

Grandes proyectos del CRyA-UNAM y redes de banda muy ancha

Enrique Vázquez Semadeni
Luis Felipe Rodríguez
Laurent Loinard

Centro de Radioastronomía y Astrofísica,
UNAM, Morelia



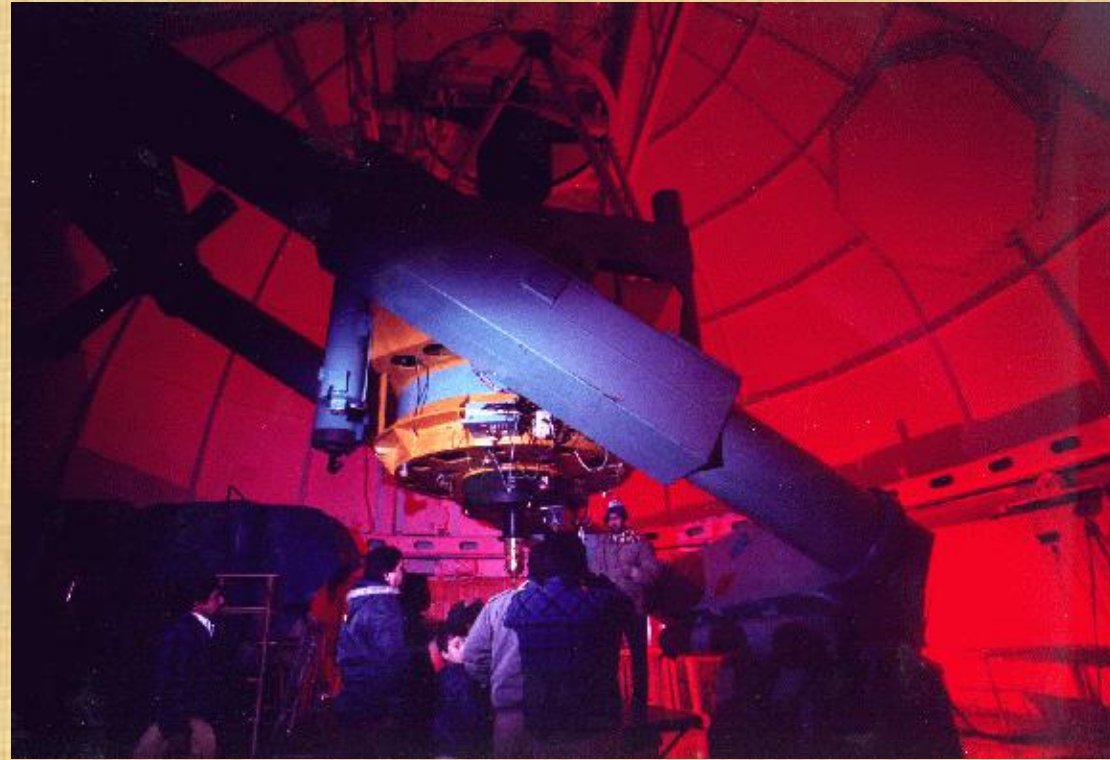
¿Qué hace un astrónomo?

- El astrónomo se dedica a **observar y entender** (físicamente) los objetos y fenómenos del Universo.

- La observación se hace a través de grandes telescopios.



Hubble Space Telescope



Telescopio en el Observatorio Astronómico Nacional, San Pedro Mártir, BC (UNAM)



Very Large Array: radiotelescopio (interferómetro) en Nuevo México

- El **entendimiento** se hace aplicando varias áreas de la ciencia básica (física, química, biología) para describir los objetos y fenómenos del Universo. Puede usar
 - Cálculos analíticos (a “mano”, lápiz y papel)
 - ... o cálculos numéricos (en computadora)

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u}) = 0, \quad (1a)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla \mathbf{u} = & -\frac{\nabla P}{\rho} - v_8 \nabla^8 \mathbf{u} - \left(\frac{J}{M_a}\right)^2 \nabla \phi \\ & + \frac{1}{\rho} (\nabla \times \mathbf{B}) \times \mathbf{B} - 2\boldsymbol{\Omega} \times \mathbf{u}, \end{aligned} \quad (1b)$$

$$\frac{\partial e}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla e = -(\gamma - 1)e \nabla \cdot \mathbf{u} + \kappa_T \frac{\nabla^2 e}{\rho} + \Gamma_d + \Gamma_s - \rho \Lambda, \quad (1c)$$

$$\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = \nabla \times (\mathbf{u} \times \mathbf{B}) - v_8 \nabla^8 \mathbf{B}, \quad (1d)$$

$$\nabla^2 \phi = \rho - 1, \quad (1e)$$

Nodo de Reducción y Análisis de Datos de ALMA

Luis F. Rodríguez

Centro de Radioastronomía y Astrofísica,
UNAM, Morelia



- Los radioastrónomos del CRyA trabajan con radiotelescopios, tanto de una sola antena, como “arreglos” para **interferometría**.
 - **VLA** (Very Large Array)
 - **EVLA** (Expanded Very Large Array) (nueva electrónica)
 - **VLBA** (Very Large Baseline Array)
 - **ALMA** (Atacama Large Millimeter/Submillimeter Array)

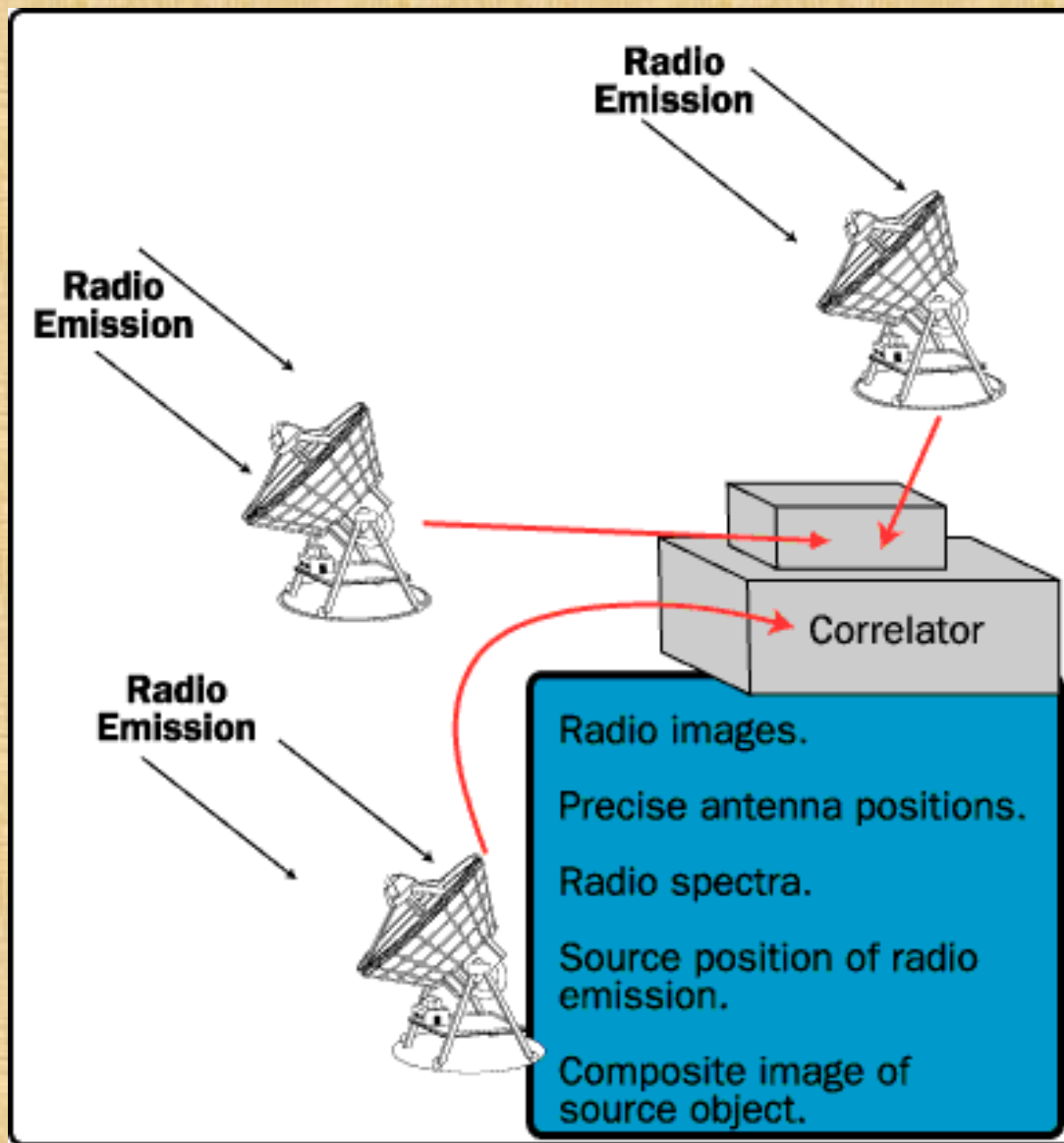
Very Large Array: 27 antenas de 25 metros de diámetro

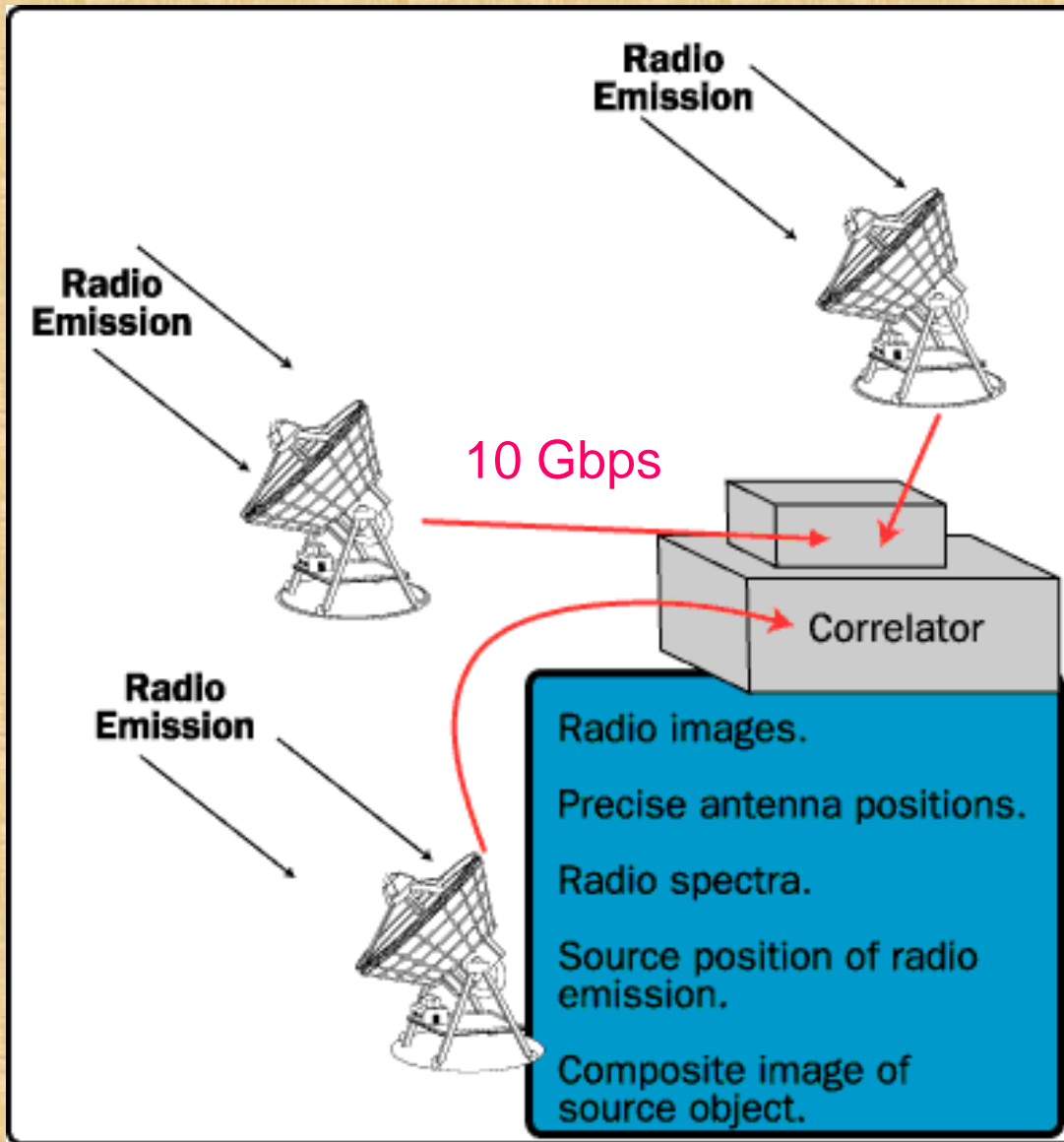


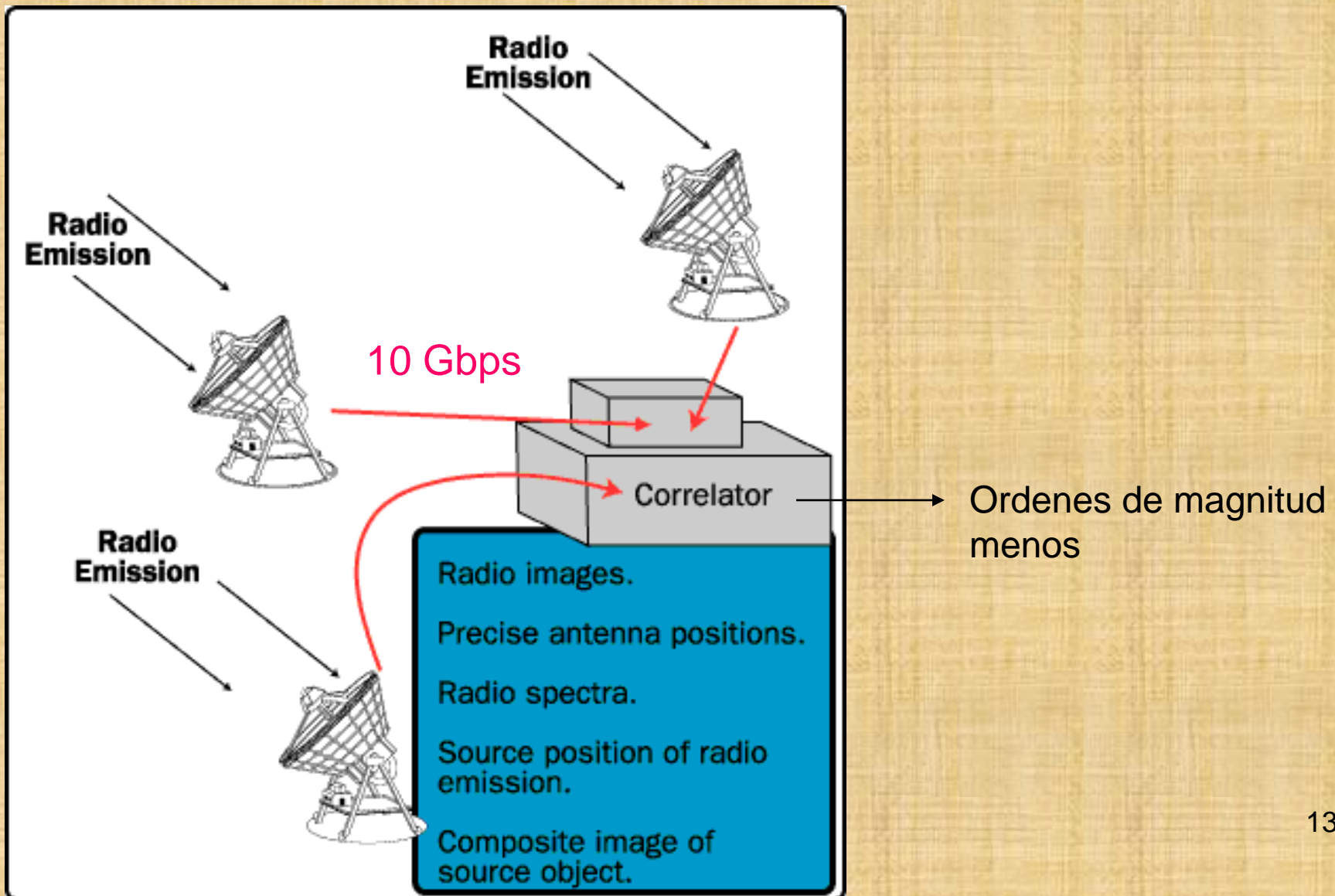
ALMA: 54 antenas de 12 metros de diámetro y 12 de 7 metros (en operación en 2012).



- Los interferómetros trabajan apuntando muchas antenas hacia el mismo objeto, y correlacionando las señales de todas para crear un patrón de interferencia.







“Data rates” de algunos interferómetros

- VLA (1980-2010) 0.3 Mbps
- EVLA (2011-) 25 Mbps
- ALMA (2012-) 65 Mbps

Proyecto de crear un nodo de ALMA en el CRyA

El grupo del Dr. Luis Felipe Rodríguez ha sometido un proyecto a CONACYT con el objetivo de crear un nodo para reducción y análisis de datos de ALMA en el CRyA.

Adquirirá un “cluster” de ~ 200 cores.

Dará servicio a México y Centroamérica.

Requerimientos de ancho de banda

El gran volumen de datos que generarán estos nuevos interferómetros requerirá de anchos de banda mucho mayores que los ahora disponibles.

1 hora de observación en VLA = 8 GB

1 hora de observación en ALMA = 234 GB

The Gould's Belt

Distances Survey



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO

Laurent Loinard

Centro de Radioastronomía y Astrofísica,
UNAM, Morelia



The Gould's Belt Distances Survey:

- Es un proyecto *Legacy* del NRAO, cuyo responsable es el Dr. Laurent Loinard.
- La meta es determinar la distribución de las regiones de formación estelar en la vecindad Solar así como su estructura 3D y su dinámica interna.
- Utiliza el VLBA (Very Large Baseline Array)



Mauna Kea
Hawaii



Owens Valley
California



Brewster
Washington



North Liberty
Iowa



Hancock
New Hampshire



Kit Peak
Arizona



Pie Town
New Mexico



Fort Davis
Texas



Los Alamos
New Mexico



St. Croix
Virgin Islands

EL VLBA (Very Long Baseline Array)



El VLA (Very Large Array)



EI GBT (Green Bank Telescope)

- Se utilizarán 3000 horas de tiempo de observación con el VLBA +GBT y 120 horas de observación con el EVLA.
- Para el EVLA, en el modo de observación usado, 1 hora corresponde a 15 GB.
- Para el VLBA+GBT en el modo utilizado, 1 hora corresponde a 2 GB.
- En total, colectaremos aproximadamente 8 TB ($15 \times 120 = 1.8$ TB con en EVLA y $2 \times 3000 = 6$ TB con el VLBA).
- Transferir esta cantidad de datos desde EEUU (Nuevo México), donde se generan, hasta Morelia a 20 Mbps requerirá aproximadamente 900 horas, o 37 días.

- La manipulación de los datos se hará por completo en Morelia.
- Para cada juego de datos, necesitamos alrededor de 3 veces el espacio ocupado por los datos mismos. Es decir, que para los 8 TB de datos que colectaremos, necesitaremos 20 TB de espacio de disco.
- La calibración y manipulación de datos es pesada en términos de I/O. La mejor solución parece ser un sistema LUSTRE con máquinas intermedias (procesadores 24 nudos con 32/64 GB de RAM).

Simulaciones de Turbulencia Interestelar y Formación de Nubes Moleculares

Enrique Vázquez Semadeni

Centro de Radioastronomía y Astrofísica,
UNAM, Morelia



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO



- El entendimiento se hace aplicando varias áreas de la ciencia básica (física, química, biología) para describir los objetos y fenómenos del Universo. Puede usar

- Cálculos analíticos (a “mano”, lápiz y papel)
- ... o cálculos numéricos (en computadora)

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u}) = 0, \quad (1a)$$

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla \mathbf{u} = -\frac{\nabla P}{\rho} - v_8 \nabla^8 \mathbf{u} - \left(\frac{J}{M_a}\right)^2 \nabla \phi + \frac{1}{\rho} (\nabla \times \mathbf{B}) \times \mathbf{B} - 2\boldsymbol{\Omega} \times \mathbf{u}, \quad (1b)$$

$$\frac{\partial e}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla e = -(\gamma - 1)e \nabla \cdot \mathbf{u} + \kappa_T \frac{\nabla^2 e}{\rho} + \Gamma_d + \Gamma_s - \rho \Lambda, \quad (1c)$$

$$\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = \nabla \times (\mathbf{u} \times \mathbf{B}) - v_8 \nabla^8 \mathbf{B}, \quad (1d)$$

$$\nabla^2 \phi = \rho - 1, \quad (1e)$$

- En el cálculo numérico, las computadoras se utilizan para
 - Realizar el cálculo numérico (integrar las ecuaciones de la magnetohidrodinámica).
 - Visualizar y analizar los datos.

Supercomputadora CRAY-YMP de la
UNAM (DGSCA) 1991-2001



Simulación numérica de la turbulencia en el disco galáctico para estudiar la formación de las nubes en donde nacen las estrellas realizada en la Cray Y-MP.

Incluye: campo magnético, autogravedad, enfriamiento e inyección de energía por estrellas.

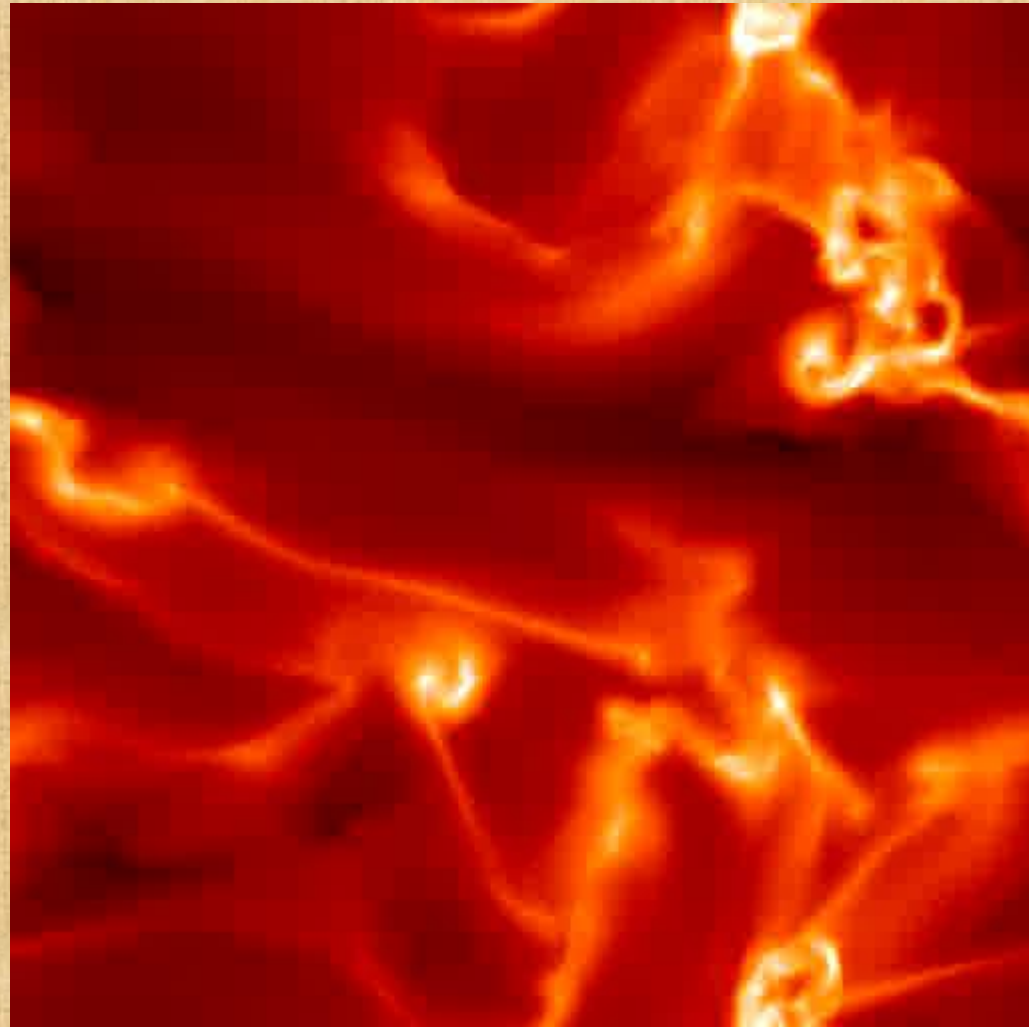
Código: Propio, pseudo-espectral.

Se muestra el campo de densidad, a lo largo de 65 millones de años.

Resolución: 512x512.

Passot, Vázquez-Semadeni & Pouquet 1995.

1 kpc = 3260 años luz





“Cluster” de 34 CPUs, 4 TB
dd, conectividad Myrinet del
grupo de **Turbulencia
Astrofísica** del CRyA-UNAM
2004-2011 28

Simulación numérica de formación de nubes y estrellas

– El escenario:

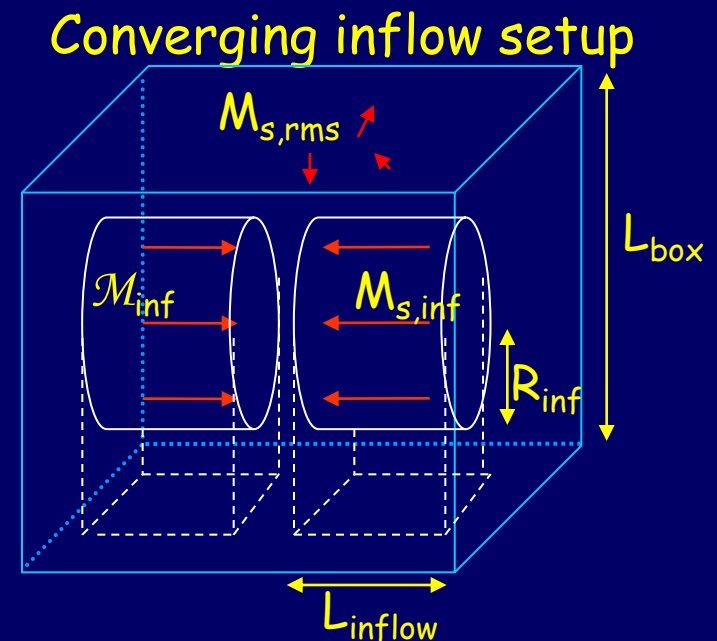
$M_{s,inf}$: Mach number of inflow speed
w.r.t. warm gas.

$M_{s,rms}$: Mach number of background
turbulence in WNM.

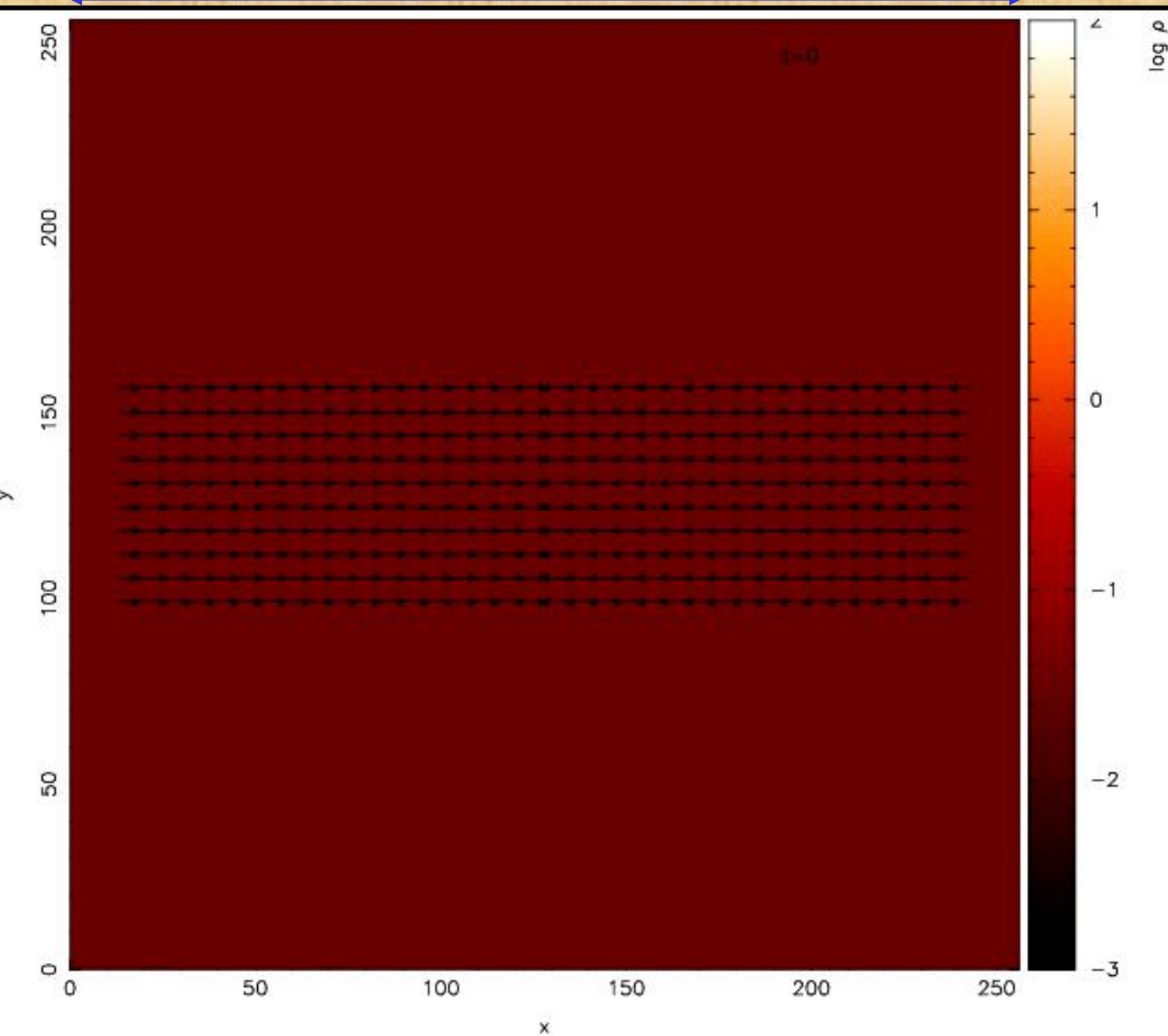
\mathcal{M}_{inf} : Mass in colliding cylinders
 $= 2 \rho \pi R_{inf}^2 L_{inf}$

$n_{WNM} = 1 \text{ cm}^{-3}$

$T_{WNM} = 5000 \text{ K}$



835 años-luz



Vista de canto.

Incluye: autogravedad, hidrodinámica y enfriamiento.

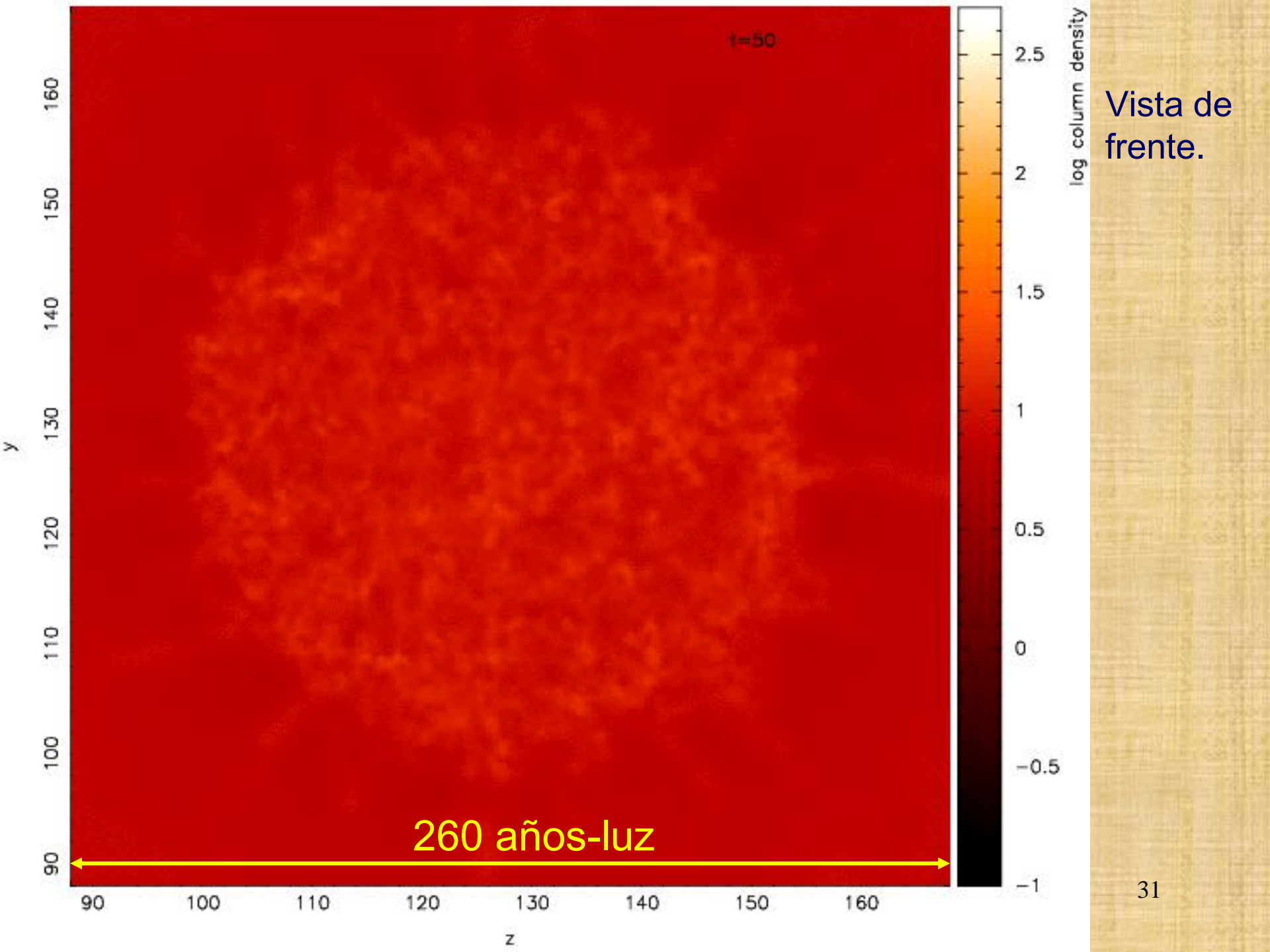
Código: Gadget (SPH), dominio público.

Resolución: $148^3 = 3.2 \times 10^6$ partículas

Equipo: Cluster CRyA, 16 CPUs.

Datos por corrida ~ 32 GB

Vázquez-Semadeni, Gómez, Jappsen, Ballesteros, González & Klessen 2007, ApJ, 657, 870





Nuevo cluster” de 176 cores +
448 CUDA cores, conectividad
Infiniband 40 Gbps y 30 TB dd
del grupo de **Turbulencia
Astrofísica** del CRyA-UNAM
2011-

Supercomputadora KanBalam de la Dirección de Servicios de
Cómputo Académico, UNAM: 1350 cores, 128 TB dd.



Simulaciones numéricas de turbulencia supersónica en un medio isotérmico autogravitante

Vázquez-Semadeni et al. 2008,
MNRAS, 390, 769

Código: propio (Jongsoo Kim, KASI, Corea del Sur), malla fija.

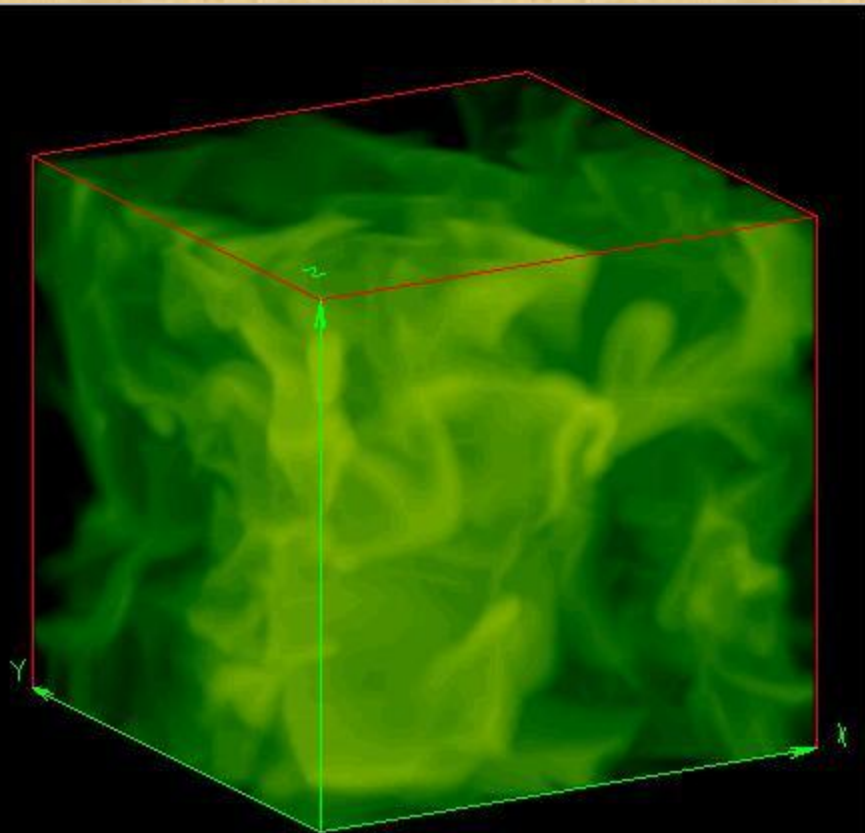
Incluye: auto-gravedad, agitación turbulenta.

Resolución: 512^3

Equipos: KanBalam, 32 CPUs; cluster en Corea.

Table 1. Run parameters.

Name	L (pc)	n_0 (cm^{-3})	M (M_\odot)	L_J (pc)	J	M_s (real)	α (real)	v_{rms} (km s^{-1})	t_{ff} (Myr)	t_{grav} (Myr)	t_{turb} (nominal) (Myr)	Grid cell size (pc)
Ms8J2	1	2000	115.8	0.5	2	8.6	1.4	1.7	2.5	2	0.625	0.001 95
Ms16J4	4	500	1853	1	4	15.7	1.2	3.1	5	4	1.25	0.007 81
Ms24J6	9	222.22	9382	1.5	6	23.0	1.1	4.6	7.5	6	1.875	0.0175



“LARGE”

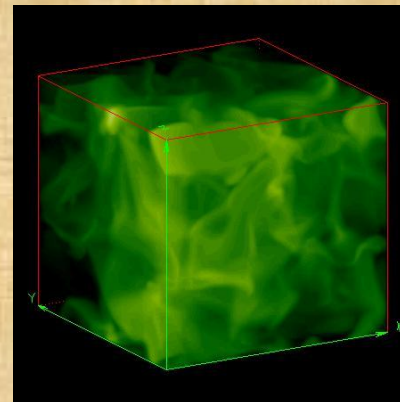
$$M_s = 24$$

$$\Delta v = 4.8 \text{ km s}^{-1}$$

$$J = 6$$

$$L = 9 \text{ pc}$$

$$\langle n \rangle = 222 \text{ cm}^{-3}$$



“MEDIUM”

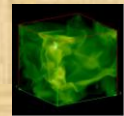
$$M_s = 16$$

$$\Delta v = 3.2 \text{ km s}^{-1}$$

$$J = 4$$

$$L = 4 \text{ pc}$$

$$\langle n \rangle = 500 \text{ cm}^{-3}$$



“SMALL”

$$M_s = 8$$

$$\Delta v = 1.6 \text{ km s}^{-1}$$

$$J = 2$$

$$L = 1 \text{ pc}$$

$$\langle n \rangle = 2000 \text{ cm}^{-3}$$

ALL: resolution 512^3

$T = 11.4 \text{ K}$, $c_s = 0.2 \text{ km s}^{-1}$

Datos por corrida: ~180 GB

Tiempo de transferencia CU-
Morelia @ 28 Mbps (máximo
permisible): ~14 hrs por corrida
(para análisis y visualización)

Tiempo transferencia Corea-
Morelia @ 4 Mbps: ~ 4.5 días

Supercomputadora HLRB2 en el Centro de Investigación Leibnitz,
Munich, Alemania. Sistema SGI Altix 4700: 9728 cores, 39 TB RAM,
600 TB dd



Supercomputadora JADE en el Centro Nacional Informático de la Enseñanza Superior (CINES) en Francia: 12,888 cores, 40 TB RAM, 500 TB disco



Simulaciones numéricas de formación de nubes moleculares con campo magnético, difusión ambipolar, autogravedad, y formación de partículas estelares.

Vázquez-Semadeni, Banerjee, Gómez, Hennebelle, Duffin & Klessen, 2011, MNRAS, en prensa

Código: FLASH, malla adaptiva.

Incluye: auto-gravedad, enfriamiento, campo magnético, difusión ambipolar, partículas sumidero.

Resolución: máxima equivalente a 8192^3 .

Equipo: Leibnitz Center, Munich, Alemania, 512 cores.

0.00 Myr



Boxsize 80.0 pc

260 años luz

40

Datos por corrida: ~1 TB

Tiempo por corrida: ~150,000 horas CPU = 12 días en 512 cores

Tiempo transferencia @ 28 Mbps: ~ 80 hrs = 3.3 días

Tiempo transferencia @ 4 Mbps: ~ 560 hrs = 23 días!

Conclusiones

- En términos científicos, estos estudios han aportado avances importantes:
 - Cambio de paradigma del estado de las nubes moleculares, de equilibrio, a colapso gravitacional.
 - Definición clara del papel jugado por los diferentes agentes físicos (turbulencia, gravedad, campo magnético, retroalimentación estelar, etc.) en la estructura de las nubes y el control de la ***tasa de formación estelar***.
 - Se encuentran a nivel de frontera en la comunidad astronómica.
- Los requerimientos de capacidad de procesamiento crecen exponencialmente.
- Los requerimientos de velocidad de transferencia crecen a la par de los de procesamiento.

- **Para datos de supercómputo**, la sola transferencia de los datos desde el sitio de producción hasta el sitio de análisis, requiere tanto ancho de banda como aplicaciones altamente sofisticadas, como videoconferencia, control remoto en tiempo real, etc.

FIN