Astrofísica teórica y numérica en el IAR: presente y futuro

Gabriela S. Vila
IAR-CONICET & GARRA

La Plata, 28 de marzo de 2016

Primeros trabajos teóricos realizados en el IAR:[1]

On a Model of Local Gas Related to Gould's Belt

Carlos A. Olano (IAR-FCAG)

A&A, 112 (1982)

On a Model of Local Gas Related to Gould's Belt

C. A. Olano*

Instituto Argentino de Radioastronomía, Casilla de Correo 5, 1894 Villa Elisa, Buenos Aires, Argentina and Observatorio Astronómico, Universidad de La Plata

Received February 1, accepted April 13, 1982

JUPITER'S SYNCHROTRON EMISSION INDUCED BY THE COLLISION OF COMET SHOEMAKER-LEVY 9

C.A. Olano[1], J.C. Testori[1], and F.R. Colomb[1]

From July 13 to August 21, 1994, we observed Jupiter at 1420 MHz with one of the 30-m single dishes of the Instituto Argentino de Radioastronomía. After the impact of fragment G, we detected a rapid increase of the 21-cm continuum flux, which reached the maximum ($\approx$ 20% of Jupiter's flux) at the end of the impact period and then decayed within 30–60 days. The nature of this radiation is clearly synchrotron. We interpret it in terms of a new population of relativistic electrons ($\approx 10^{29} - 10^{31}$) injected by the impact explosions into the Jovian magnetosphere. We propose a model in which the energies of the fresh electrons, initially with a power law energy spectrum, were highly degraded by the comet dust grains. The model can account for the spectral shape, based on observations at several frequencies. (de Pater et al. 1995, Science 268, 1879). We propose that the relativistic plasma was blown as magnetic clouds, which diluted in a few days. The energy released by the explosions under the form of relativistic electrons is of $\approx 10^{24} - 10^{26}$ erg, i.e., a small fraction of the total energy liberated by the collisions ($\approx 10^{30}$ erg). We suggest the behavior of the flux decay in the various observed frequencies is the result of the diffusion of electrons into the loss-cone due to the resonant scattering of the electrons by Alfven waves.

[1] Instituto Argentino de Astronomía, Argentina

Jupiter's Synchrotron Emission Induced by the Collision of Comet Shoemaker-Levy 9

Olano, C. A.; Testori, J. C.; Colomb, F. R. (IAR) -- RMXAA (1996)

Olano, C. A. (IAR) -- ApSS (1999)

The Origin of the Local System of Gas and Stars

Olano, C. A. (IAR) -- AJ (2001)

[1] S.E.U.O.

Principios de la década de 1990:
comienzo de la investigación en astrofísica relativista

Estudios de variabilidad en blazares con observaciones llevadas a cabo en el IAR

P. Benaglia, R. Colomb, J. Combi, G. Romero, J. C. Testori

Polarization variability of extragalactic radio sources at 1435 MHz

H. C. Luna, R. E. Martínez, J. A. Combi, G. E. Romero (IAR-FCAG)

A&A, 269 (1993)

Polarization variability of extragalactic radio sources at 1435 MHz

H.G. Luna,[1,2,*], R.E. Martínez,[2], J.A. Combi,[1,], and G.E. Romero[1,**]**

[1] Instituto Argentino de Radioastronomía, Casilla de Correos No. 5, 1894 Villa Elisa, Bs. As., Argentina
[2] Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata, Paseo del Bosque S/N, 1900 La Plata, Bs.As., Argentina

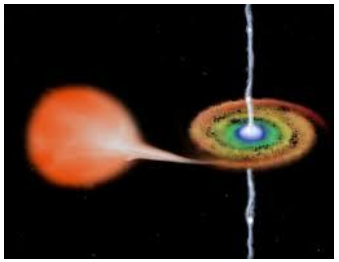
Received January 6, accepted July 22, 1992

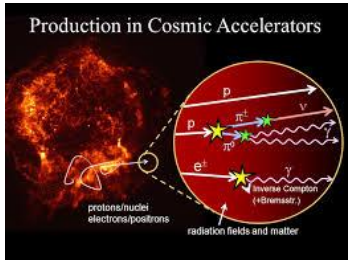
A partir de 1995 hasta el presente:

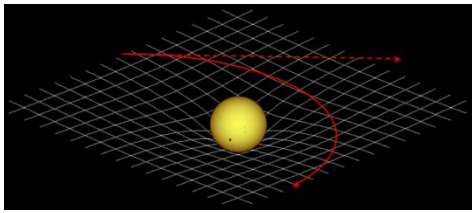
investigación teórica en astrofísica relativista y gravitación (GARRA)

- **Astrofísica relativista:**
  - Fuentes de rayos gamma y neutrinos
  - Objetos compactos (acretantes): estrellas de neutrones y agujeros negros
  - Aceleración y propagación de rayos cósmicos, cascadas EM y hadrónicas

- **Gravitación y cosmología:**
  - Relatividad General
  - Teorías alternativas
  - Cosmología inhomogénea



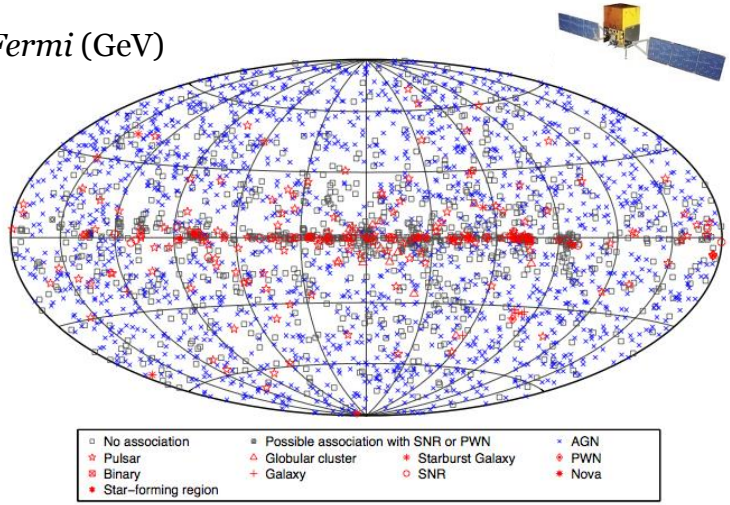




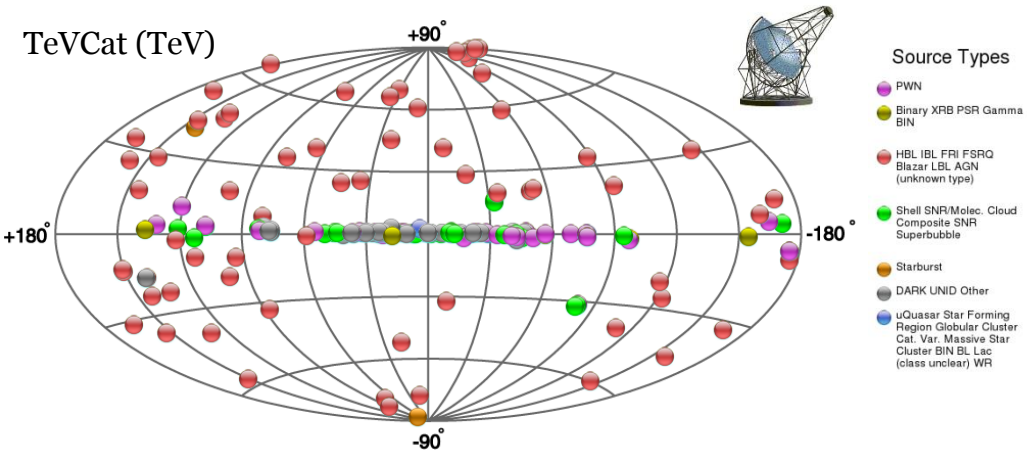
Astrofísica relativista – Fuentes de rayos gamma y neutrinos

~3200 fuentes detectadas con E>100 MeV

Fermi (GeV)



TeVCat (TeV)

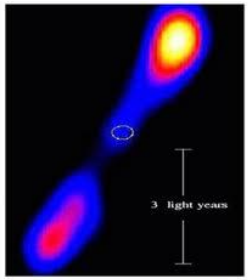


- Sus espectros son no térmicos
- Contribuyen varios procesos radiativos
- Radiación desde radio -> gamma
- Las partículas que emiten son relativistas
- Fuentes candidatas a aceleradoras de rayos cósmicos
- Potenciales fuentes de neutrinos y ondas gravitacionales

Astrofísica relativista – Fuentes de rayos gamma y neutrinos

- Modelos radiativos para *jets* en erupciones de rayos gamma (GRBs), nucleos galáticos activos (AGN), microquasares (MQs), objetos estelares jóvenes (YSO)
- Binarias de estrellas masivas con colisión de vientos
- *Bow shocks* de estrellas fugitivas, nubes de alta velocidad

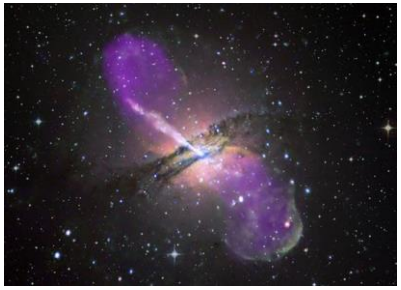
S. del Palacio, Ma. V. del Valle, Ma. C. Medina, A. L. Müller, C. Pepe, G. Romero, F. Vieyro, G. Vila (IAR), A. Araudo (U. de Oxford), M. Orellana (UNRN) y M. Reynoso (IFIMAR), con J. M. Paredes, V. Bosch-Ramon, P. Bordas, V. Moreno (U. de Barcelona)

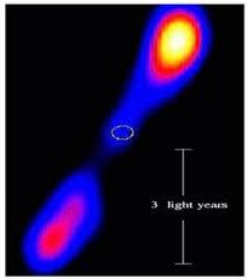


Astrofísica relativista – Fuentes de rayos gamma y neutrinos

- Modelos radiativos para *jets* en erupciones de rayos gamma (GRBs), nucleos galáticos activos (AGN), microquasares (MQs), objetos estelares jóvenes (YSO)
- Binarias de estrellas masivas con colisión de vientos
- *Bow shocks* de estrellas fugitivas, nubes de alta velocidad

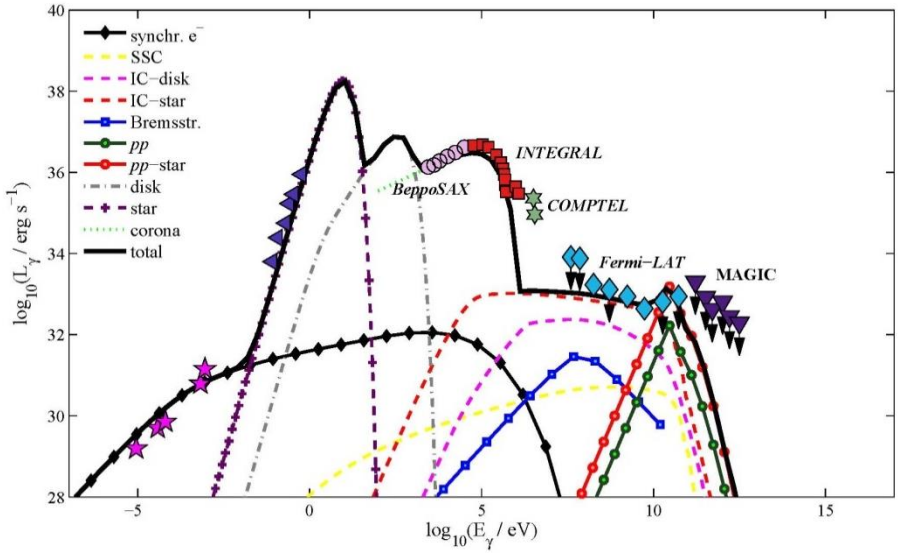
S. del Palacio, **Ma. V. del Valle**, Ma. C. Medina, **A. L. Müller**, C. Pepe, G. Romero, **F. Vieyro**, **G. Vila** (IAR) , **A. Araudo** (U. de Oxford), **M. Orellana** (UNRN) y **M. Reynoso** (IFIMAR), con J. M. Paredes, V. Bosch-Ramon, P. Bordas, V. Moreno (U. de Barcelona)



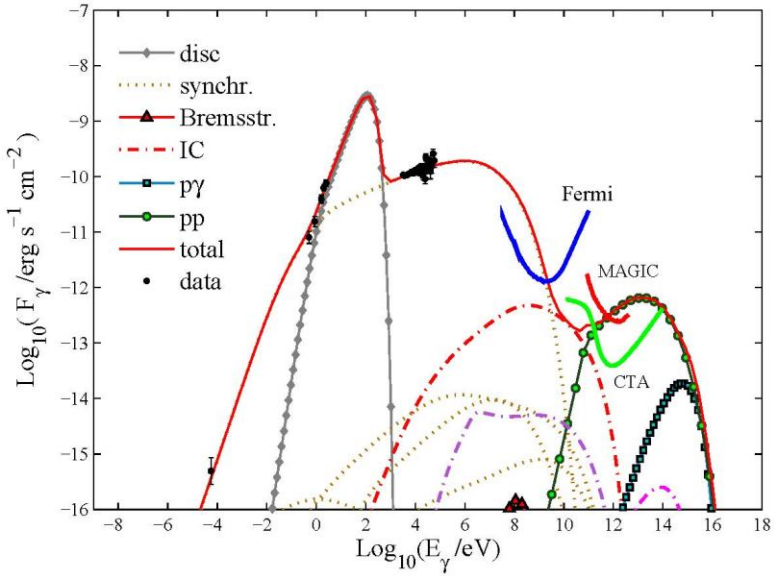


Astrofísica relativista – Fuentes de rayos gamma y neutrinos

- Modelos radiativos para *jets* en microquasares (desde 2002)
  - Modelos lepto-hadrónicos, *jets* inhomogéneos, precesión, interacción con el medio, dependencia temporal, emisión de neutrinos…
  - Predicciones para la emisión gamma
  - Avances reciente: polarización, morfología en radio



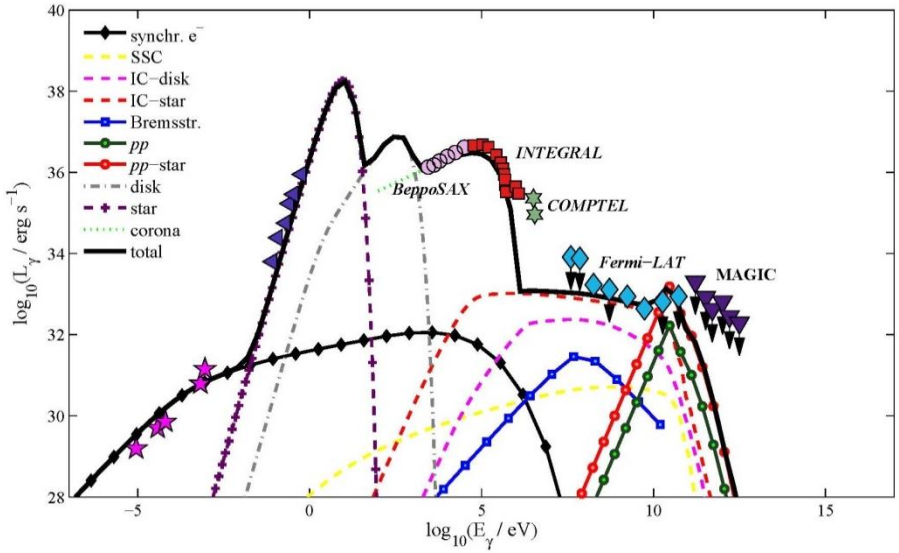
Cygnus X-1 (Pepe, Vila, Romero 2015)



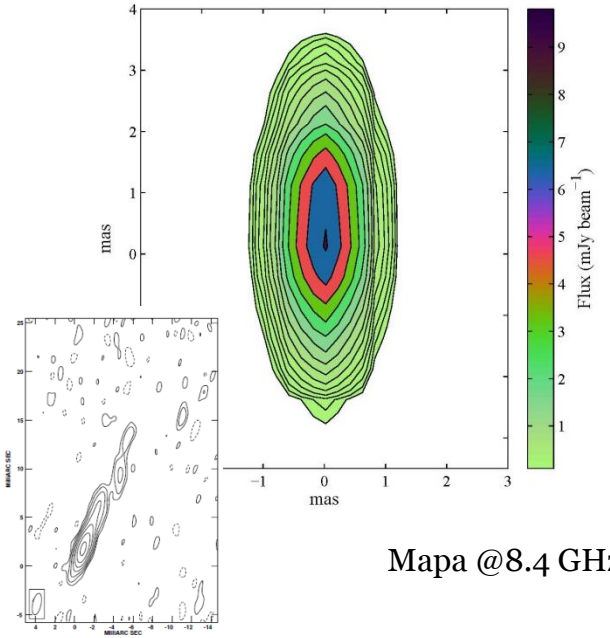
XTE J1118+480 (Vila, Romero, Casco 2012)

Astrofísica relativista – Fuentes de rayos gamma y neutrinos

- Modelos radiativos para *jets* en microquasares (desde 2002)
  - Modelos lepto-hadrónicos, *jets* inhomogéneos, precesión, interacción con el medio, dependencia temporal, emisión de neutrinos…
  - Predicciones para la emisión gamma
  - Avances reciente: polarización, morfología en radio



Cygnus X-1 (Pepe, Vila, Romero 2015)



Mapa @8.4 GHz

Gravitación y cosmología

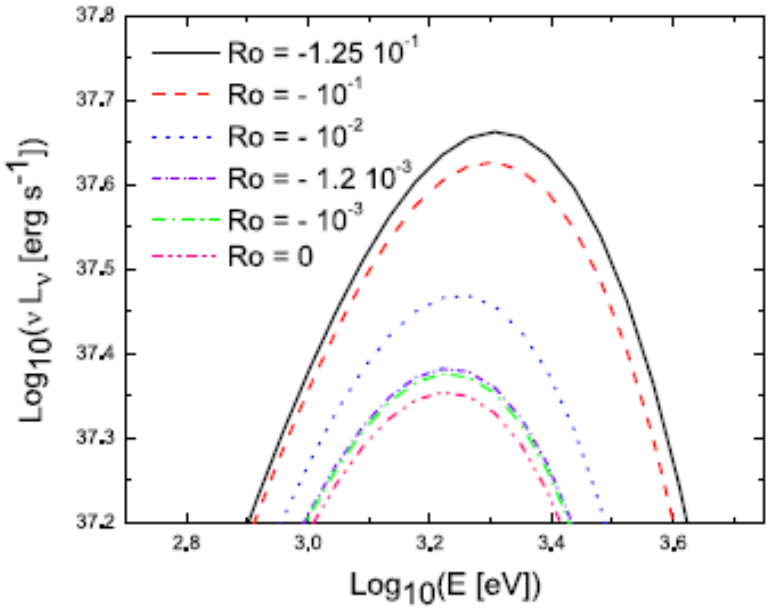
- *Lensing* gravitacional, agujeros de gusano, interiores de agujeros negros, termodinámica de agujeros negros, teorías de gravedad modificadas, cosmología inhomogénea,...

F. López Armengol, D. Pérez, G. Romero, F. Teppa Pania (IAR) , con Santiago Pérez Bergliaffa (U. Rio de Janeiro), Ernesto Eiroa (IAFE)

- Discos de acreción alrededor de agujeros negros en gravedad modificada *f(R)*

mediciones *spin* + espectro térmico

--> cotas para desviaciones de la RG

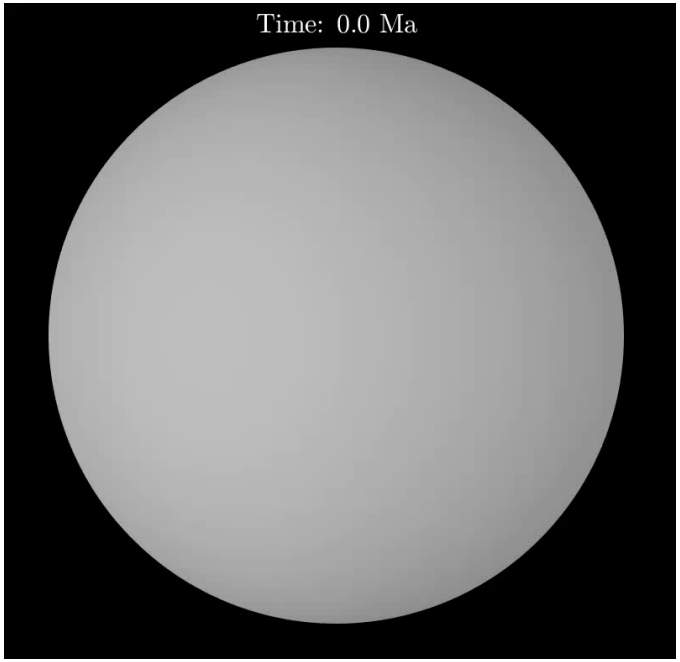


f(R) Kerr (Pérez, Romero, Pérez Bergliaffa 2013)

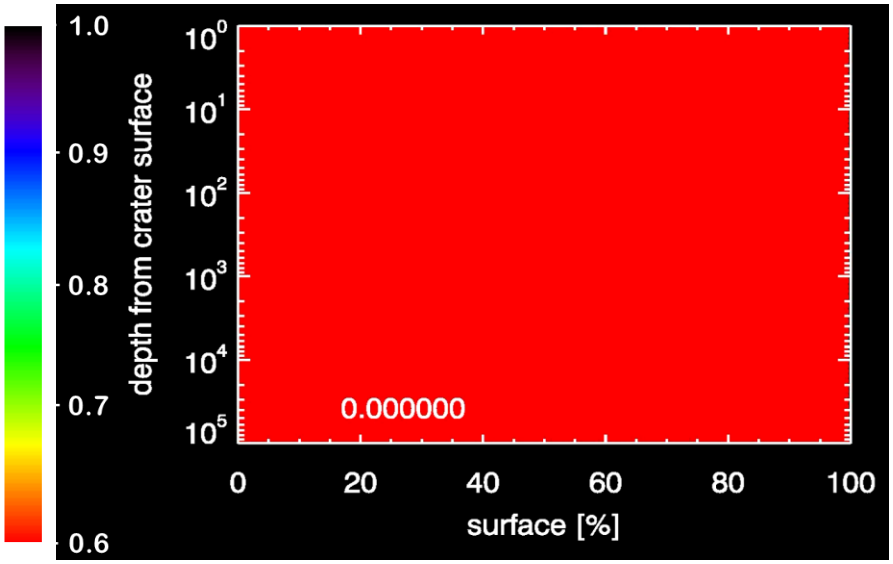
Ciencias planetarias

- Formación y disrupción de planetesimales; formación y evolución colisional de objetos parentales de condritas en el cinturón de asteroides. Estudios analíticos y numéricos.

M. G. Parisi (IAR), con Grupo de Ciencias Planetarias (FCAG), y E. Beitz y J. Blum (IGeP, U. de Braunschweig)

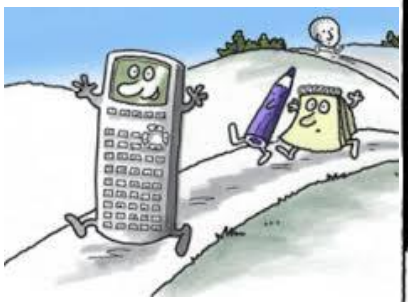


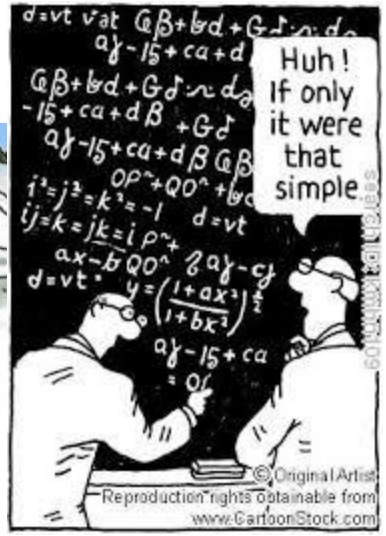
Producto: asteroide Lutetia



ApJ 2016 (aceptado)

Astrofísica numérica en el IAR





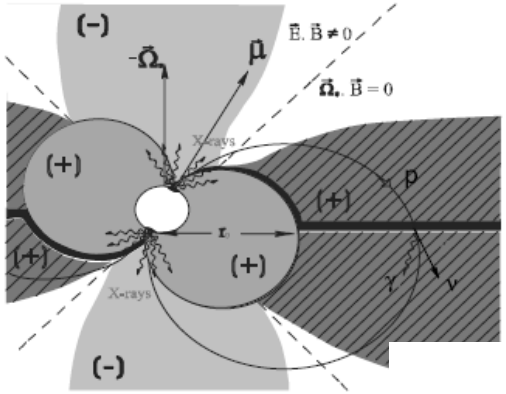
+

- Lenguajes de programación: C, C++, Fortran, Python, Matlab
- Cómputo simbólico: Mathematica, Maple
- Cómputo en paralelo: OMP, MPI
- Aplicación intensiva de métodos numéricos
- Códigos propios y de terceros

Simulaciones – Primer trabajo

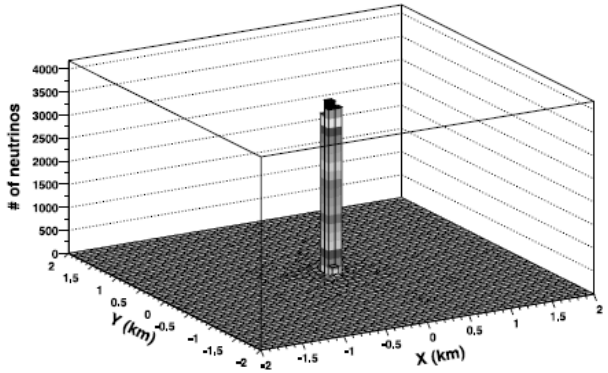
- Emisión de neutrinos en discos de estrellas de neutrones acretantes

G. Romero (IAR), con L. Anchordoqui y T. McCauley (Northeastern University. Boston), D. Torres (LLNL, ex-IAR) y F. Aharonian (MPIK)



- Simulación de cascada hadrónica en el disco
- Inyección de neutrinos por decaimiento de $\pi^{\pm}$
- Predicciones para XRB con Icecube
- Códigos públicos DPMJET y GEANT4

ApJ 589 (2003)



Simulaciones – Propagación de rayos cósmicos

- **PRINCE** (**PR**opagation and **IN**teraction in **C**osmic **E**nvironments):
  un códigos para calcular la propagación de partículas y radiación de altas energías en ambientes astrofísicos

L. Pellizza, Ma. C. Medina (IAR), con M. Orellana (UNRN) y S. Pedrosa (IAFE)

sin campo magnético

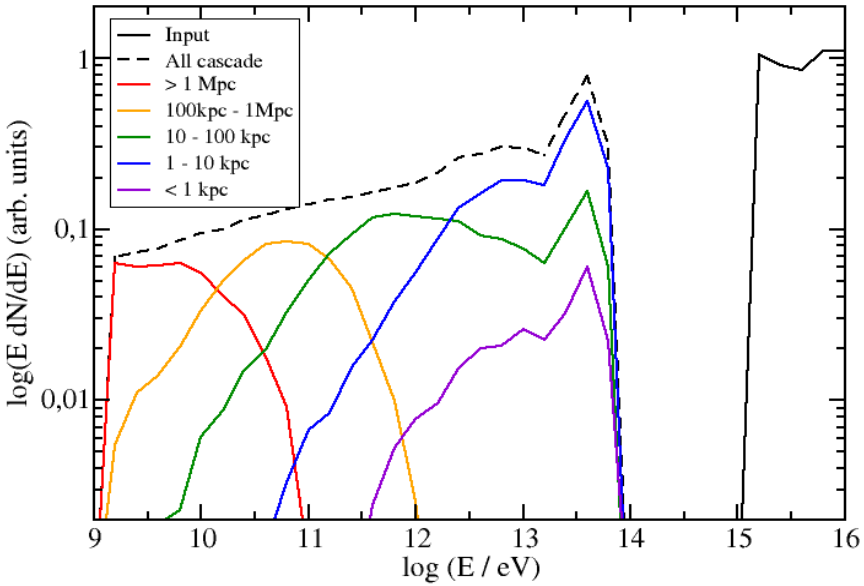
con campo magnético

Simulaciones – Propagación de rayos cósmicos

- **PRINCE** (**PR**opagation and **IN**teraction in **C**osmic **E**nvironments):

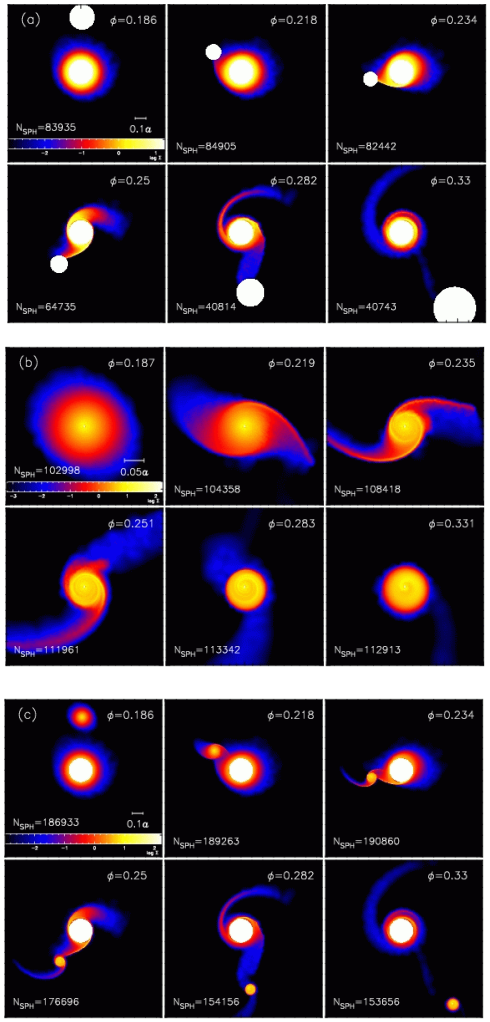
  un código para calcular la propagación de partículas y radiación de altas energías en ambientes astrofísicos

L. Pellizza, Ma. C. Medina (IAR), con M. Orellana (UNRN) y S. Pedrosa (IAFE)



con campo magnético

Simulaciones HD y MHD de flujos astrofísicos



- Binaria de rayos gamma LS I +61 303:

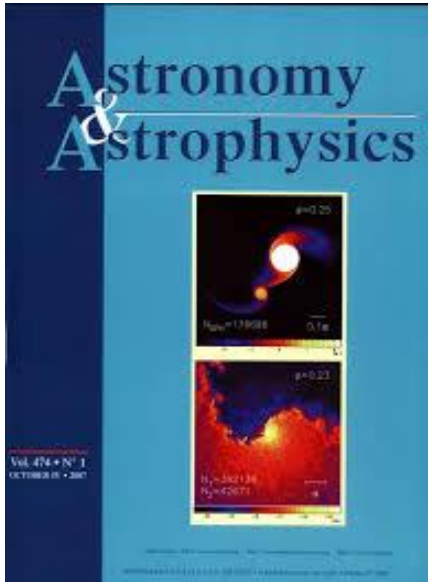
  colisión de vientos o microquasar?

G. Romero & M. Orellana (IAR),

con A. Okazaki (Japón) y S. Owocki (EEUU)

Simulaciones SPH en 3D (Okazaki)

en supercomputadoras del Yukawa Inst. for Theoretical Physics & U. de Hokkaido (Japón)



A&A 474 (2007)

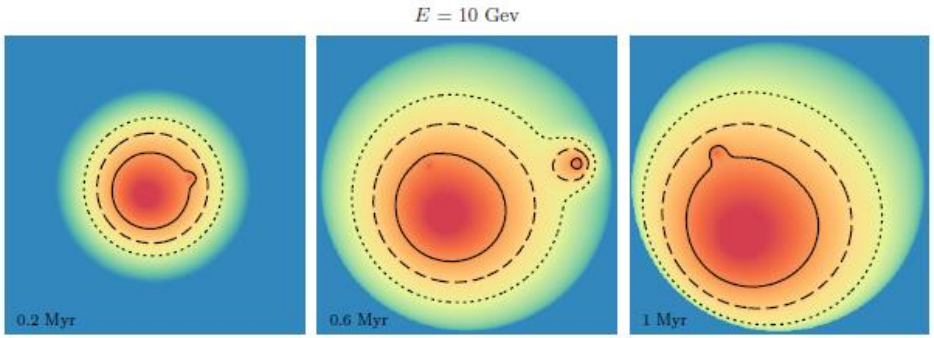
Simulaciones HD y MHD de flujos astrofísicos

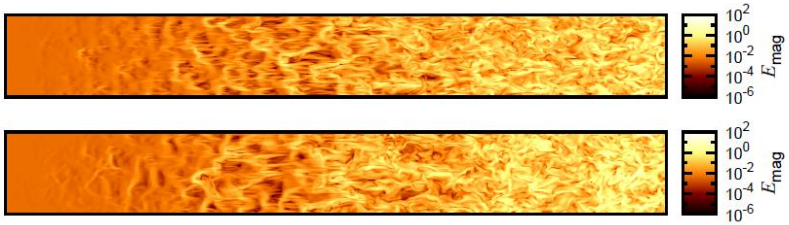
- Aceleración de rayos cósmicos por estrellas fugitivas en nubes moleculares

M. V. del Valle y G. E. Romero (IAR), con R. Santos-Lima (IAG, Brasil) (2014)

- Simulaciones magnetohidrodinámicas: amplificación de campo magnético en flujos astrofísicos turbulentos; aceleración de rayos cósmicos en SNR.

M. V. del Valle (IAR), con A. Lazarian (U. of Wisconsin, EEUU) y R. Santos-Lima (2016)





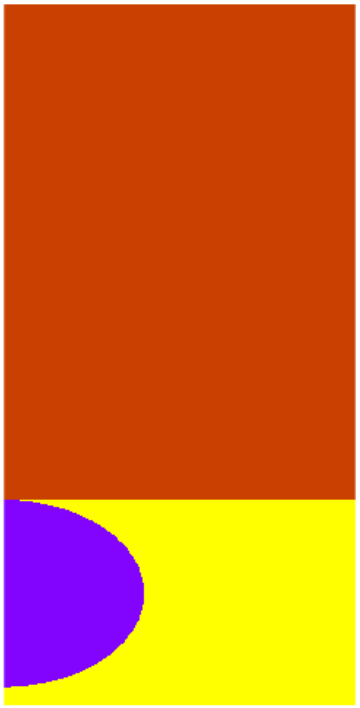
- Código propio y aplicación del código público PLUTO
- Simulaciones en supercomputadoras (Brasil)

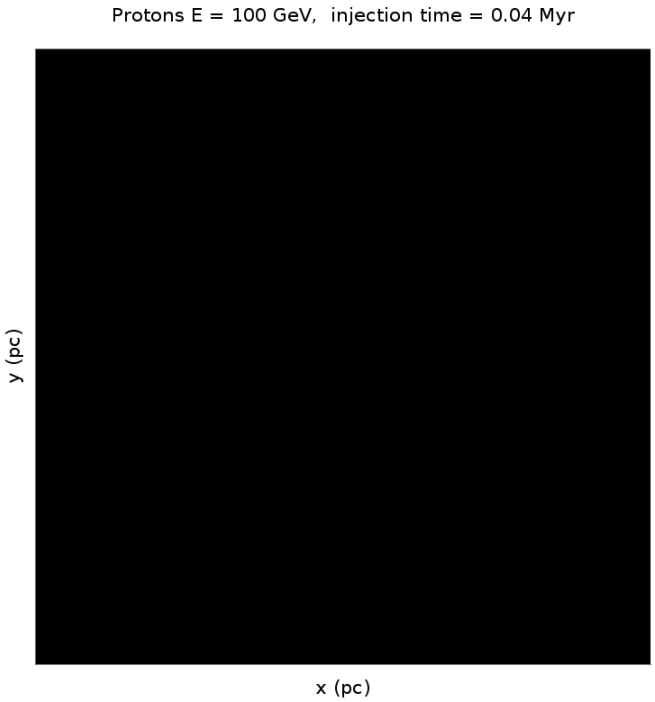
Simulaciones HD y MHD de flujos astrofísicos

- Colisiones de nubes de alta velocidad con el plano galáctico, inyección de part. relativistas

M. V. del Valle y G. E. Romero (IAR), con R. Santos-Lima (IAG, Brasil) (en progreso).

Ana Laura Müller (Tesis de Licenciatura, Tesis Doctoral en progreso en el IAR).

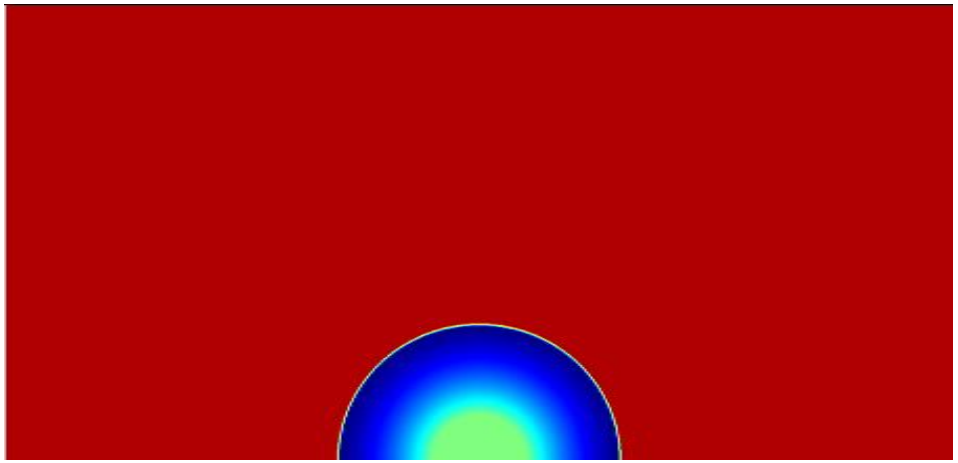




Simulaciones HD y MHD de flujos astrofísicos

- Simulaciones hidrodinámicas de la interacción de vientos estelares de estrellas de alta velocidad con el medio

  G. Vila & G. E. Romero (IAR), con Manel Perucho (U. de Valencia) (en progreso)



- Código RATPENAT por M. Perucho, extensamente aplicado al estudio de *jets* astrofísicos
- Simulaciones 3D en supercomputadoras (cluster *Tirant*, U. de Valencia)

Recursos computacionales propios: GARRA mini-cluster "*Gordo*"

- **Dos nodos** en operación (2012, PICT P. Benaglia)
  - 1 procesador Intel Core i7-3930K (6 núcleos, 12 hebras)
  - 2 GPU Nvidia GeForce GTX 580
  - 12 TB disco rígido (total)
  - 16 GB memoria RAM
  - Linux Rocks 6.1
  - UPS APC 2500 VA (adquirida por el IAR)
- Un **tercer nodo** ya adquirido (2015, PICT P. Benaglia)
  - 2 procesadores Intel Xeon E5-2620 (6 núcleos, 12 hebras cada uno)
  - 1 coprocesador Intel Xeon Phi
  - 2 TB disco rígido
  - 16 GB memoria RAM
  - UPS APC 2000 VA

- **Finalidad:** ejecución de simulaciones de mediana escala, prototipado de código, *benchmarking*

Comentarios finales

- **Astrofísica teórica en el IAR:**
  - Larga y exitosa tradición de trabajo en astrofísica teórica
  - Presente auspicioso: gran número de doctorados y tesinas en progreso
  - Futuro: continuidad de las líneas de investigación asegurada

- **Astrofísica numérica en el IAR:**
  - Presente auspicioso: varios proyectos en marcha
  - Activas colaboraciones con otras instituciones
  - Necesidad de ampliar facilidades de cómputo propias
  - Futuro: supercomputación en Argentina

Cluster "*Tupac*" (CONICET)