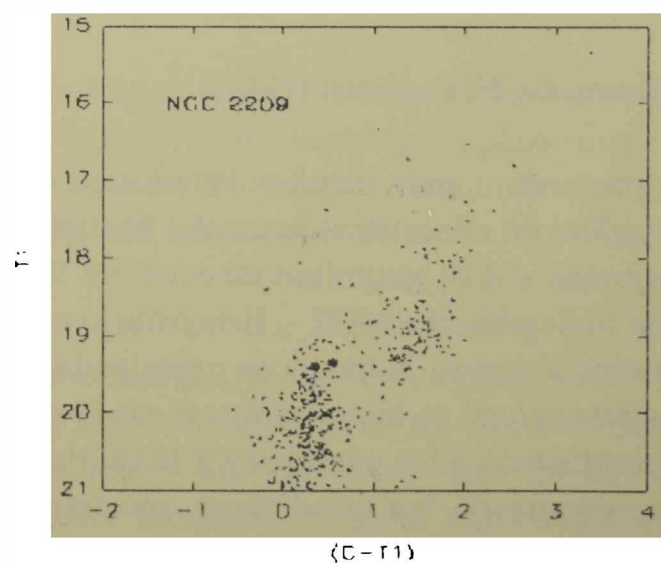


Fig.2

## ESTUDIO DE VELOCIDADES RADIALES EN NGC 6611

N. Morrell (FCAGLP, CONICET), G. Bosch (FCAGLP), V. Niemela (IAFE, CIC)

El cúmulo abierto NGC 6611 es un objeto notable por su extremada juventud, evidenciada por la presencia de dos estrellas O5V entre sus miembros. La comparación de datos fotométricos con modelos numéricos sugiere para algunas de sus estrellas masas entre 160 y 170 ( $M_{\odot}$ ) (Thé et al, 1990, A&A S 82, 319). Para explorar la posibilidad de que los objetos cuyas luminosidades indican masas muy grandes sean en realidad sistemas múltiples, hemos iniciado un estudio de velocidades radiales entre los miembros más tempranos de este cúmulo. Del mismo, además del conocimiento de binarias en la muestra, podremos derivar la velocidad radial del conjunto estelar. Hemos observado, en NGC 6611, 10 estrellas cuya clasificación espectral corresponde al tipo O. Las observaciones se realizaron en CASLEO, con el espectrógrafo Cassegrain + detector CCD, en una dispersión de 29 Å/mm y relación señal/ruido del orden de 100. Se obtuvieron en promedio 12 espectros por estrella y al mismo tiempo se monitorearon otras estrellas tempranas de velocidad radial constante. Las reducciones se realizaron en la FCAGLP, utilizando el software IRAF en la computadora HP Apollo, equipo con el cual se llevaron a cabo las mediciones. De las 10 estrellas estudiadas, encontramos que al menos 3 son binarias.

## EXTENSION DEL CATALOGO DE BLUE STRAGGLERS EN CUMULOS ABIERTOS

J. Ahumada, E. Lapasset (OAC)

Se presenta un estudio estadístico de las características observacionales de *blue stragglers* en cúmulos abiertos del hemisferio norte, basado en la inspección visual de los diagramas color -magnitud de más del 90 % de los cúmulos con fotometría realizada hasta diciembre de 1992. Este trabajo completa el relevamiento de *blue stragglers* en cúmulos abiertos, habiéndose examinado un total de 420 cúmulos de todo el cielo. Los *blue stragglers* se han clasificado en 3 categorías de acuerdo a la probabilidad estimada de pertenencia a los cúmulos y a la calidad de las observaciones. Con los nuevos datos se han actualizado las estadísticas, mostrándose las relaciones entre el número de *blue stragglers* y las edades de los cúmulos, entre el número de *blue stragglers* y el número de estrellas normales en los cúmulos, y también el grado de concentración de los *blue stragglers*, en varios intervalos de edad de los cúmulos.

## **BINARIDAD Y VARIABILIDAD EN CUMULOS ESTELARES**

J.F. González, E. Lapasset (OAC)

Se ha iniciado un estudio de estrellas previamente catalogadas o mencionadas en la literatura como posibles variables en las regiones de cúmulos abiertos y globulares. Nuestro interés se centra en la secuencia principal y el objetivo que se persigue es contribuir al conocimiento sobre binaridad y variabilidad en esa etapa evolutiva. Se presenta un primer recuento de las variables y su clasificación preliminar; se encuentra una apreciable cantidad de binarias eclipsantes y, en mucha menor medida, variables de tipo Gama Cas, Delta Scu, SX Phe, etc. Se espera próximamente definir probabilidades de pertenencia con el propósito de ampliar las estadísticas relativas a cada tipo de objetos y su conexión con parámetros fundamentales de los cúmulos.

## **MEMBERSHIP, CHEMICAL COMPOSITION AND BASIC PARAMETERS OF STARS IN THE SOUTHERN OPEN CLUSTER IC 2714**

J.J. Clariá, A.E. Piatti (OAC, CONICET), D. Minniti (SO)

Results obtained at Cerro Tololo Inter-american Observatory (Chile) and the Complejo Astronomico El Leoncito (Argentina) from UBV, DDO, and Washington photometry of stars in the unstudied open cluster IC 2714 are presented. New UBV photometry of 204 stars in the cluster vicinity allowed us to identify 132 cluster members - including 1 photometric variable - and 13 probable members. The analysis of the data yields  $E(B-V) = 0.36 \pm 0.03$  and  $V_0 - M_V = 10.60$  ( $1320 \pm 110$  pc) for the reddening and true distance modulus, respectively. The slope of the luminosity function agrees well with that obtained by Taff (1974, AJ 79, 1280) averaged over 62 open clusters. Photometric membership criteria applied to the yellow and red stars observed in the cluster field confirm that 11 stars are red cluster members, in good agreement with unpublished Coravel radial velocity measurements. IC 2714 is chemically homogeneous, the mean  $[Fe/H]$  being  $-0.13 \pm 0.11$ . An age of 350 million years has been derived from models taking into account mass loss and moderate overshooting. This paper will appear in Astronomy & Astrophysics Supplement Series.



# **GALAXIAS Y COSMOLOGIA**



## **GALAXIAS DE BAJO BRILLO SUPERFICIAL EN EL CUMULO DE FORNAX**

S.A. Cellone, J.C. Forte (FCAGLP), D. Geisler (CTIO)

Como parte de un trabajo más extenso destinado al estudio de las propiedades estructurales y de la población estelar en galaxias enanas de bajo brillo superficial, se analizan los resultados de la fotometría superficial en el sistema de Washington de una muestra de 15 de estas galaxias pertenecientes al cúmulo de Fornax. Las observaciones, consistentes en imágenes CCD en las bandas C, M y  $T_1$ , fueron obtenidas en dos turnos (octubre 1989 y noviembre 1990) en el Observatorio Interamericano de Cerro Tololo. Del análisis cuantitativo de los perfiles de brillo surge que existe una correlación entre la forma del perfil y la luminosidad de la galaxia. Sin embargo, se muestra que esta correlación podría deberse a efectos de selección. Estos surgen porque, al inspeccionar placas fotográficas de gran campo procurando formar una muestra homogénea de galaxias, se tienden a seleccionar objetos de brillo superficial promedio dentro de un rango muy estrecho. En cuanto a los colores integrados, el índice  $(C - T_1)$ , que es un buen indicador de metalicidad, muestra que la misma crece con la luminosidad de la galaxia, extendiendo la relación conocida para las enanas del Grupo Local. Por otra parte, no se detectaron gradientes de color significativos (más allá de los introducidos por errores instrumentales) en 14 galaxias de la muestra, indicando que en las mismas las poblaciones están homogéneamente distribuidas. Solo en la más brillante de las enanas (con evidencia independiente de formación estelar reciente) se midieron colores más azules en su zona central.

## **EVOLUCION DE SISTEMAS DE GALAXIAS EN EL MODELO CDM**

P.B. Tissera, D. G. Lambas, M. G. Abadi (Programa IATE, CONICET, OAC)

Se realizaron simulaciones numéricas de N-cuerpos para estudiar la evolución de sistemas de galaxias en el contexto teórico del modelo CDM (*Cold Dark Matter*) con la normalización impuesta por la reciente determinación de las fluctuaciones en la temperatura de la radiación de fondo. Se implementaron modelos de formación de galaxias suponiendo un enfriamiento instantáneo del gas en regiones cuyo contraste de densidad local es alto. Los modelos analizados incluyen los efectos de fusión de galaxias, la acreción de gas y la inyección de energía al medio intergaláctico debido a vientos de supernovas. Los resultados obtenidos permiten dar cuenta de la relación observacional Tully-Fisher para galaxias espirales y del extremo débil de la función de luminosidad; como así también de la aparente disminución en la eficiencia de formación de galaxias en sistemas ricos. Los modelos no sustentan la existencia de efectos sistemáticos entre la dispersión de velocidades peculiares de las galaxias y la materia oscura indicando una gran dificultad del modelo CDM para reproducir las observaciones.

## SUPRESION DE LA INESTABILIDAD DE BARRA EN LA FORMACION DE GALAXIAS

D. D. Carpintero, J. C. Muzzio (FCAGLP, PROFOEG-CONICET)

L. A. Aguilar y D. Merritt (1989, Ap. J., 354, 33 ) mostraron que el colapso de material protogaláctico inicialmente esférico resultaba en sistemas triaxiales, debido al efecto de la inestabilidad de órbitas radiales. Sugirieron entonces que la inestabilidad podía evitarse agregando dispersión de velocidades o rotación al material protogaláctico; sin embargo, los valores necesarios para ello son demasiado grandes de acuerdo a las teorías actuales. En lugar de considerar simples colapsos, este trabajo tiene en cuenta que el material protogaláctico participaba de la expansión de Hubble (es decir, se incluyen los efectos del "colapso secundario" propuesto por J. E. Gunn y J. R. Gott III, 1972, Ap. J. 176, 1). Además, el material protogaláctico es modelado de acuerdo a varias leyes de densidad, que dan cuenta de las inhomogeneidades presentes en la época de formación de galaxias. Los resultados muestran que la inestabilidad de órbitas radiales es suprimida por la acción combinada de las inhomogeneidades del material protogaláctico (que producen agrupamientos de partículas cuya interacción altera la simetría esférica y las órbitas radiales necesarias para la inestabilidad) y el colapso secundario (que permite que el colapso dé tiempo a los agrupamientos para formarse). En resumen, partiendo de condiciones iniciales razonables de acuerdo a las teorías actuales, los colapsos no disipativos no necesariamente producen sistemas triaxiales.

## FUNCION DE LUMINOSIDAD DE GALAXIAS TEMPRANAS

D. G. Lambas, M. Nicotra, H. Muriel (OAC, Programa IATE - CONICET)

En este trabajo se estudia la función de luminosidad de galaxias tempranas (Elípticas + S0) para una muestra extraída del catálogo de galaxias brillantes APM. Este catálogo provee magnitudes aparentes  $B_j$  con precisión de 0.1 mag lo cual permite en base a corrimientos al rojo contar con una razonable muestra de magnitudes absolutas. La mayor parte de los corrimientos al rojo fueron obtenidos en el CASLEO utilizando el equipo Z-machine, los restantes corresponden a determinaciones realizadas por otros autores. La muestra total consiste en 785 galaxias tempranas. Para la función de luminosidad se adopta la forma dada por Schechter (1976):

$$\phi(L)dL = \phi^* \left(\frac{L}{L^*}\right)^\alpha \exp\left(-\frac{L}{L^*}\right) d\left(\frac{L}{L^*}\right).$$
 Para determinar los parámetros de forma  $\alpha$  y

$M^*$  se presenta una técnica consistente en una combinación del método de máxima probabilidad y simulaciones Montecarlo. Esta técnica permite un adecuado tratamiento de efectos sistemáticos y estimas de errores. Se discuten las implicancias cosmológicas de los parámetros encontrados.



## **¿PUEDEN NUCLEOS DE GALAXIAS ENANAS DAR ORIGEN A CUMULOS GLOBULARES?**

L. P. Bassino, J. C. Muzzio, M. Rabolli (FCAGLP)

Las galaxias elípticas gigantes pueden tener una población del orden de miles de cúmulos globulares, tal como M87 en el centro del cúmulo de Virgo, mientras que otras galaxias, como la Vía Láctea, solo poseen unos cientos de ellos. Una posible explicación del origen de sistemas de cúmulos globulares tan numerosos es que parte de los mismos sean núcleos de galaxias enanas nucleadas, que originariamente pertenecían al cúmulo de Virgo y luego fueron capturadas por M87, perdiendo durante el proceso sus capas exteriores. Se realizaron simulaciones numéricas con la finalidad de comprobar si dicho mecanismo es factible y los resultados indican que los núcleos de las galaxias enanas nucleadas logran sobrevivir mientras que las galaxias enanas no-nucleadas se desintegran completamente después de algunos pasajes pericéntricos. Para obtener remanentes similares a cúmulos globulares, tanto en tamaño como en luminosidad, se necesitan distancias pericéntricas cortas, pues los pasajes distantes dan como resultado remanentes al menos un orden de magnitud mayores. Para poder dirimir la cuestión sería útil realizar una búsqueda de remanentes grandes en los alrededores de M87.

## **ESCENARIOS COSMOLOGICOS CON DISTINTOS PARAMETROS DE DENSIDAD**

M.A. Nicotra, Mario G. Abadi, D.G. Lambas (OAC)

Se están analizando diferentes escenarios cosmológicos con distintos parámetros de densidad compatibles con las determinaciones del espectro primordial de fluctuaciones, el contenido de material bariónico en cúmulos de galaxias y los resultados de la teoría de nucleosíntesis, el campo de velocidades peculiares de galaxias y su distribución espacial. Además, se está trabajando en la elaboración de un programa de cálculo de N-cuerpos basado en el esquema *particle - mesh* y que permite un tratamiento más exacto de las interacciones partícula - partícula en escalas menores que la resolución numérica del potencial de la red.

## **DECAIMIENTO COMPLEJO EN UN MODELO COSMOLOGICO**

M.A. Castagnino (FCEyN, CONICET), L.P. Lara (FCEeI) (FCByF)

A través de la mecánica cuántica hemos desarrollado un modelo simplificado del Universo para estudiar la vida del mismo. El modelo es una combinación lineal de barreras de potencial rectangular, minimizándose el número de parámetros que lo describen. El mismo es utilizado como primera aproximación para comprender las soluciones de la Ecuación de Einstein del Universo, en una dimensión. Se determinó el espectro de autovalores complejo en el espacio de Hilbert Equipado y los coeficientes de transmisión mediante métodos numéricos dado que las ecuaciones en el plano complejo son fuertemente no lineales. Hemos demostrado que para autovalores del Hamiltoniano, cuya parte real está por debajo del máximo de energía de la barrera se obtienen estructuras resonantes. Además, como es usual en los potenciales inestables, la parte imaginaria de los autovalores es discreta.

## **ESTUDIO ESPECTROSCOPICO DE GALAXIAS IRAS**

E.L. Agüero, J.H. Calderón, S. Paolantonio (OAC, CONICET),  
F. Suárez (OAC)

Las galaxias IRAS 0523-4602, 1105-1131, 1124-2859, 1232-3938, 1238-3628, 1250-4121 y 1305-2407, seleccionadas de la lista de candidatos AGN de Grijp et al., son estudiadas en el rango óptico en base a observaciones realizadas en el CASLEO con espectrógrafo y Z-Machine. De acuerdo a las características espectrales analizadas, y a los datos existentes en el infrarrojo, las mismas son clasificadas según su grado de actividad nuclear, estableciéndose los principales mecanismos de excitación actuantes. Se determinan además las temperaturas medias del gas y velocidades radiales.

## SURVEY $H_{\alpha}$ DE LAS NUBES DE MAGALLANES

G. Goldes (OAC CONICET), A. Laval (OM), E. LeCoarer (OG),  
Y.P. Georgelin, M. Marcelin (OM),  
G. Carranza (OAC CONICET),  
P. Amram, J. Boulesteix, Y.M. Georgelin (OM),  
M. Rosado (UNAM)

A partir del año 1989 se puso en marcha el "Survey  $H_{\alpha}$ " que consiste en un relevamiento sistemático de ambas Nubes de Magallanes y de la Vía Láctea Austral en la línea  $H_{\alpha}$  mediante la utilización de un sistema de espectroscopia tridimensional interferencial Fabry-Perot a barrido piezoeléctrico que se utiliza en asociación con una cámara de TV en modo conteo de fotones y cuya lectura se realiza en forma sincronizada con el barrido en espesor del interferómetro. Una combinación como la citada permite el completo desacople de la información espacial y espectral. La información cruda se organiza en cubos de datos de dos dimensiones espaciales y una tercera en longitudes de onda. El campo del instrumento es de  $38' \times 38'$  con pixeles de  $9''$ , el orden del interferómetro es 796 en  $H_{\alpha}$  y la resolución espectral efectiva del orden de 10 000. El sistema se halla montado en forma permanente en el Observatorio La Silla (Amram et al. 1991).

Se pretende con este programa de largo aliento realizar una cobertura completa de ambas Nubes de Magallanes y de buena parte de la Vía Láctea Austral, que permita mejorar el conocimiento morfológico y cinemático detallado de estas galaxias, así como brindar una imagen de conjunto acerca del comportamiento cinemático y dinámico de las mismas. Se cuenta con software específico de diseño ad-hoc que permite la pre-reducción en tiempo real de las observaciones sobre un sistema VME-DOS así como la reducción definitiva tanto en PC-DOS como en SUN-UNIX. Dichos programas se utilizan para el cálculo del mapa bidimensional de orígenes en longitud de onda (carta de fases), las correcciones fotométricas por efectos instrumentales (flat-field y dark), sustracción de las líneas del cielo nocturno, sustracción del continuo, análisis y decomposición de perfiles espectrales en sus componentes individuales, cálculo de mapas monocromáticos, mapas de velocidades radiales, cortes en longitudes de onda (similares a los habituales en radioastronomía), cálculos de flujos monocromáticos, etc.

Estado del proyecto:

**Vía Láctea**. Se han completado unas 150 observaciones de regiones centradas en el disco galáctico y para las siguientes longitudes: 234, 283, 290, 298, 301, 305, 308, 311, 317, 328, 335, 338 y 350 grados, lo cual representa aproximadamente un 70 % del programa propuesto originalmente. Dichas zonas fueron escogidas por su riqueza en regiones H II y por su posición estratégica para la discriminación de los diferentes brazos espirales

superpuestos a lo largo de la visual. Se pretende de esta forma completar y precisar el modelo de Galaxia de cuatro brazos espirales de Georgelin y Georgelin (1976). Se han detectado asimismo contrapartes ópticas de radiofuentes conocidas en H 109  $\alpha$  .

**Nube Menor.** Su cobertura en H  $\alpha$  ya fue completada. Se confeccionó un catálogo de regiones H II en el que se incluyen velocidades radiales baricéntricas y brillos superficiales; dicho catálogo contiene 143 de las 167 regiones catalogadas por DEM (1976) (Ver LeCoarer et al. 1993). Además de las mismas, se detectaron estructuras débiles no mencionadas en DEM, así como una emisión difusa generalizada del H ionizado. Dicha emisión presenta estructura espectral compleja de componentes múltiples, en contraste con las nebulosas localizadas que presentan una componente única cuya velocidad radial correlaciona satisfactoriamente con la velocidad local del H neutro. El campo de velocidades radiales del H ionizado muestra por otra parte un marcado gradiente a lo largo de la barra, que sería a priori indicativo de un comportamiento rotacional.

**Nube Mayor.** Se cuenta con unos 50 campos observados en H  $\alpha$  y en orden 796. Se dispone además de unas 15 observaciones en orden 2.604 para una mayor resolución espectral. Se han realizado asimismo observaciones en [O III] (5007 Å). Se intenta echar luz sobre el comportamiento cinemático, características y origen probable de las llamadas "burbujas supergigantes", estructuras aparentemente esferoidales de 600 a 1400 pc de diámetro (Meaburn 1980). Las escalas en las que estos objetos existen son netamente diferentes a aquellas en las cuales se presentan las burbujas gigantes normales (de hasta 200 pc de diámetro) y cuyo origen suele atribuirse a explosiones de supernova o a vientos estelares de estrellas O B. Esta diferencia de escalas considerada conjuntamente con una gran velocidad actual de expansión bien podrían indicar que los mecanismos que llevaron a la formación de las burbujas "normales" y de las supergigantes podrían también ser diferentes. Se ha comenzado a estudiar en detalle la superburbuja LMC 1, en base a observaciones llevadas a cabo en diferentes misiones. Se ha estudiado también en detalle la región de N 11 (DEM 34), una de las nebulosas de mayor brillo superficial y extensión de la Nube Mayor, región de formación estelar reciente y de grandes turbulencias.

## Referencias

- Amram P., Boulesteix J., Georgelin Y.M., Georgelin Y.P., Laval A., LeCoarer E.,  
Marcelin M., Rosado M., 1991, *The Messenger*, 44, 64  
Davies R., Elliot K., Meaburn J. (DEM), 1976, *Mem. RAS*, 81, 89  
Georgelin Y.M., Georgelin Y.P., 1976, *A&A*, 49, 57  
LeCoarer E., Rosado M., Georgelin Y., Viale A., Goldes G., 1993, *A&A*, en prensa  
Meaburn J., 1980, *MNRAS*, 192, 365

## OBSERVACIONES DE CO EN UNA REGION ALTAMENTE POLARIZADA DE M31

E. Bajaja (IAR), E. Berkhuijsen, R. Beck (MPIfR)

El objetivo de este trabajo ha sido la correlación entre las observaciones de alta resolución en el continuo, en la longitud de onda de 20 cm, efectuadas con el VLA, y las observaciones de la transición  $J=1 \rightarrow 0$  de la molécula  $^{12}\text{CO}$ , en la longitud de onda de 2,6 mm, efectuadas con el radiotelescopio IRAM de 30 m en Pico Veleta (España), de una región de NGC 224 (M31). En esta región, ubicada a aproximadamente  $X = 12'$  Sur e  $Y = 10'$  Oeste del centro de la galaxia, la polarización de la emisión continua muestra variaciones bruscas e intensas. Además, se encuentran aquí: una radiofuente discreta intensa, nubes de polvo, la asociación OB66, HI con alta densidad columnar a lo largo de los brazos y un agujero en el HI asociado a un shell de  $\text{H}_\alpha$  (P354). La línea de CO fue observada a lo largo de tres líneas rectas, una de  $6'$ , a lo largo del brazo, y dos perpendiculares a la anterior y centradas en ella, de  $4'$  de extensión, sobre puntos espaciados en  $11''$ . Los resultados de las comparaciones efectuadas indican que existe una correlación marcada entre la potencia total del continuo extendido y el gas, y una anticorrelación entre éste y el grado de polarización. Cuantitativamente:  $T_A \approx N_{\text{gas}}^{2.5 \pm 0.6}$ ,  $p \approx N_{\text{gas}}^{-2.0 \pm 0.8}$ , donde  $T_A$  es la intensidad total de la emisión en el continuo,  $p$  el porcentaje de polarización y  $N_{\text{gas}} = N_{\text{HI}} + 2N_{\text{H}_2}$



# **SISTEMA SOLAR**





## **EFFECTOS SOBRE EL CINTURON DE KUIPER DE ENCUENTROS ESTELARES DISTANTES**

Adrian Brunini (FCAGLP)

En el presente trabajo se deriva un algoritmo basado en las ecuaciones planetarias de Lagrange, que permite estimar el efecto de pasajes estelares distantes, sobre órbitas planetarias de cualquier eccentricidad. Suponiendo que en las vecindades del Sol el flujo estelar es isótropo, se puede derivar fácilmente el efecto acumulado a lo largo de la edad del sistema solar, sobre objetos típicos del cinturón de Kuiper. Los resultados numéricos indican que este cinturón no puede extenderse más allá de unos cientos de UA del Sol, desde donde comienza su total termalización.

## **FUERZAS NOGRAVITACIONALES EN COMETAS DE LARGO PERIODO**

J.A. Fernández, A.D. Bolatto, G.F. Carballo (FCU)

Se estudia el efecto de fuerzas nogravitacionales sobre cometas de largo período, en particular en lo que concierne a la perturbación de la energía orbital. De la comparación de resultados computacionales, derivados a partir de la integración numérica de órbitas de cometas ficticios, con la muestra observada de cometas de largo período, surge como valor probable de la magnitud de la aceleración nogravitacional:  $10^{-8}$  UA día<sup>-2</sup>. Este valor resulta ser 1 - 2 órdenes de magnitud mayor que los valores típicos deducidos para los cometas de corto período. Estos resultados pueden interpretarse en términos de una mayor actividad de los cometas nuevos o dinámicamente jóvenes, en relación a los cometas de corto período, asociada a una fracción mayor de superficie cometaria conteniendo volátiles expuestos a la radiación solar.

## **RESULTADOS NUMERICOS DEL COMPORTAMIENTO DINAMICO DE ORBITAS DE ASTEROIDES PROXIMOS A UNA RESONANCIA**

S. Fernández (OAC, UNC), F. López García (OAFa, UNSJ)

El estudio de órbitas peculiares de asteroides con movimientos medios muy próximos a una conmensurabilidad con Júpiter son estudiadas en el problema restringido elíptico de tres y cuatro cuerpos, con el objeto de describir cualitativamente el tipo de movimiento. Se distinguen diferentes tipos de movimientos: i) Órbita periódica no-estable; ii) No libradores; iii) Órbitas tipo banana; iv) Libradores apocéntricos. Este estudio se realizó para las resonancias:  $(p+q)/p = 2:1, 3:2, 4:3, 5:2$ . La evolución dinámica de este problema restringido se efectuó integrando numéricamente las ecuaciones diferenciales del movimiento.

## **RESULTADOS DE DOS AÑOS DE OBSERVACION CON META II**

F.R. Colomb, E. Hurrell, G.A. Lemarchand, J.C. Olalde (IAR)

Durante más de dos años se ha utilizado una de las dos antenas del IAR para observar el cielo del hemisferio sur ( $-80^\circ \leq \delta \leq -20^\circ$ ), conduciendo una búsqueda de señales de radio ultra-angostas alrededor de la frecuencia de 1420 MHz, correspondiente a la línea del hidrógeno neutro, empleando un espectrómetro de Fourier de 8.4 millones de canales, con una resolución espectral de 0.05 Hz y ancho de banda instantáneo de 400 kHz. La frecuencia de observación fue corregida para compensar el movimiento de traslación y rotación de la Tierra, facilitando, de esta manera, una fácil distinción entre una fuente de origen extraterrestre de otra de origen terrestre (interferencias). El equipo realizó las observaciones de cada punto del cielo en tres sistemas de referencia distintos (heliocéntrico, Galactocéntrico y referido a la radiación de fondo cósmica) y cada uno de ellos en los dos tipos de polarización circular. El tiempo de observación total fue de 9,000 horas, representando alrededor de 1,600,000 espectros independientes, entre los cuales se encontraron diez señales extra-estadísticas que superaron todos los criterios de selección empleados.

## **INESTABILIDADES NO LINEALES EN ARCOS MAGNETICOS DE LA CORONA SOLAR**

D. Gómez (IAFE, CONICET), A. McClymont (IFA), E. DeLuca (CfA)

La corona solar está formada por un plasma ténue y de alta temperatura, confinado en estructuras magnéticas. Se han propuesto varios mecanismos de calentamiento de dicho plasma, los cuales tienen en común el proponer o requerir un alto grado de estructuramiento espacial del campo magnético. La formación de microestructuras magnéticas es un mecanismo muy promisorio para incrementar la tasa de disipación de energía hasta niveles comparables con las tasas de enfriamiento radiativo y conductivo. Por otra parte, las imágenes en rayos X de la corona solar obtenidas en los últimos años, sistemáticamente confirman la presencia de estructuras fibrilares, al menos hasta escalas espaciales comparables con la resolución de los instrumentos. En el presente trabajo describimos un modelo sencillo de un arco magnético coronal, perturbado en sus bases por el campo de velocidades de la región convectiva del Sol. La dinámica de los campos magnético y de velocidades es descrita por las ecuaciones magnetohidrodinámicas (MHD). Mostramos como las no linealidades de las ecuaciones MHD conducen eficientemente a la generación de nuevas estructuras espaciales en el interior del arco magnético. La repetición frecuente de este tipo de inestabilidades no lineales, podría explicar satisfactoriamente la formación de microestructuras magnéticas, las cuales por su parte elevan considerablemente la tasa de disipación de energía.

## INTERPRETACION DE LAS OBSERVACIONES DE FULGURACIONES SOLARES EN FUNCION DE LA TOPOLOGIA DE LA REGION ACTIVA

M.G. Rovira (IAFE), C.H. Mandrini (IAFE), P. Demoulin (OP), J.C. Henoux (OP), M.E. Machado (CONAE)

Con el objeto de comprender el rol que juega la topología a gran escala durante las fulguraciones solares, realizamos un estudio detallado de la estructura topológica de la región activa (AR) 2776 y la comparamos con observaciones en  $H_{\alpha}$ , UV, rayos X y radio de dos fulguraciones que tuvieron lugar el 5 de Noviembre de 1980. Como en casos anteriores el campo magnético coronal se modeló usando un conjunto de fuentes subfotosféricas, cuyas posiciones e intensidades se dedujeron a partir de un ajuste por cuadrados mínimos al campo longitudinal observado. En este caso, dado que el campo de AR 2776 no es potencial, se usó en el modelo una extrapolación libre de fuerzas lineal. La relación entre la posición de los cuatro brillantamientos en  $H_{\alpha}$  de distintas fulguraciones y la topología de regiones activas cuadrupolares ha sido estudiada anteriormente. En este caso la región es bipolar y las fulguraciones muestran una estructura de dos bandas. Estas se ubican sobre las separatrices cuando se tiene en cuenta el *shear* del campo, deducido de la dirección de las fibrillas observadas a nivel cromosférico. Este estudio está de acuerdo con la hipótesis de que la energía magnética está almacenada en corrientes alineadas con el campo y que se libera por reconexión del mismo, en la región del separador, antes de ser transportada a la cromósfera. También es posible que parte de la energía magnética se almacene y se libere sobre las separatrices. La ubicación de las corrientes fotosféricas, deducidas de los magnetogramas vectoriales, en la intersección de las separatrices con la fotosfera concuerda con este último punto.

## **TRANSPORTE TERMICO NO LOCAL EN LA CORONA SOLAR**

M. V. Canullo, A. Costa (IAFE, CONICET),  
C. Ferro Fontán (IAFE, CONICET, INFIP)

El flujo de calor electrónico toma valores cercanos al millón de  $^{\circ}\text{K}$  a  $1.03 r_{\odot}$ . La función de distribución electrónica medida observacionalmente muestra en esta región una cola supratérmica. Se trata entonces de derivar analíticamente una expresión que reproduzca esta población de alta energía mediante un formalismo cinético autoconsistente. Si se resuelve la ecuación de Fokker-Planck para un plasma de H y se considera un campo magnético externo, se obtiene una expresión analítica para el flujo de calor que resulta ser no local. Además se observa que la corrección a la anisotropía de la función de distribución debida al campo magnético es de sólo el 5%. Este análisis describe adecuadamente el flujo para distancias del orden de  $4 r_{\odot}$ . Para energías mucho mayores que la térmica, la fuerza de fricción dinámica no es suficiente para retener a las partículas supratérmicas, que son continuamente aceleradas y escapan (runaway). Es necesario entonces utilizar otra función de distribución. La teoría arroja valores coherentes con los datos observacionales para el flujo de calor y para la dependencia angular de la función de distribución, mostrando esta última un pico característico cuando  $\theta = 0$ .

## **ESTABILIDAD DE LA ESTRUCTURA TOPOLOGICA DE UNA REGION ACTIVA EN PRESENCIA DE FUENTES DE CAMPO EXTERNAS**

C.H. Mandrini, M.G. Rovira (IAFE),  
P. Demoulin, J.C. Henoux, J. de La Beaujardiere (OP)

A partir de las observaciones del campo magnético longitudinal de la región activa (AR) 6233, obtenidas en el Observatorio Mees (Universidad de Hawaii), derivamos su estructura topológica y estudiamos la evolución de la misma a lo largo de dos días. En el bipolo principal de esta región se desarrollaron numerosas fulguraciones y microfulguraciones en el período de estudio. Dado que en este caso contamos con magnetogramas que cubren distintas escalas espaciales, analizamos la influencia que las fuentes de campo externas a dicho bipolo tienen sobre la estructura topológica de la zona en donde se produjeron las fulguraciones. Esta se obtiene a partir de un modelo del campo de AR 6233 tanto en la aproximación potencial, como en la libre de fuerzas lineal. Nuestros resultados muestran que la estructura topológica básica de la región de interés permanece invariante en ambos casos. Esto justificaría el uso, debido a limitaciones instrumentales, de magnetogramas que cubren una porción limitada de la región activa al modelar el campo como se ha hecho en estudios anteriores.

## **COMPORTAMIENTO DE LA CROMOSFERA SOLAR EN LA LINEA $H_{\alpha}$ DURANTE EL PERIODO ENERO DE 1991 - ENERO DE 1993**

S.A. Acero, H.V. Missio (POAMR, IPSGSM)

Utilizando el instrumental del Planetario y Observatorio Astronómico Municipal de Rosario, consistente en un telescopio refractor acodado Carl Zeiss, de 150 mm de abertura y 250 mm de distancia focal, provisto de un filtro de Lyot para la línea  $H_{\alpha}$ , con anchos de banda pasante de 0.5 y 0.25 Å, se realizó un seguimiento de la actividad cromosférica solar durante el período enero de 1991- enero de 1993, tomándose como indicador de dicha actividad el área ocupada por las fáculas cromosféricas. Las mediciones se realizaron sobre registros fotográficos. Se describen las técnicas de adquisición de los datos y los resultados obtenidos. Se observó un comportamiento normal de la cromósfera con relación a la actividad general.

## **ASTEROIDES DESCUBIERTOS EN LA ARGENTINA**

H. Mira (OAFa , YSO)

Se presenta un listado de los asteroides descubiertos en los Observatorios de La Plata, Córdoba y la Estación Astronómica *Dr. Carlos Ulrico Cesco* y que poseen número definitivo hasta Agosto de 1993.

## **FOTOMETRIA FOTOELECTRICA DEL ASTEROIDE 14 IRENE**

J. Licandro (FCU)

Fotometría fotoeléctrica en los filtros B y V del asteroide 14 Irene fue llevada a cabo durante su oposición de 1990 con el telescopio de 76 cm de la Estación de Altura "Dr. Carlos U. Cesco" del Observatorio Astronómico Félix Aguilar, con el fin de determinar su periodo y polo. Se presentan las curvas de luz obtenidas y se discuten posibles soluciones a los mismos.

# **MEDIO INTERESTELAR**





## ESPECTROFOTOMETRIA DE NGC2359

C. G. Giménez de Castro, V. Niemela (IAFE)

Se presentan los resultados de la espectroscopía de ranura larga de la nebulosa de anillo NGC2359 alrededor de la estrella HD56925 de tipo espectral WN4. Los espectros abarcan un rango entre  $\lambda$  3650 - 5150 Å aproximadamente con una resolución de 0.5 Å / pixel y con un largo de la ranura equivalente a 5'. Se tomaron tres espectros, uno centrado en HD56925, otro 12" al S y el tercero 80" al N de la estrella, todos con la ranura del espectrógrafo orientada en dirección E - O. Se removió la *firma del instrumento* a todos los espectros y de cada uno de ellos se extrajeron espectros unidimensionales. Esto permitió estudiar condiciones físicas en distintas zonas de la nebulosa. No se hallaron trazas de He II previamente detectadas, pero sí se detectaron líneas de [NeIV]. Las estimaciones que obtuvimos de la  $T_e$  mediante las líneas de [OIII] son similares a las publicadas en la literatura. Se confeccionó un mapa con las velocidades radiales de la nebulosa en cada sector estudiado.

## OBSERVACIONES ESPECTROSCOPICAS DE ME2 - 1

H. Moreno, A. Gutiérrez Moreno, G. Cortés (Dto. Ast., Uch), M. Hamuy (CTIO)

Me2 - 1 es una nebulosa planetaria de alta excitación muy bien estudiada en las regiones ópticas y ultravioleta, para la cual se han calculado algunos modelos teóricos. En este trabajo se presentan observaciones espectroscópicas de esta nebulosa, realizadas en el *Observatorio Inter -Americano de Cerro Tololo*, utilizando los telescopios de 1.5m y 1.0m, con detectores CCD y 2D - Frutti. Para extraer los espectros a partir de las observaciones y para medirlos se ha utilizado el programa IRAF. La región estudiada abarca aproximadamente desde los 3000 a los 10000 Å, con especial énfasis en el rango 7000 - 10000 Å, no estudiado anteriormente. Se comparan los resultados (temperaturas, abundancias, etc.) con los obtenidos previamente utilizando las regiones ultravioleta y óptica hasta los 7000 Å y con los modelos teóricos.

## **OBSERVACIONES DE HI ALREDEDOR DE NGC 6888**

C. Cappa de Nicolau (IAR), C. Rogers (DRAO), G. Dubner (IAFE), N. St.-Louis (Univ. de Montréal)

Analizamos la distribución del hidrógeno neutro interestelar en la vecindad de la nebulosa anillo NGC 6888 alrededor de la estrella WR HD 192163 en base a observaciones de la línea de 21 cm obtenidas con el Telescopio de Síntesis de Apertura del Dominion Radio Astrophysical Observatory (Canadá). El área observada es de  $2^{\circ}.1 \times 2^{\circ}.1$  con una resolución de  $2'.0 \times 3'.4$ . Este estudio nos permitió encontrar dos burbujas de HI expandiéndose lentamente, relacionadas con la estrella WR y la nebulosa anillo, y analizar la interacción de dicha nebulosa con el material neutro colindante.

## **COLISIONES DE NUBES DE ALTA VELOCIDAD CON EL MATERIAL GALACTICO**

R. Morras, E. Bajaja, E. M. Arnal (IAR)

Las colisiones de Nubes de Alta velocidad con el material galáctico son un mecanismo altamente eficiente para inyectar grandes cantidades de energía en el medio interestelar. Estas energías pueden ser, en algunos casos, equivalentes a varias supernovas. Estas colisiones producen perturbaciones en el medio interestelar y pueden ser el origen de algunos *shells*, *supershells* y grandes agujeros observados en la distribución del material en nuestra y otras galaxias.

## **EL IMPACTO DE ESTRELLAS WOLF -RAYET EN EL MEDIO INTERESTELAR**

E.M. Arnal (FCAGLP, IAR), C. Trevisan (FCEyN)

Se presentan resultados acerca de la distribución de gas neutro en los alrededores de cinco estrellas Wolf-Rayet galácticas (WR3, WR117, WR126, WR131, y WR140). Observaciones realizadas con resoluciones angulares intermedias (MPIfR - HPBW =  $9'$ ) y altas (DRAO - Interferómetro -HPBW= $2'$ ) muestran fuertes evidencias de una deficiencia de gas neutro en las proximidades de las estrellas Wolf - Rayet. Dicha deficiencia es elongada, presenta mayoritariamente una estructura de mínimo doble, y la estrella probablemente responsable de la distribución observada se halla ubicada en una posición excéntrica con respecto al posible centro de simetría de la misma (tal como se observa en el plano del cielo). Se comparan estas observaciones con las predicciones de la teoría de burbujas interestelares. Se discuten las consecuencias que tal distribución de materia podría tener en la evolución de algunos remanentes de supernova.

## **OBSERVACIONES CON EL VLA DEL HIDROGENO NEUTRO EN LA REGION DE PUPPIS A**

E. Reynoso (IAFE), G. Dubner (IAFE), M. Goss (NRAO, VLA), E. M. Arnal (IAR)

Se presentan observaciones del remanente de supernova Puppis A en la línea  $\lambda$  21 cm del hidrógeno neutro. Los mapas se construyeron empleando la técnica de combinación en mosaicos. Algunos rasgos de HI reflejan un alto grado de correspondencia morfológica con filamentos ópticos y con el continuo de radio. Se ha encontrado poca correlación entre las pequeñas estructuras detectadas y mapas anteriores de la misma región con baja resolución. A partir de rasgos en absorción y emisión muy posiblemente relacionados con el remanente, se proponen una velocidad de expansión para la capa de  $v_{exp} \cong (8 \pm 2)$   $kms^{-1}$  y un límite de distancia de  $1.9 < d < 2.5$  kpc.

## **LA LINEA DE RECOMBINACION H159 $\alpha$ EN UN "SPUR" (ESPOLON) TERMICO ASOCIADO CON LA REGION H II S54**

I.N. Azcárate (IAR, CONICET), J.C. Cersosimo (IAR, UPR, CONICET)

Se han realizado observaciones de la línea de recombinación H159 $\alpha$  (frecuencia= 1620.672 MHz) con la antena de 30 m del Instituto Argentino de Radioastronomía, en un "spur" térmico, largo y delgado, que se supone que emerge de la región H II S54. El "spur" había sido previamente observado en el continuo en 1420, 2695 y 4750 MHz por Mueller y otros (1987) así como en la línea H110 $\alpha$ . Se derivan los parámetros físicos del spur de las observaciones de H159 $\alpha$ . Estas observaciones en baja frecuencia, además de confirmar la naturaleza térmica del spur, muestran que el gas del mismo es extendido, y no localizado en las zonas compactas cercanas a los máximos de radiación del continuo.

## **ESTUDIO DE LA CINEMATICA Y DISTRIBUCION DEL MATERIAL INTERESTELAR EN LA REGION DE CEPHEUS-CASSIOPEIA**

N. B. Caballero, M. C. Martín, C. A. Olano (IAR)

Se analizaron los perfiles de 21 cm en la región  $90^\circ \leq l \leq 160^\circ$  y  $-10^\circ \leq b \leq 10^\circ$  con el propósito de estudiar la relación del gas interestelar con las asociaciones OB y la estructura galáctica de la región. Para la descomposición de los perfiles se tuvo en cuenta la contribución de la componente tibia del medio internube. Se presentan mapas sobre la distribución y cinemática de las componentes de HI de la región.

## **IMAGENES DE ALTA RESOLUCION DE REMANENTES DE SUPERNOVAS GALACTICOS**

G.Dubner (IAFE), E. Giacani (IAFE - IAR) D.Moffett (NRAO), W.M.Goss (NRAO), P.F.Winkler (Middlebury Coll.)

Como continuación del programa de relevamientos de restos de supernovas galácticos con alta resolución angular y elevada sensibilidad, se presentan observaciones de G15.9+0.2, G340.4+0.4, G340.6+0.3 y G341.9-0.3 obtenidas con el interferómetro de síntesis de apertura VLA. Las observaciones se realizaron utilizando las configuraciones híbridas CnB y DnC en las frecuencias de 327 MHz, 1500 MHz y 5000 MHz obteniéndose imágenes con una resolución angular de hasta 14".

## **UN ESTUDIO DE LA RADIACION CONTINUA A 1435 MHZ DE LA REGION DE SCORPIO - CENTAURUS**

J.A. Combi (IAR, CONICET), J.C. Testori (IAR, CONICET)

Se realizó un estudio de la distribución de la radiación continua en 1435 Mhz de la región de Scorpius-Centaurus, utilizándose para ello el radiotelescopio de 30 m del IAR, con una resolución angular de 30'. En esta región un intenso y estrecho arco continuo parece emerger del plano galáctico corriendo a lo largo de la declinación -22° aproximadamente. A pesar de la apariencia que este arco tiene emergiendo del centro galáctico, esta estructura probablemente sea de origen local.

Nuestras observaciones se comparan con los mapas de distribución de HI (hidrógeno neutro) de Mc Gee et al. (1963), y Heiles (1975), como así también con las observaciones de CO (Monóxido de Carbono) de Cohen (1983), y las de Haslam (1982) a la frecuencia de 408 MHz.

### **Referencias**

- Cohen, R.S., 1983. In *Surveys of the Southern Galaxy*, Eds. W.B.Burton y F.P.Israel (Reidel, Dordrecht), p. 265.  
Haslam, C.G.T., Salter, C.J., Stoffel, H., & Wilson, W.E., 1982. *A&AS*, **47**, 1  
Heiles, C. 1975, *A&AS* **20**, 37.  
McGee, R.X., Murray, J.D., Milton, J.A. , 1963, *Australian J. Phys.* **16**, 136.

## **BUSQUEDA EN EL INFRARROJO CERCANO DE PROTOESTRELLAS EN LA NUBE MOLECULAR DE TAURUS**

M. Gómez (OAC), S. Kenyon (CfA), L.Hartmann (CfA)

Se presentan los resultados de una búsqueda en el infrarrojo cercano (JHK) de parte de tres nubes oscuras L1537, L1538 y HCL2 y otras áreas seleccionadas alrededor de estrellas de pre-secuencia principal previamente conocidas en la nube molecular de Taurus-Auriga. El objetivo fundamental de esta búsqueda fue la identificación de nuevos candidatos a estrellas de pre-secuencia principal. Se propone una lista de 15 nuevos candidatos a fuentes embebidas infrarrojas (proto-estrellas) seleccionadas en base a sus colores (J-K) y (H-K). Uno de ellos está asociado con la fuente IRAS 04370+2559 y presenta una distribución espectral de energía típica de una estrella T Tauri enrojecida. Sin embargo la region de las nubes oscuras L1537/38 parece no contener un número de estrellas de pre-secuencia principal comparable al de otras nubes oscuras en Taurus, activas en la formación de estrellas de baja masa. Esto sugiere que estas nubes (L1537/38) no son lo suficientemente densas para formar estrellas a la tasa observada en otras regiones de Taurus.



# **ASTRONOMIA DE POSICION Y MECANICA CELESTE**





## CATALOGO PRELIMINAR DE RADIO-ESTRELLAS N° 2 # J2000.0

R.A.Carestia, C.C.Mallamaci, , M.Gallego , W.L.Castro, J.A. Pérez, L.F.Marmolejo, J.L.Navarro, J.A.Sedeno, (OFA)

En 1987 comenzamos la observación sistemática de radio estrellas, con círculo meridiano Repsold de 190mm de abertura, instalado en la Provincia de San Juan, República Argentina, (latitud  $-31^{\circ} 30' 38''.5$  ; longitud  $-68^{\circ} 37' 12''.0$ ), las que desde entonces forman parte de nuestros programas corrientes de investigación. Este catálogo preliminar presenta los resultados de las observaciones de radio estrellas realizadas durante el año 1988, en un todo de acuerdo con lo expresado en la introducción del "Catálogo Preliminar de Radio Estrellas N° 1 -J 2000.0 ", que contenía las observaciones de 1987. En próximas publicaciones presentaremos las correspondientes a los años siguientes. El catálogo contiene las posiciones ópticas de 233 radio estrellas, ubicadas al sur de  $\delta = +40^{\circ}$  y más brillantes que magnitud visual  $m_v = + 10.0$ , válidas para el equinoccio J2000.0 y la época media de observación. Cada estrella fue observada 3 veces, en promedio, y los errores resultaron  $S_{\alpha} = 0.023^s$   $S_{\delta} = 0.43''$ . El término preliminar significa que el catálogo está en el sistema instrumental y no se han aplicado correcciones para llevarlo al sistema FK5.

**Abstract.** Since 1987, radio stars are being systematically observed with our Repsold meridian circle ( 190mm) set up in San Juan , Argentina ( latitude  $=-31^{\circ} 30' 38''.5$  ; longitude  $-68^{\circ} 37' 12''.0$ ). The catalogue contains optical positions of 233 radio stars, located south of  $\delta = +40^{\circ}$  and brighter than visual magnitude  $m_v = + 10.0$ . Results of radio star observations, made during 1988, are presented as a preliminary catalogue. Each star was observed 3 times, on average, and the mean errors of one observation of the catalogue for an equatorial star resulted  $S_{\alpha} = 0.023^s$   $S_{\delta} = 0.43''$ . The preliminary term means that the catalogue is in the instrumental system, and corrections to bring it to FK5 were not applied.

## DIFERENCIAS SISTEMATICAS DEL CATALOGO FUNDAMENTAL FK5

G. Carrasco, P. Loyola (Dto. Ast. UCh)

Las diferencias  $\Delta\alpha \cos(\delta)$  y  $\Delta\delta$ , en el sentido Instrumento - FK5, obtenidas de las observaciones de series de Estrellas del Catálogo Fundamental FK5 realizadas hasta junio de 1993, en el *Círculo Meridiano Repsold* del *Observatorio Astronómico Nacional de Cerro Calán*, Chile, son comparadas con las diferencias obtenidas de las observaciones del *Satélite Astronómico Hipparcos*. Del análisis de estos resultados se concluye que aún subsisten diferencias sistemáticas en el Catálogo Fundamental FK5, especialmente en el Hemisferio Austral.

**Abstract.** The differences  $\Delta\alpha \cos(\delta)$  and  $\Delta\delta$ , smoothed, in the sense Instrument-FK5, obtained from the observations of series of Fundamental FK5 Stars, made up to June 1993 with the Repsold Meridian Circle at Cerro Calán, National Astronomical Observatory, Chile, are compared with the differences obtained with the observations carried out with the *Hipparcos Astrometric Satellite*. From the analysis of these results it is possible to see that there are yet systematic differences in the Fundamental Catalogue FK5, specially in the Southern Hemisphere.

## CAOS EN EL PROBLEMA DE DIRICHLET

A. Brunini, A. Plastino, C. Giordano (FCAGLP)

Dirichlet halló la forma de construir soluciones para las ecuaciones de movimiento de una masa de fluido ideal, homogéneo y autogravitante que preserva permanentemente una configuración elipsoidal (de semiejes y orientación variables). Estas soluciones permiten reducir las ecuaciones de movimiento en derivadas parciales a un sistema finito de ecuaciones diferenciales ordinarias. El comportamiento dinámico de fluidos autogravitantes es de interés en Astronomía: la formulación de Dirichlet admite como casos particulares los conocidos elipsoides de Maclaurin, de Jacobi, etc. En este trabajo encaramos el estudio del problema de Dirichlet mediante el método de las secciones de Poincaré a fin de determinar las propiedades generales del correspondiente flujo en el espacio de las fases. En particular hallamos soluciones caóticas para ciertos valores de los parámetros que caracterizan al sistema.

## **FORMULACION UNIVERSAL PARA EL PROBLEMA DE N CUERPOS**

C. M. Giordano (FCAGLP), P. E. Zadunaisky (CONAE, UBA)

En un trabajo previo (1) se presentó una formulación universal y regularizada para el problema perturbado de los dos cuerpos, que provee un método eficiente para el cálculo de efemérides a partir de posición y velocidad iniciales. Este método, según surge de las numerosas aplicaciones realizadas, compite favorablemente en precisión, estabilidad y eficiencia con la resolución de las ecuaciones diferenciales de movimiento por los métodos convencionales de integración numérica. Además, no pierde eficiencia ni precisión en situaciones próximas a la colisión con la masa central - a diferencia de los integradores standard -. Dicha formulación fue generalizada para tratar el problema gravitatorio de N cuerpos (2). En el presente trabajo se realizan numerosas aplicaciones del esquema universal a configuraciones dominadas por una masa central -sistemas planetarios y satelitarios-. Se incluyen ejemplos de aplicación que involucran fuerzas no gravitatorias -sistemas no conservativos-. Se estudia además la performance del algoritmo universal en integraciones por largos periodos a fin de analizar la factibilidad de su aplicación al estudio de sistemas dinámicos susceptibles de evolución caótica.

Referencias : (1)Zadunaisky P. E., Giordano, C.M. "Universal Formulation for the Perturbed Two- Body Problem", AIAA Journal of Guidance Control and Dynamics, vol. 13, N 6, 1990, pp 1 109 - 1116.

(2)Zadunaisky P. E., Giordano, C.M. "Universal and Regularized Formulation for the N Body Problem", en vías de publicación.

## **ANALISIS DE ORBITAS DE COLISION EN EL PROBLEMA DE SITNIKOV CON EXCENTRICIDAD UNO**

R.B. Orellana (FCAGLP, CONICET), J. Martínez Alfaro (UV)

El problema de Sitnikov describe el movimiento de un cuerpo bajo la fuerza gravitatoria de un sistema binario, suponiendo que el cuerpo se mueve en una perpendicular al plano orbital y que pasa por el centro de gravedad del sistema. En este problema se consideran las masas de los primarios iguales y que los mismos describen elipses de excentricidad  $e$ , alrededor de su centro de masa  $O$ . La tercer partícula que se mueve a lo largo de la perpendicular al plano orbital es de masa infinitesimal y por lo tanto no afecta las órbitas de los primarios. El caso límite ( $\epsilon = 1$ ) es equivalente al problema restringido rectilíneo isósceles (IRRP) de tres cuerpos que es un caso particular del problema de tres cuerpos. Dado que en el problema de Sitnikov con excentricidad uno la colisión entre las tres masas es posible, se debió regularizar las ecuaciones que definen el movimiento de la tercer partícula eliminando singularidades, y se estudio las variedades de frontera del espacio de las fases, tal como la variedad de colisión.

## **A REVIEW ON POINCARÉ RESEARCH IN CELESTIAL MECHANICS AND DYNAMICS ( STABLE AND UNSTABLE PERIODIC MOTIONS).**

C. A. Altavista (FCAGLAP)

H. Poincaré considers in his *Méthodes Nouvelles* the asymptotic solutions obtained as particular solutions of Bohlin planetary perturbation method. He shows that several periodic solutions may appear when special invariant relationships are stated as initial conditions of this problem. The main results can be summarized as follows :

I) Real (true) periodic solutions arise when the stated invariant relationships are equivalent to the conditions stated for obtaining periodic solutions of the first sort. These solutions are, then convergent (stable).

II) If the initial conditions are different from the previous ones, periodic solutions can also be obtained. But, in this case, they are unstable. The essential difference between both cases rest upon the way in which the mean motions of masses are combined.

Periodic solutions may also be obtained by applying the fixed point theorem. In fact, it may be shown that Riccati's equations in the complex domain can be used as perturbation equations. The dependent variables are the quantities  $p, q, r$  ( the instantaneous rotations of orbital system of coordinates, referred with respect to a fixed frame). These equations remain invariable under a bilinear transformations (Möbius). Since Möbius transformations may have a fixed stable point, the transformation theory shows that complete stability takes place in case of linear approximation. Then complete stability remains valid for the non-linear approximation, and the existence of a fixed point in the solutions is assured. Then, periodic orbits exist under such circumstances.

### References

- Poincaré, H., *Les Méthodes Nouvelles de la Mécanique Céleste*, Dover Pub. 1960  
Pars, L. A. 1979 *A Treatise On Analytical Dynamics*, On Dow Press. Connecticut  
Altavista, C.A. 1993 *The Rieman Sphere as Surface of Reference in Celestial Mechanics*,  
*Revista Mexicana de Astronomía* ( in press)

## **MEDICION DE LA CARTE DU CIEL CORDOBA: I- RECOPIACION DE LAS PLACAS FOTOGRAFICAS**

S. Paolantonio, J.H. Calderón (OAC, CONICET),  
P. Andreis (OAC, UTN), I. Bustos Fierro (OAC)

Se está realizando la recopilación de las placas fotográficas de la faja de declinación correspondiente al *Observatorio de Córdoba* de la Carte du Ciel. La misma consiste en la catalogación, revisión y la informatización de las más de 600 placas de este atlas fotográfico. Esta recopilación se realiza con el objeto de su utilización de diversos programas astrométricos. El primer trabajo en ejecución tiene por objeto la medición de movimientos propios en cúmulos abiertos; para ello se está tomando la segunda época de las placas correspondientes a estos cúmulos.

## **CORDOBA DURCHMUSTERUNG**

Observatorio Astronómico de Córdoba

En conmemoración del Centenario de la edición de la primera parte del Atlas Córdoba Durchmusterung se realiza una apretada síntesis de esta obra, se describen las metodologías de trabajo y los resultados obtenidos. Se comentan la importancia y vigencia de este catálogo y atlas.



# **HISTORIA Y ENSEÑANZA DE LA ASTRONOMIA**





## **EL APRENDIZAJE DE LA NOCION ASTRONOMICA DE TIEMPO**

H.L. Tignanelli (CIC, FCGALP)

Dentro del Programa de Actividades Científicas Extra-Escolares de la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Nación (SECYT), se está desarrollando una tarea de investigación sobre educación en temas de Astronomía, referida puntualmente a la incorporación de la noción de tiempo en la fase inicial de la enseñanza. El objetivo es indagar sobre la conceptualización de la idea de tiempo en niños de temprana edad, en base a la cual se elaborará un primer diagnóstico sobre el cual trazar ciertas estrategias educativas. El ámbito de trabajo es el *Observatorio Naval Buenos Aires (ONBA)*, dentro del denominado Programa BETA (*Bases para la Enseñanza del Tiempo y la Astronomía*) que lleva adelante esa entidad. Por otra parte, la tarea de campo fue realizada en escuelas de la Provincia de Buenos Aires y de la Capital Federal. Se presentan los métodos empleados para la investigación (básicamente, entrevistas clínicas piagetianas) y se analizan los resultados alcanzados.

## **PROYECTO CHIVILCOY DE EDUCACION EN ASTRONOMIA**

H.L. Tignanelli (CIC , FCGALP)

Se ha investigado el grado de conceptualización del Sistema Tierra - Sol- Luna en niños de escuelas primarias de la ciudad de Chivilcoy (Pcia. de Buenos Aires), en función de elaborar un diagnóstico sobre las ideas de esos niños sobre el tema. Esta primera etapa del trabajo está concluída y se hallan en elaboración las estrategias de educación en Astronomía que se implementarán en las escuelas de Chivilcoy. Se trabajó sobre el esquema de entrevistas clínicas piagetianas modificadas, siguiendo un modelo desarrollado por B. Jones, de la Universidad de Tasmania. Se muestran y analizan los resultados obtenidos, y se presenta la actividad que se desarrollará en los colegios.

## **EDUCACION EN ASTRONOMIA POR METODOS NO FORMALES**

H.L. Tignanelli (CIC, FCGALP)

Se muestran los aspectos de la enseñanza de la Astronomía llevada adelante por el autor, mediante métodos no tradicionales. Se detalla la estrategia utilizada (talleres y espectáculos didácticos) y los métodos lúdicos empleados para ello (plástica, dramaturgia, teatro). Se muestran algunos de los resultados obtenidos desde el comienzo de la actividad y el recorrido del espectáculo de Astronomía para niños denominado "Pedacito de Cielo".

## **LA ASTRONOMIA Y EL COLEGIO NACIONAL predicando entre sordos?**

L.G. García, C. Quiroga, S. Paoli, R. Venero (FCAGLP)

En 1991 comenzó una experiencia interesante en el Colegio Nacional *Rafael Hernandez* de la Universidad Nacional de La Plata. Entre una serie de materias optativas para alumnos de quinto año fue incluida Astronomía. Comentamos nuestras experiencias como profesores, las expectativas de los alumnos y la evolución de los contenidos del programa.

# **INSTRUMENTACION**



## **CENTRO REGIONAL DE DATOS SATELITALES Y PARA ESTUDIOS SOBRE EL CAMBIO GLOBAL**

H.G. Marraco (CONAE)

El centro tiene el propósito de facilitar a los investigadores en las áreas de Ciencias del Espacio y Ciencias de la Tierra la información acerca de los datos que, sobre temas de su especialidad, existe en todo el mundo.

Para cumplir con este propósito el Centro cuenta con un equipamiento adecuado que es descripto de acuerdo con las funciones que se está comenzando a prestar y las que se planea brindar en breve.

Al mismo tiempo se ha formalizado un convenio con la NASA para integrarse a la red mundial conocida como *Internacional Directory Network (IDN)* manteniendo en Argentina una copia operativa idéntica a la existente en el *National Space Science Data Center (NSSDCA, GSFC, Maryland, USA)* del llamado *Master Directory* que contiene todas las referencias a las bases de datos existentes sobre temas espaciales y relacionados existentes en todo el mundo.

A La vez la NASA establecerá en breve una conexión digital entre el Centro y el NSSDC para permitir una vinculación fluida entre ambos conjuntos de bases de datos y facilitar, más adelante, aun el mismo acceso a la propia información, siempre que esta se encuentre en formato digital.

## **LA NUEVA CAMARA CCD DEL O.A.F.A.**

R. Gil Hutton (OAFa, YSO)

Se efectúa una descripción de la nueva cámara CCD instalada en el reflector de 76 cm. de la Estación Astronómica "Dr. Carlos Ulrico Cesco" y se presentan los resultados de las pruebas realizadas para controlar su funcionamiento y estimar su rendimiento.

## **PROYECTO DE ESPECTROGRAFO ECHELLE PARA EL TELESCOPIO DE 1,54m DE BOSQUE ALEGRE**

J.H. Calderón (OAC, CONICET), C.A. Valotto (OAC)

Se está proyectando un espectrógrafo echelle para el Telescopio de Bosque Alegre; el mismo será alimentado por fibras ópticas y el sistema detector será una cámara CCD de 1000x1000 pixeles. Hasta el presente se ha concluido el diseño óptico dimensionando las piezas y habiendo elegido las redes correspondientes; se encuentra en elaboración el diseño de las partes mecánicas. Para el diseño de la óptica se ha empleado un programa realizado *ad hoc* que permite visualizar los espectros resultantes.

## **MICRODENSITOMETRO DIGITAL DEL OAC**

J.H. Calderón, G.A. Giovanola, S. Paolantonio (OAC, CONICET),  
C.A. Valotto (OAC), H.F. Peralta (OAC, UTN)

Se ha finalizado la modernización de un microdensitómetro existente en el Observatorio, transformándolo en un instrumento bidimensional automático programable. Se describen las características técnicas, se muestran los primeros resultados obtenidos y se discute la posibilidad de emplearlo en aplicaciones astrométricas.

## **SIMULADOR DE ESPECTROS ECHELLE**

C.A. Valotto (OAC), J.H. Calderón (OAC, CONICET)

Se ha desarrollado un software simulador de echellogramas destinado al diseño y puesta a punto de espectrógrafos echelle. El software produce, de acuerdo a una configuración óptica preestablecida, un espectro similar al que se obtendría con un instrumento real de las mismas características. Esta herramienta es además un excelente auxiliar para la preparación de las observaciones, ya que permite determinar la configuración de redes y ángulos de las mismas que más se adecuan a los requerimientos.

## **MODERNIZACION DEL REFLECTOR DE 76 CM. DE LA ESTACION ASTRONOMICA DR. CARLOS ULRICO CESCO**

C. Francile, R. Gil Hutton (OAFa ,YSO), A.A. Gonzalez (OAFa)

Se describen los trabajos realizados para corregir defectos y modernizar el telescopio reflector de 76 cm. a fin de posibilitar el uso de sensores tipo CCD en imagen directa. También se detallan los trabajos proyectados para el futuro con el objeto de optimizar el uso del instrumento.

## **LA UTILIZACION DE LASERS EN LA COMUNICACION INTERESTELAR: SU DETECCION EN EL RANGO OPTICO**

G.A. Lemarchand (CEA)

En este trabajo se discute la factibilidad de comunicación interestelar entre dos civilizaciones galácticas mediante la utilización de radiación laser. Se demuestra que la modulación tipo *M-ary*, utilizando pulsos cortos dentro del rango del nanosegundo y en un régimen de alta energía por pulso con un bajo ciclo de trabajo, es la mas adecuada para facilitar la recepción de las señales. Se explica que para el caso de la detección incoherente de radiación, no es necesario el conocimiento previo de la frecuencia exacta de transmisión por parte del receptor. Este tipo de modulación presenta la ventaja de la transmisión de tasas de información varios órdenes de magnitud superior a las posibles en la región de radio ( $10^7$  bits  $s^{-1}$ ) y una gran capacidad para ser distinguida de la radiación emitida por la estrella central en el rango óptico del espectro. Se calcula la sensibilidad del fotómetro de alta velocidad MANIA, instalado en CASLEO, para la detección de este tipo de señales. Con este valor se calcula la potencia de transmisión necesaria para que la detección sea posible desde las estrellas cercanas (distancias  $< 17$  pc). Se presenta la lista del conjunto de objetos seleccionados que son de interés para este tipo de observaciones.





## INDICE DE AUTORES

Abadi M. G, 101,103  
Acero S.A., 116  
Adelman S. J., 78,85  
Agüero E.L., 104  
Ahumada J., 96  
Altavista C.A.,130  
Althaus L., 77  
Amram P., 105  
Andreis P.,131  
Aquilano R.O., 81, 88  
Arnal E. M., 120, 121  
Azcárate, I.N., 121  
Bajaja E., 107, 120  
Barbá R., 85, 87  
Bassino L. P., 92, 103  
Baume G., 80, 94  
Beck R.,107  
Benvenuto O. G, 77, 79, 80, 84  
Berkhuijsen E., 107  
Bolatto A.D., 111  
Bosch G., 96  
Boulesteix J., 105  
Brandi E., 85, 87  
Brunini A., 111, 128  
Bustos Fierro I., 131  
Caballero N.B., 121  
Calderón J.H., 104, 131, 140  
Canullo M. V., 115  
Cappa de Nicolau C., 120  
Carballo G.F, 111  
Carestia R.A., 127  
Carpintero D.D.,102  
Carranza G., 2, 105  
Carrasco G., 128  
Castagnino M.A., 104  
Castro W.L., 119  
Cellone S.A., 101  
Cersosimo J.C., 121  
Cidale L., 82, 84

Cincotta P.M., 92  
Clariá J.J., 97  
Colazo M., 84  
Colomb F.R., 112  
Combi J.A., 122  
Cora S. A., 91  
Cortés G., 119  
Costa A., 115  
Cruzado A., 83  
de La Beaujardiere, 115  
DeLuca E., 113  
Demoulin P., 114, 115  
Dubner G., 27, 120, 121, 122  
Falchi A., 78  
Faraggiana R., 83  
Feinstein A., 80, 93, 94  
Feinstein C., 80  
Fernández S., 112  
Fernández J.A., 111  
Ferro Fontán C., 79, 115  
Forte J.C., 92, 95, 101  
Gallego Garin M., 127  
García A., 84  
García L., 85, 136  
Geisler D., 101  
Georgelin Y.P., 105  
Georgelin Y.M., 105  
Giacani E., 122  
Gil Hutton R., 80, 139, 141  
Giménez de Castro C. G., 119  
Giordano C.M., 128, 129  
Giovanola G.A., 140  
Goldes G., 105  
Gómez D., 113  
Gómez M., 123  
González A.A., 141  
González J.F., 97  
Goss W.M., 121, 122  
Gulliver A.F., 85  
Gutiérrez Moreno A., 119  
Hamuy M., 119  
Hartmann L., 123  
Henoux J.C., 114, 115

Hill Graham, 85  
Hurrell E., 112  
Kenyon S., 123  
Lambas D. G., 82, 101, 102, 103  
Lapasset E., 96, 97  
Lara L.P., 104  
Laval A., 105  
Le Coarer E., 105  
Lemarchand G.A., 112, 141  
Lepez H.S., 127  
Licandro J., 116  
López García Z., 78, 83  
López C.E., 80  
López García F., 43, 112  
Loyola P., 128  
Machado M.E, 114  
Mallamaci C.C., 127  
Mandrini C.H., 114, 115  
Marcelin M., 105  
Marmolejo L.F., 127  
Marquez R.A., 127  
Martín M. C., 121  
Martínez Alfaro J., 129  
Mauas P., 78  
McClymont A., 113  
Melfo A., 88  
Mendez M., 92  
Minniti D., 97  
Mira H., 116  
Missio H.V., 116  
Moffett D., 122  
Montenegro C. A ., 81  
Moreno H., 119  
Morras R., 120  
Morrell N., 96  
Mosconi M.B., 82  
Muriel H., 102  
Muzzio J: C., 91, 92, 102, 103  
Navarro J.L., 127  
Neira L.P., 81  
Nicotra M.A., 102, 103  
Niemela V., 96,119  
Núñez J.A., 91, 92

Nuñez L.A., 88  
Olalde J. C., 112  
Olano C.A., 11, 121  
Orellana R.B., 129  
Orsatti A.M., 93  
Ostrov P.G., 94, 95  
Paolantonio S., 104, 140  
Paoli S., 82, 136  
Peralta H.F., 140  
Pérez J.A., 127  
Piatti A.E. , 97  
Pintado O., 85  
Plastino A.R., 91, 128  
Prado P., 94  
Quiroga C., 136  
Rabolli M., 103  
Reynoso E., 121  
Rogers C., 120  
Rosado M., 105  
Rotstein N., 79  
Rovira M.G., 114, 115  
Sedeno J.A., 127  
St.-Louis N., 120  
Súarez F., 104  
Testori J.C., 122  
Tignanelli H.L., 135, 136  
Tissera P.B., 82  
Trevisan C., 120  
Valotto C.A., 140  
Vazquez R.A., 94, 80  
Vega E. I., 92  
Venero R., 136  
Vergne M. M., 91  
Vucetich H., 77, 81  
Winkler P.F., 122  
Zadunaisky P. E., 129

## **DIRECCIONES**

### **COMISION NACIONAL DE ACTIVIDADES ESPACIALES**

Av. Paseo Colon 751, 1063 Buenos Aires, Argentina

tel.54-1-3310074

email: user@conae.gov.ar

nombre:

userid:

COLAZO Marcelo  
MACHADO Marcos  
MARRACO Hugo  
RABOLLI Mónica  
SISTERO Roberto  
VAZQUEZ Andrea

mcolazo  
mmachado  
hmarraco  
mrabolli  
sistero  
andrea

**COMPLEJO ASTRONOMICO EL LEONCITO**

Av.España 1512 Sur, 5400 San Juan, Argentina

tel. 54-64-213653

fax.54-64-213693

email: user@castec.edu.ar

**nombre:**

**userid:**

**CASAGRANDE Arnaldo**

**GROSSO Mónica**

**LEVATO Hugo**

**MALADORA Stella**

**PINTADO Olga**

**VICTORIA Daniel**

**mgrosso**

**levato**

**malaroda**

**opintado**

**FACULTAD DE CIENCIAS ASTRONOMICAS Y GEOFISICAS  
UNIVERSIDAD DE LA PLATA**

Paseo del Bosque, 1900 La Plata, Argentina

tel.54-21-217308

fax:54-21-211761

email: user@fcaglp.fcaglp.unlp.edu.ar ; user@fcaglp.edu.ar

nombre:

userid:

|                           |            |
|---------------------------|------------|
| ALTAVISTA Carlos Alberto  |            |
| ALTHAUS Leandro           | althaus    |
| ARIAS Elisa Felicitas     | felicitas  |
| BARBA Rodolfo Hector      | rbarba     |
| BASSINO Lilia Patricia    | lbassino   |
| BAUME Gustavo Luis        | gbaume     |
| BENVENUTO Omar Gustavo    | obenvenuto |
| BOSCH Guillermo Luis      | guille     |
| BRANDI Elisande Estela    | ebrandi    |
| BRUNINI Claudio           | claudio    |
| CAMPITELLI Enrique Jose   |            |
| CARPINTERO Daniel Diego   | ddc        |
| CELLONE Sergio Aldo       | scellone   |
| CHAJET Laura              |            |
| CHAVASSE Serafin Jose     | chase      |
| CICHOWOLSKI Silvina       |            |
| CIDALE Lydia Sonia        | lcidale    |
| CINCOTTA Pablo Miguel     | pnc        |
| CORA Sofia                | sacora     |
| CORTI Mariela             |            |
| CRUZADO Alicia            | cruzado    |
| DE BIASI Maria Silvina    | debiasi    |
| DEL COGLIANO Daniel       | daniel     |
| FEINSTEIN Alejandro       | afeinstein |
| FEINSTEIN BAIGORRI Carlos | cfeinstein |
| FERRER Osvaldo            | oferrer    |
| FORTE Juan Carlos         | forte      |
| GARCIA Lia Guillermina    | lia        |
| GIORDANO Claudia          | giordano   |

|                                   |                   |
|-----------------------------------|-------------------|
| <b>HERNANDEZ Carlos</b>           |                   |
| <b>MARANON Cloris</b>             | <b>cloris</b>     |
| <b>MARABINI Rodolfo</b>           | <b>marabini</b>   |
| <b>MARTINEZ Ruben Enrique</b>     | <b>ruben</b>      |
| <b>MARTORELLI Luis</b>            | <b>luis</b>       |
| <b>MENDEZ Raul Mariano</b>        | <b>mmendez</b>    |
| <b>MILESI Gerardo</b>             | <b>gerardo</b>    |
| <b>MONDINALLI Cesar</b>           | <b>mondinal</b>   |
| <b>MONTERO Maria Fernanda</b>     |                   |
| <b>MORRELL Nidia</b>              | <b>nidia</b>      |
| <b>MUZZIO Juan Carlos</b>         | <b>jcmuzzio</b>   |
| <b>NIEMELA Virpi</b>              | <b>virpi</b>      |
| <b>NIEVAS Eledodoro Francisco</b> | <b>library</b>    |
| <b>NUNEZ Josue</b>                | <b>jan</b>        |
| <b>ORELLANA Rosa</b>              | <b>rorellana</b>  |
| <b>ORSATTI Ana Maria</b>          | <b>aorsatti</b>   |
| <b>PERDOMO Raul Anibal</b>        | <b>perdomo</b>    |
| <b>PINCIROLI Roberto Mario</b>    | <b>pincirolis</b> |
| <b>PLASTINO Angel Ricardo</b>     | <b>plastino</b>   |
| <b>SAHADE Jorge</b>               | <b>sahade</b>     |
| <b>SOLIVELLA Gladys</b>           | <b>gladys</b>     |
| <b>TIGNANELLI Horacio Luis</b>    | <b>horacio</b>    |
| <b>VAZQUEZ Ruben Angel</b>        | <b>rvazquez</b>   |
| <b>VERGNE Maria Marcela</b>       | <b>mvergne</b>    |
| <b>WACHLIN Felipe</b>             | <b>fcw</b>        |
| <b>WALDHAUSEN Silvia</b>          | <b>silvia</b>     |



**INSTITUTO ARGENTINO DE RADIOASTRONOMIA**

C.C.5 1894 Villa Elisa, Argentina

tel.:54-21-870230

fax: 54-21-254909

email: user@irma.edu.ar

| <b>Nombre:</b>           | <b>userid:</b> |
|--------------------------|----------------|
| ARNAL Edmundo Marcelo    | arnal          |
| AZCARATE Ismael Norberto | azcarate       |
| BAJAJA Esteban           | bajaja         |
| BAVA Jose Alberto        |                |
| BENAGLIA Paula           | pbenagli       |
| CAPPA Cristina Elisabet  | ccappa         |
| CERSOSIMO Juan Carlos    |                |
| COLOMB Fernando Raul     | rcolomb        |
| COMBI Jorge A.           | combi          |
| HURREL Enrique Eduardo   | hurrel         |
| MARTIN Maria Cristina    | cmartin        |
| MORRAS Ricardo           | morras         |
| OLANO Carlos Alberto     | colano         |
| POPPEL Wolfgang G.L.     | wpoppel        |
| RIZZO Jose Ricardo       | rizzo          |
| ROMERO Gustavo Esteban   | romero         |
| SANZ Aurelio Juan        | sanz           |
| TESTORI Juan Carlos      | jtestori       |

**INSTITUTO DE ASTRONOMIA Y FISICA DEL ESPACIO**

CC 67, SUC 28, 1428 Buenos Aires

tel. 54-1-7816755, 54-1-7832642

fax:54-1-7868114

email: user@iafe.uba.ar

Nombre:

userid:

BAGALA, L. Gabriela

bagala

CANULLO, Maria Victoria

canullo

DUBNER, Gloria

gdubner

FORTE, Juan Carlos

forte

GIACANI, Elsa

egiacani

GIMENEZ de CASTRO, Guillermo

guille

GOMEZ, Daniel

gomez

MANDRINI, Cristina Hemilse

mandrini

OPRADOLCE, Liliana Agustina

opradolce

REYNOSO, Estela

ereynoso

ROTSTEIN, Nestor Osvaldo

rotstein

ROVIRA, Marta Graciela

rovira

VEGA, Ema Irene

irene

## **INSTITUTO DE FISICA ROSARIO**

Bv.27 de febrero 210 bis  
2000 Rosario  
tel.: 54-41-85.3200/3222  
fax.:54-41-82.1772  
e-mail: [userid@ifir.edu.ar](mailto:userid@ifir.edu.ar)

| <b>nombre</b>              | <b>userid:</b> |
|----------------------------|----------------|
| ACERO Sergio Alberto       | usuarios       |
| AQUILANO Roberto Oscar     | aguilano       |
| CASTAGNINO Mario Alberto   | castagnino     |
| DAVOLI Daniel              | usuarios       |
| FERNANDEZ Carlos           | usuarios       |
| FEUGEAS Jorge              | feugas         |
| GONZALEZ Guillermo C.      | usuarios       |
| LARA Luis Pedro            | usuarios       |
| MANACORDA Alberto E. Y.    | usuarios       |
| MARIUZZA Fabio Alejandro   | usuarios       |
| MISSIO Hugo Victor         | usuarios       |
| MONTENEGRO Carlos Evaristo | usuarios       |
| NEIRA Luis                 | usuarios       |
| PIACENTINI Ruben Dario     | piacentini     |
| RITONDALE Blas             | usuarios       |
| ROZGA Valentin             | usuarios       |
| SOSA Carlos Florentino     | usuarios       |
| TRAVELLA Angel             | usuarios       |

## OBSERVATORIO ASTRONOMICO FELIX AGUILAR

Av.Benavidez 8175 oeste, 5413 San Juan, Argentina

tel.:54-64-231494; 54-64-231467

fax: 54-64-214586

email: user@unsjfa.edu.ar

| Nombre:                    | userid:  |
|----------------------------|----------|
| ACTIS Eloy Vicente Antonio |          |
| ALONSO de ADARO Ester      |          |
| CESCO Mario Reynaldo       |          |
| FRANCILE Carlos Natale     | leoncito |
| GALLEGO Miguel             |          |
| GIL HUTTON Ricardo         | rgh      |
| GOMEZ Washington Gerardo   |          |
| GONZALES Alberto Alfredo   | tito     |
| GONZALEZ Zulema Lidia      | zlgarcia |
| LEPEZ Hector Segundo       | leoncito |
| LOPEZ Carlos Eduardo       | celopez  |
| LOPEZ GARCIA Francisco     | quito    |
| MALLAMACI Claudio Carlos   | cmerid   |
| MANRIQUE Walter Tomas      |          |
| MARMOLEJO Luis Fernando    |          |
| NAVARRO Jose Luis          |          |
| PEREZ Jose Alberto         | cmerid   |
| PODESTA Ricardo Cesar      |          |
| SANGUIN Juan Guillermo     | leoncito |
| SEDENO Jorge Antonio       |          |

## OBSERVATORIO NACIONAL DE CORDOBA

Laprida 854 Bo Observatorio

5000 Cordoba, Argentina

tel.54-51-331064

fax:54-51-331063

email: user@oac.uco.edu; user@uncbob.edu.ar

| nombre:                    | userid:  |
|----------------------------|----------|
| ABADI Mario Gabriel        | abadi    |
| AGUERO Estela Laura        | aguero   |
| AHUMADA Javier Alejandro   | ahumada  |
| ARREGUINE Victor           | arreguin |
| BOSIO Maria Alejandra      | ale      |
| CALDERON Jesus Humberto    | calderon |
| CARRANZA Gustavo           | carranza |
| CLARIA Juan Jose           | claria   |
| DIAZ Ruben Joaquin         | diaz     |
| DONZELLI Carlos Jose       | donzelli |
| ESPINDOLA Mariana          | mariana  |
| FERNANDEZ Silvia Margarita | silfer   |
| GARCIA LAMBAS Diego        | lambas   |
| GOLDES Guillermo Victor    | goldes   |
| GUNTHANRT Guillermo Juan   |          |
| HAMITY Victor Hugo         |          |
| LAPASSET Emilio            | lapasset |
| MERLO David Constantino    | merlo    |
| MILONE Luis Ambrosio       | milone   |
| MOSCONI Mirta Beatriz      | atrim    |
| MURIEL Hernan              | muriel   |
| NICOTRA Mariano Augusto    | nicotra  |
| PAOLANTINO Santiago        | santiago |
| PIATTI Andres              | apiatti  |
| RECABARREN Pablo           | pablo    |
| RODRIGUEZ Victor R.        | rodrigue |
| ROHRMANN Rene              | rene     |
| ROIG Fernando Virgilio     | froig    |
| SANCHEZ Julio Cesar        | sanchez  |

|                              |         |
|------------------------------|---------|
| SUAREZ BOEDO Fernando Emilio | suarez  |
| TISSERA Patricia Beatriz     | tissera |
| TORRES Maria Cristina        |         |
| VALOTTO Carlos Alberto       | valotto |
| VEGA Luis Rodolfo            |         |
| VILLADA Monica M.            | villada |

