

# **Agujeros Negros Astrofísicos;** *en la enseñanza de las ciencias*

Héctor Aceves

aceves@astro.unam.mx

Instituto de Astronomía, UNAM

Ensenada, BC



**CUDI**

23 - 25 mayo  
2012

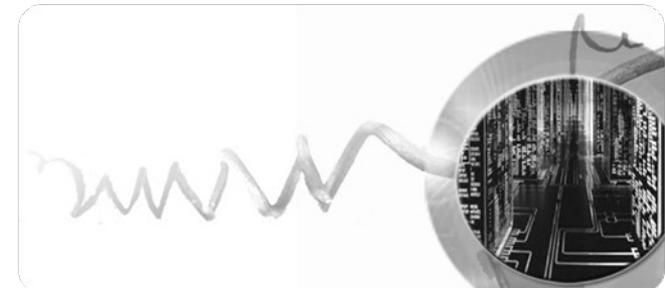
Ensenada, Baja California



# CONTENIDO

Reunión Primavera 2012 | Ensenada, Baja California

1. INTRODUCCIÓN
2. AGUJEROS NEGROS ASTROFISICOS
3. GALAXIAS QUE ALBERGAN AGUJEROS NEGROS
4. COMENTARIOS FINALES



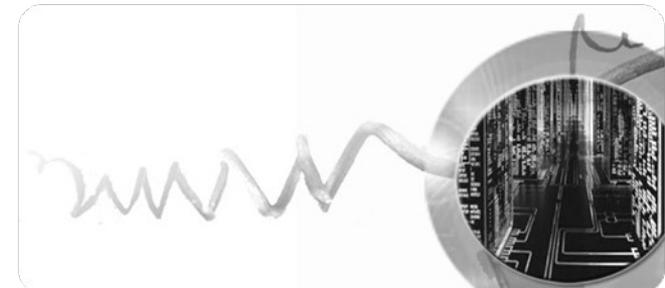
# CONTENIDO

## 1. INTRODUCCIÓN

## 2. AGUJEROS NEGROS ASTROFISICOS

## 3. GALAXIAS QUE ALBERGAN AGUJEROS NEGROS

## 4. COMENTARIOS FINALES



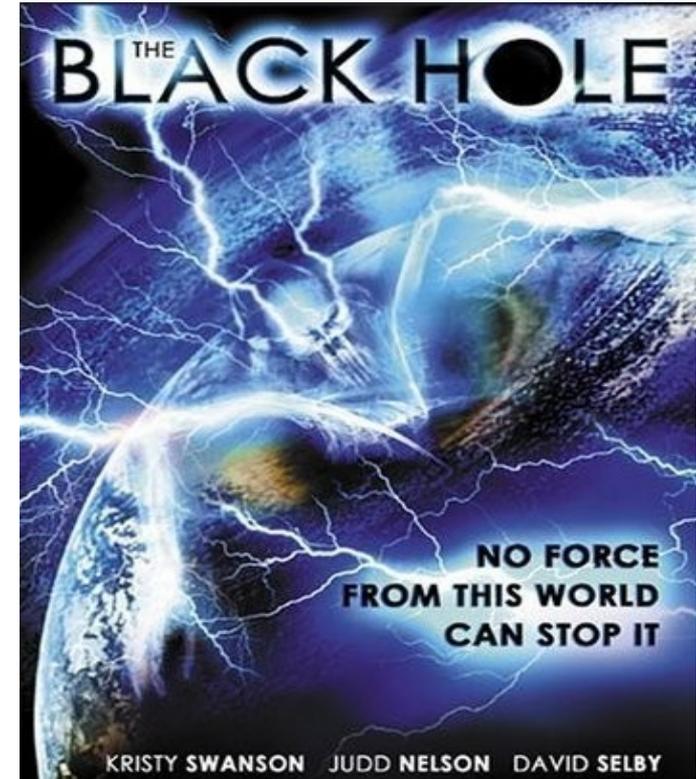
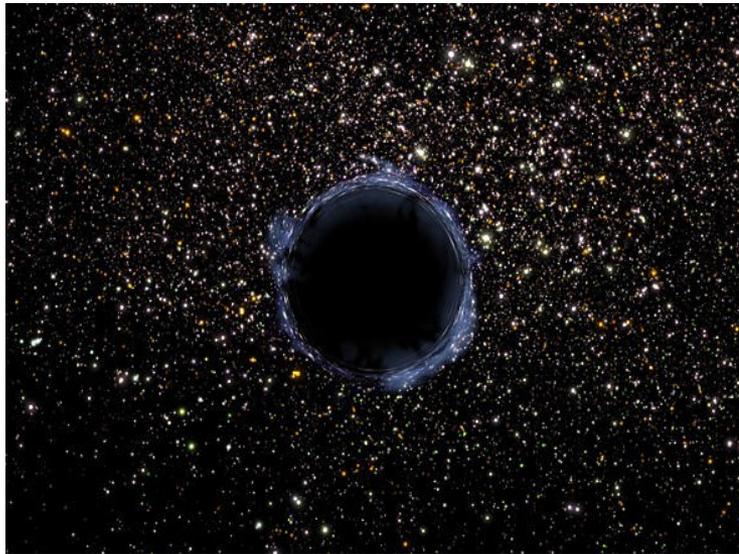


CUDI  
23-25 mayo 2012

# I. INTRODUCCIÓN

Reunión Primavera 2012 | Ensenada, Baja California

- \* Tema muy atractivo en ciencia ficción
- \* .. importante en física y astronomía





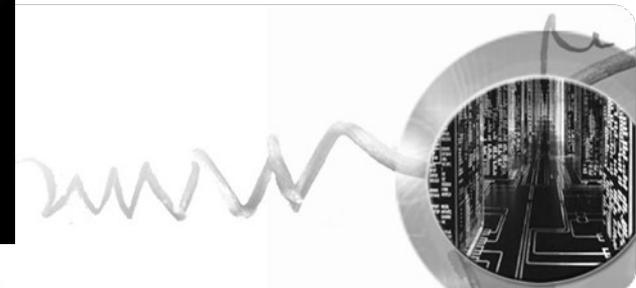
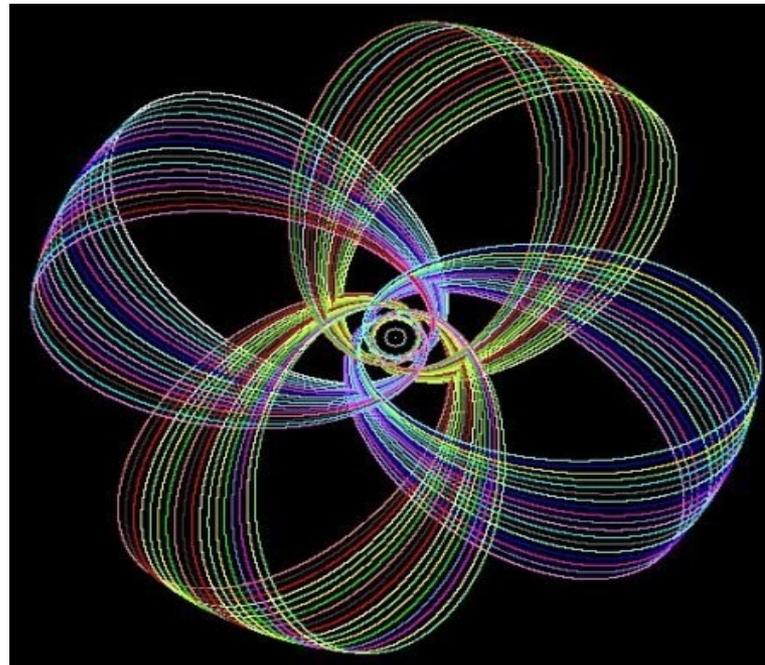
## I.1 ..en la Enseñanza de las Ciencias Físicas

CUDI  
23-25 mayo 2012

Reunión Primavera 2012 | Ensenada, Baja California

\* Ofrece multitud de ejemplos para el aula, e.g:

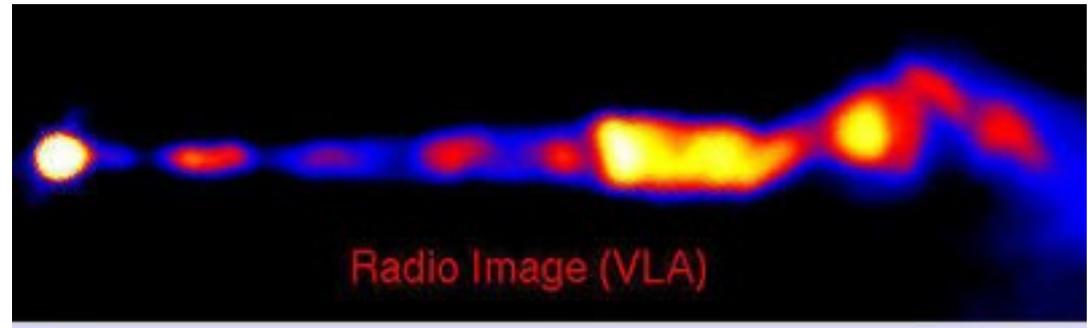
**Mecánica clásica: órbitas de partículas**



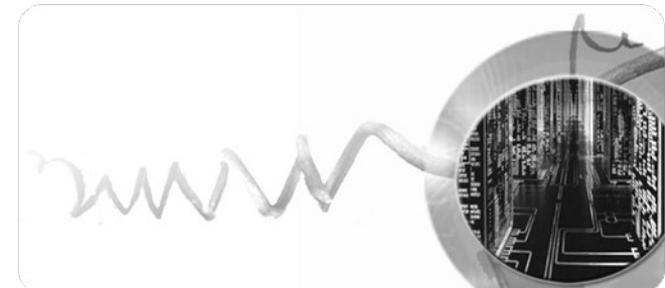
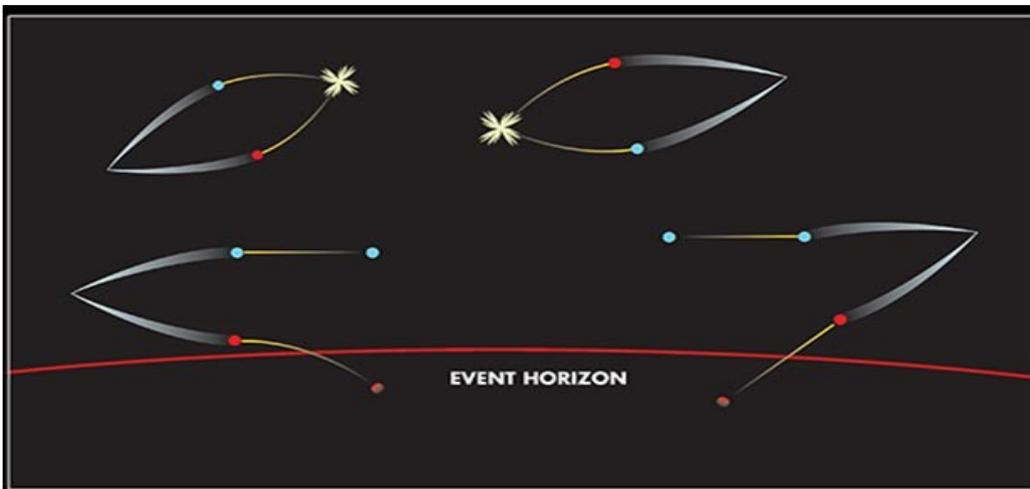


CUDI  
23-25 mayo 2012

**Electrodinámica:**  
radiación de partículas  
cargadas



**Mecánica cuántica:** radiación de Hawking



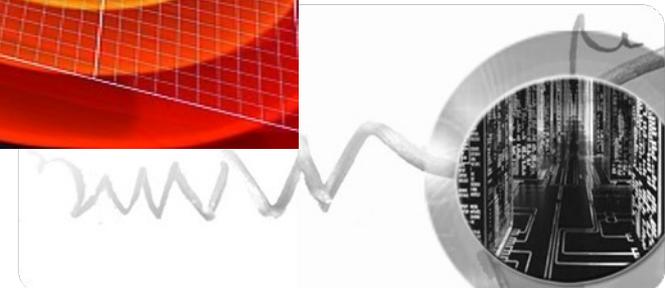
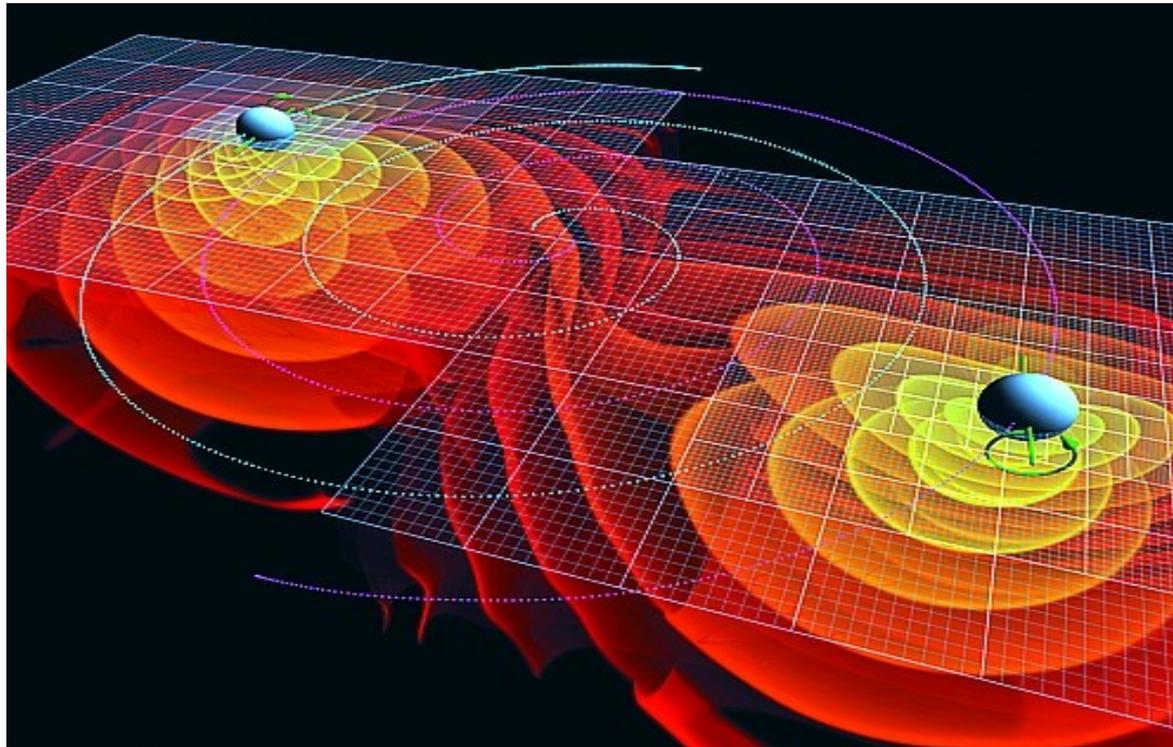


CUDI  
23-25 mayo 2012

## I.2 ..en la Enseñanza de las Ciencias Aplicadas

Reunión Primavera 2012 | Ensenada, Baja California

### Métodos numéricos: ..algoritmos y visualización



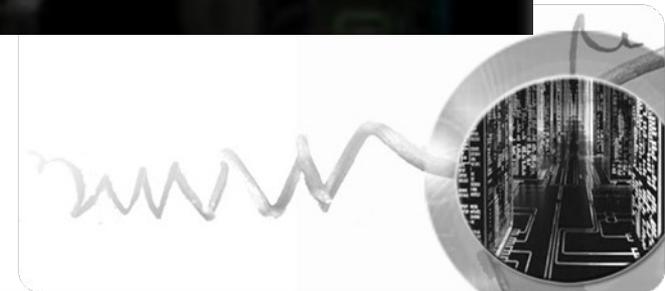


..nuevas generaciones de estudiantes .. versados en:

CUDI  
23-25 mayo 2012

Reunión Primavera 2012 | Ensenada, Baja California

## Supercómputo: ..paralelismo, CPUs y GPUs ..





CUDI  
23-25 mayo 2012

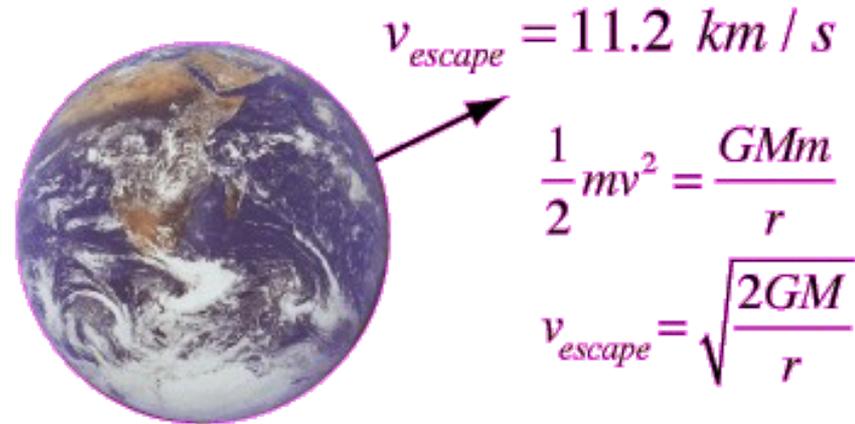
## I.3 ..en la Enseñanza de la Historia de la Ciencia

Reunión Primavera 2012 | Ensenada, Baja California

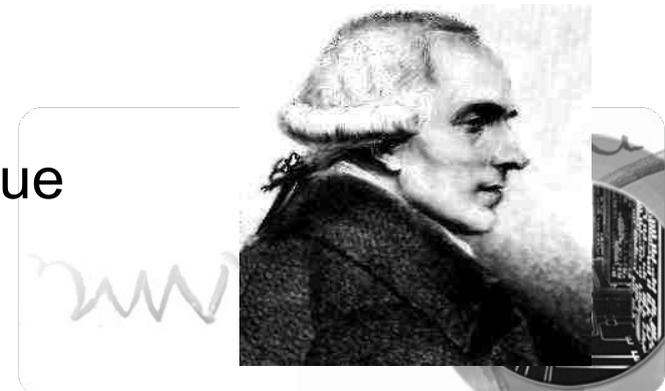
**John Michell (1783)** .. “dark stars” ...

velocidad de escape       $K = U$

...si  $V_{esc} = c \implies$  “agujero negro”



**Laplace (1796)** .. objetos de alta gravedad que atrapan la luz....





# una idea de Poincaré ~ 1900

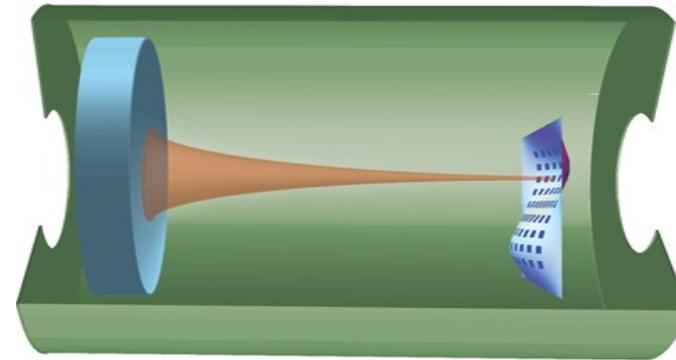
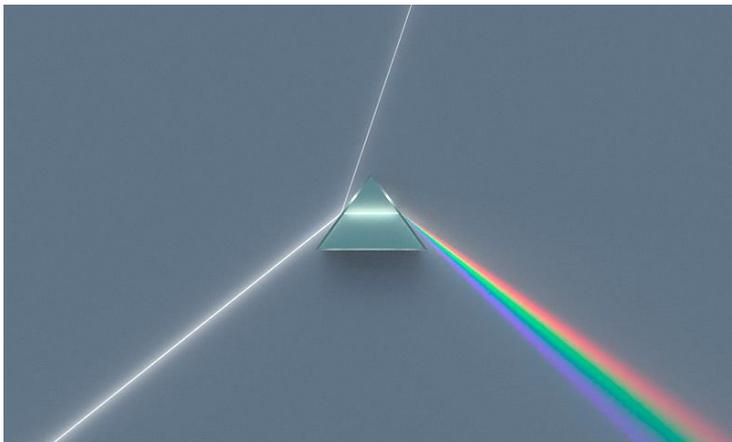
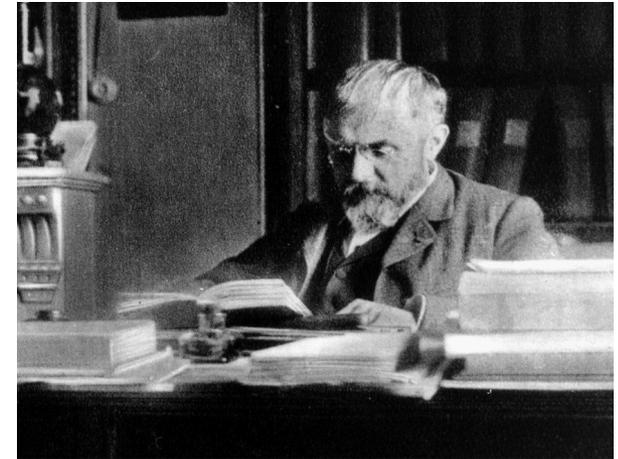
CUDI  
23-25 mayo 2012

Reunión Primavera 2012 | Ensenada, Baja California

...la luz (radiación electromagnética) transporta **momentum y energía**

...al incidir sobre un objeto “lo mueve” como si fuera una **masa** chocando contra el..

...masa luz = Energía luz/ $c^2$  ( $m=E/c^2$ )





# ...Hilbert & Einstein .... 1916

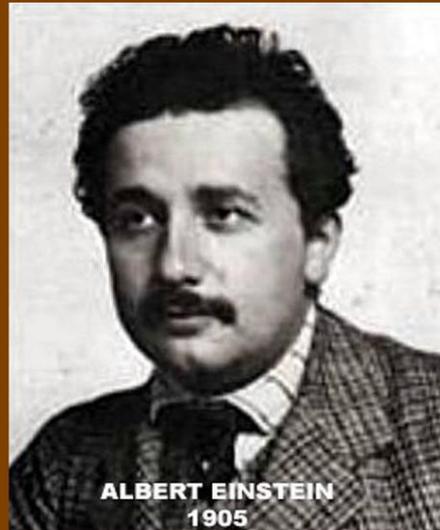
CUDI  
23-25 mayo 2012

Reunión Primavera 2012 | Ensenada, Baja California

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}R g_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

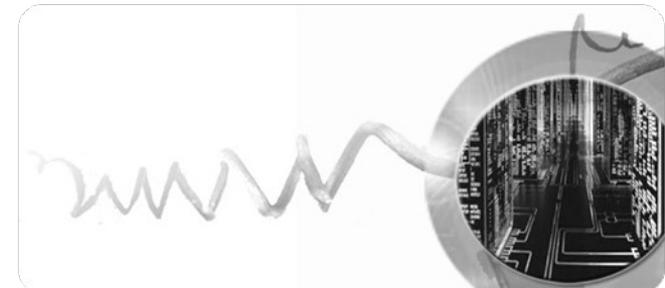


David Hilbert



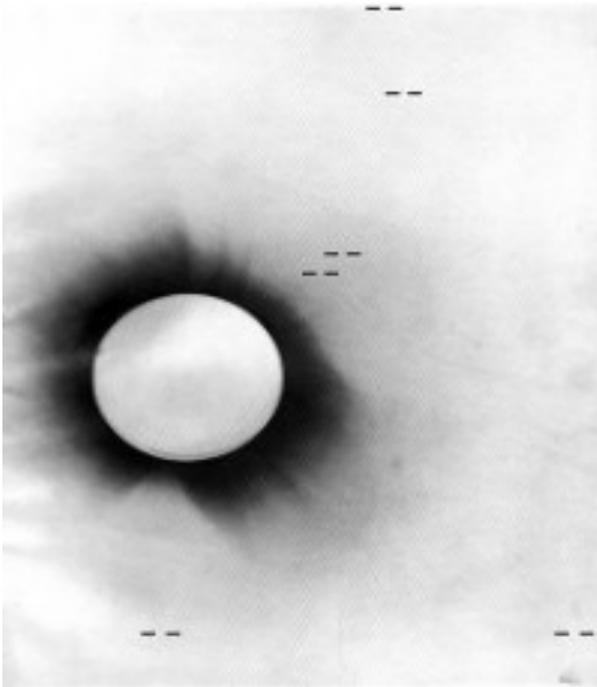
ALBERT EINSTEIN  
1905

...relacionan las propiedades del **espacio-tiempo** con las de la **materia** (energía+momentum)



..la luz se comporta “casi” como partículas masivas

Reunión Primavera 2012 | Ensenada, Baja California



Eclipse de Sol de 1919 ... **confirmación observacional**





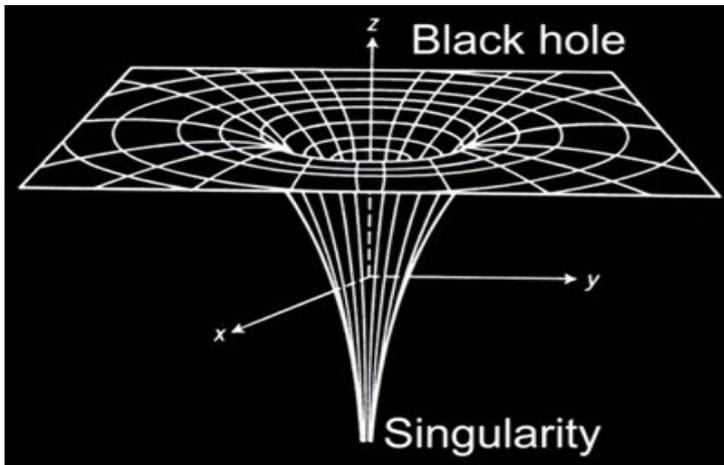
CUDI  
23-25 mayo 2012

# ... "sabores" de los agujeros negros (AN)

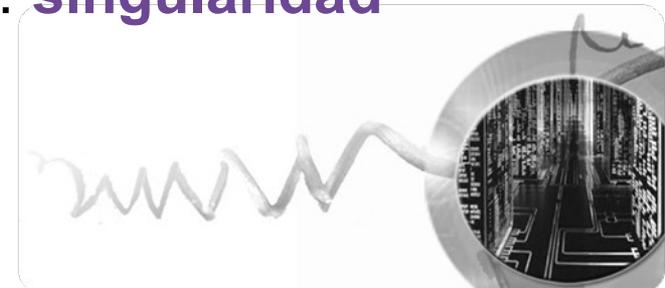
Reunión Primavera 2012 | Ensenada, Baja California

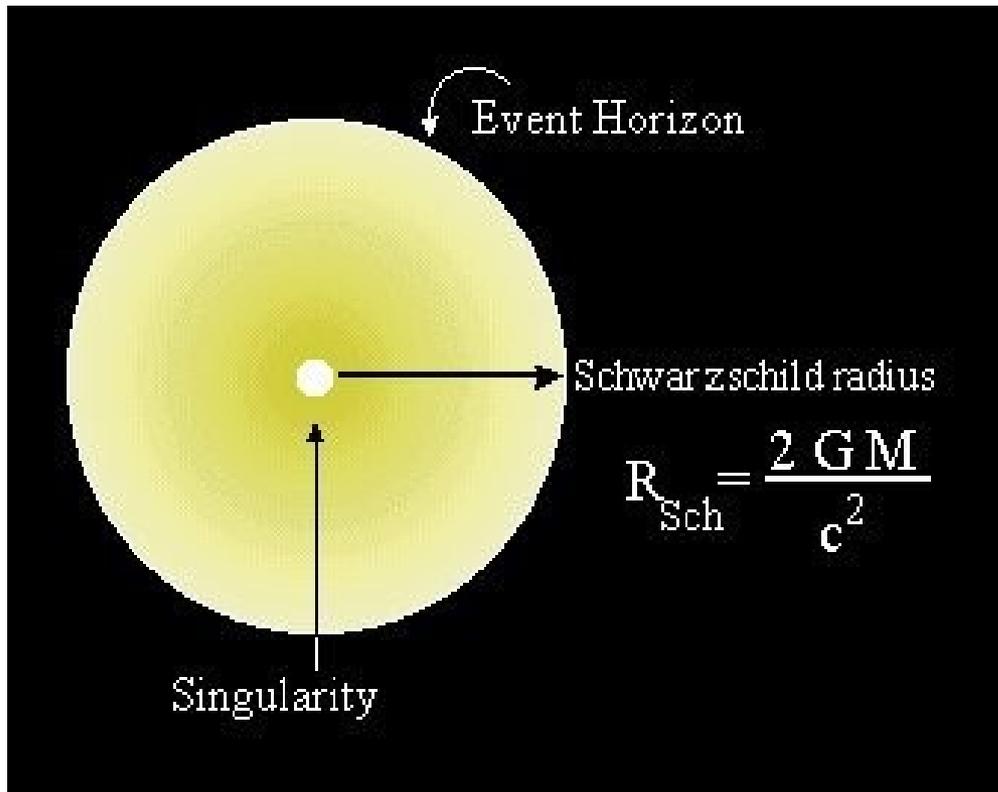
## 1) Matemáticos:

Solución a las ecuaciones de Einstein para un objeto puntual..



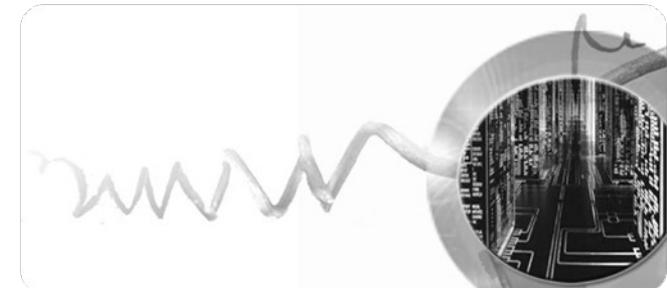
..toda su masa en un punto! ... **singularidad**





..pueden tener también espín y carga eléctrica

..radio de horizonte: no hay "comunicación dentro y fuera de el .. **no se puede "ver" la singularidad**



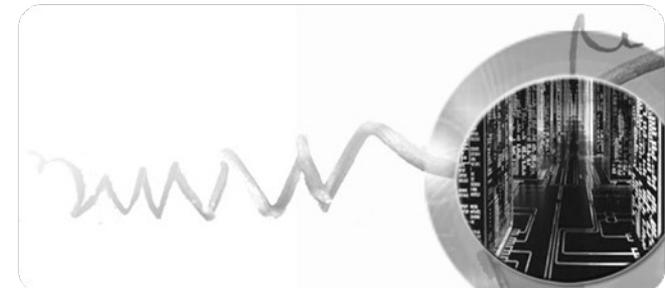


CUDI  
23-25 mayo 2012

## ...algunos ejemplos de Radios de Schwarzschild

Reunión Primavera 2012 | Ensenada, Baja California

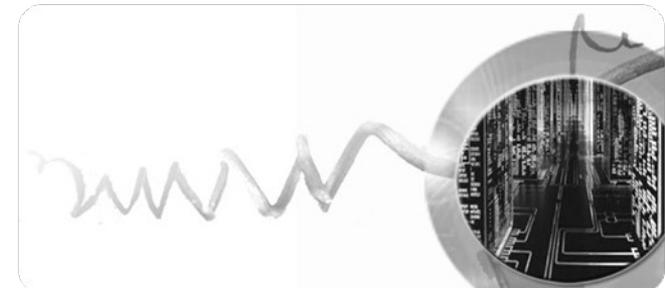
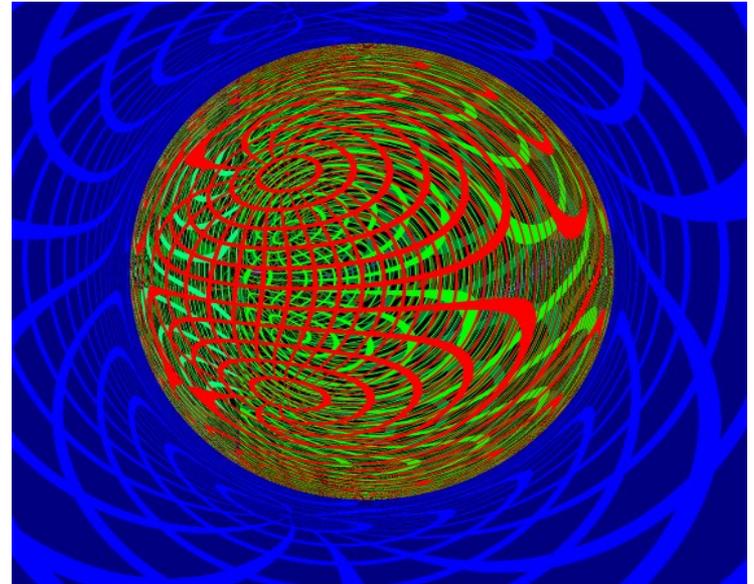
Object	Mass of Object (solar masses)	Radius (km)	Escape Velocity (km/s)	Schwarzschild Radius
Earth	0.00000304	6,357	11.3	9.0 mm
Sun	1.0	696,000	617	2.95 km
White Dwarf	0.8	10,000	5,000	2.4 km
Neutron Star	2	8	250,000	5.9 km
Galactic Nucleus	50,000,000	?	?	147,500,000 km



## 2.) ANs Físicos...

..toda su masa y carga  
están dentro del radio  
de horizonte

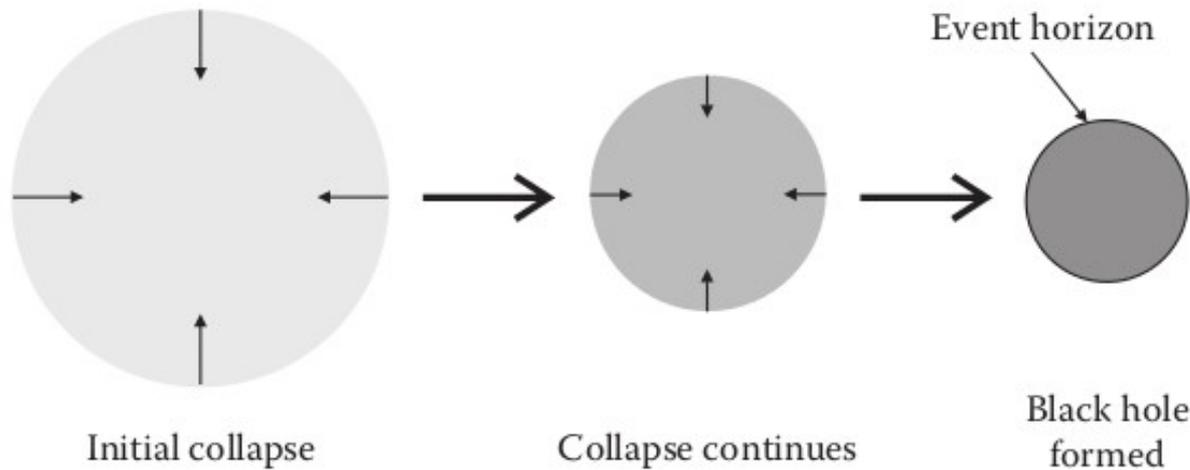
..pero no sabemos cómo  
está distribuida dicha  
materia!!!



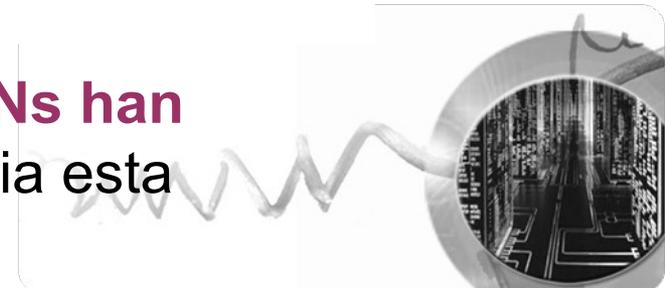


### 3.) ANs Astrofísicos...

Un AN físico, formado por un proceso astrofísico, por ejemplo:

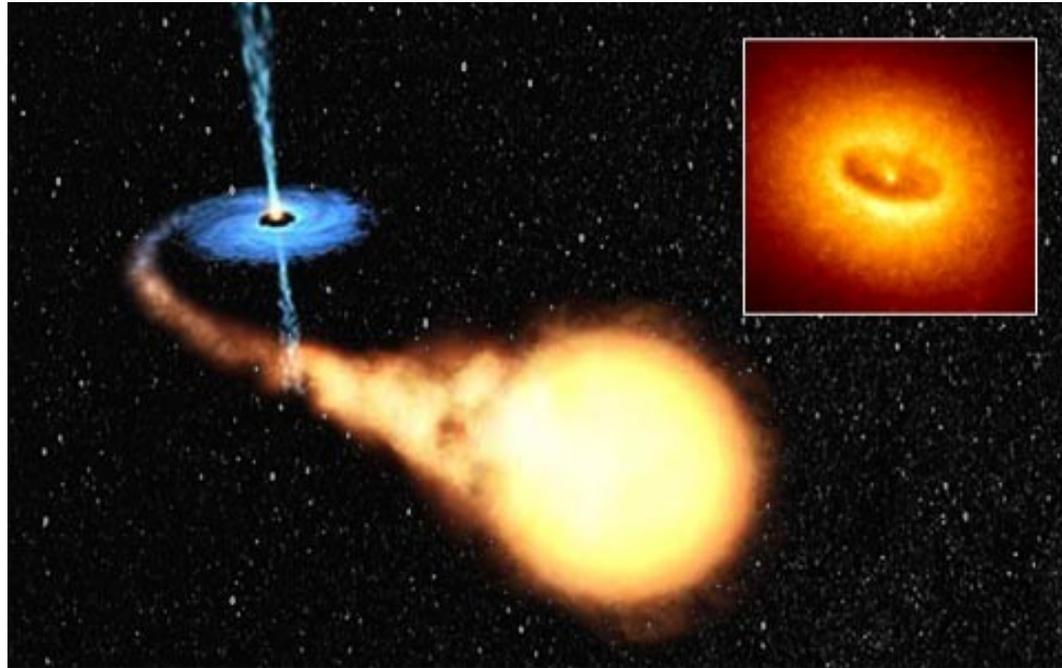


**Todos los estudios observacionales de ANs han sido en AN-Astrofísicos!** ..cuando la materia esta muy cerca del Radio de Horizonte

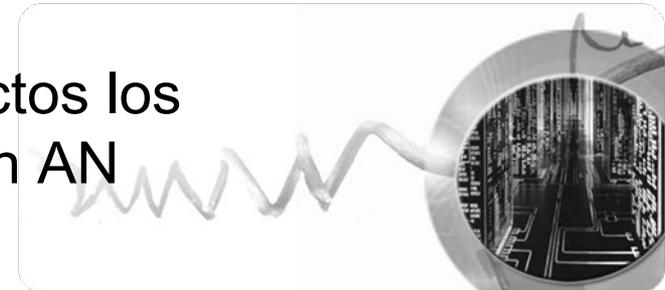


# Todos los estudios observacionales de ANs han sido en AN-Astrofísicos! ..cuando la materia esta muy cerca del Radio de Horizonte

Reunión Primavera 2012 | Ensenada, Baja California



Un AN puede acretar materia, ...son estos efectos los que indirectamente prueban la existencia de un AN



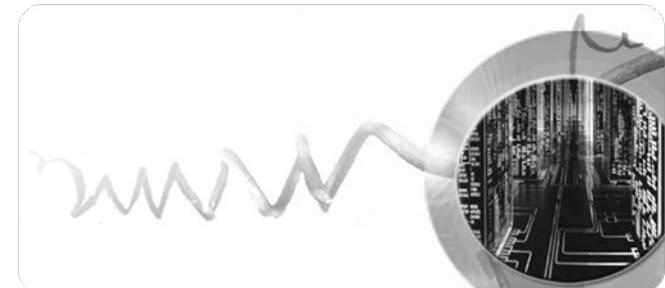
# CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN

2. AGUJEROS NEGROS ASTROFISICOS

**3. GALAXIAS QUE ALBERGAN AGUJEROS NEGROS**

4. COMENTARIOS FINALES



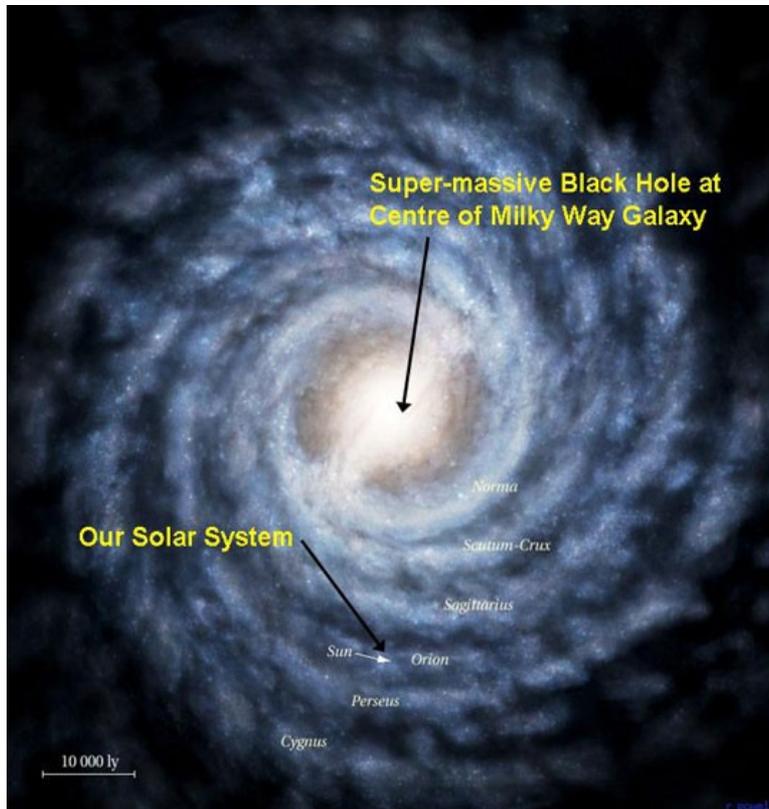


CUDI  
23-25 mayo 2012

# ...los AN más grandes del universo !!!

Reunión Primavera 2012 | Ensenada, Baja California

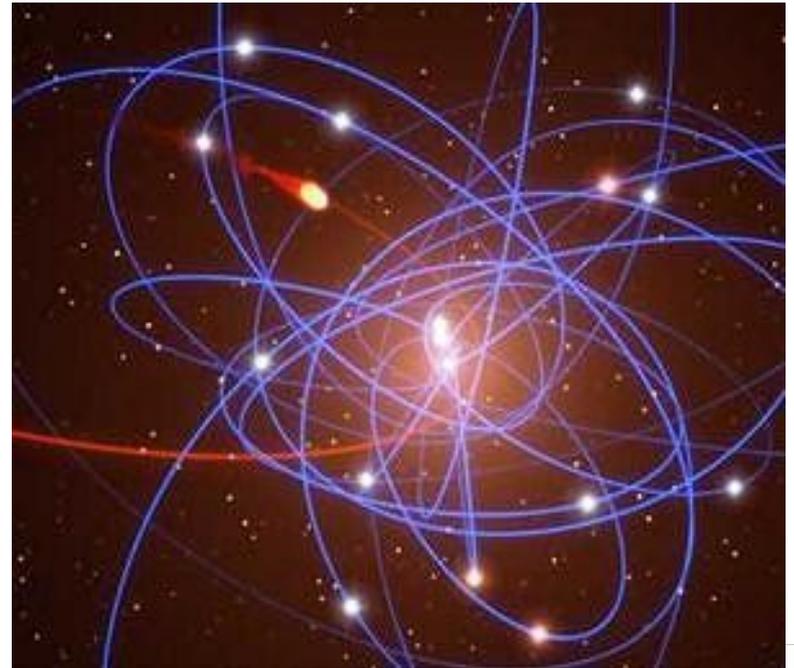
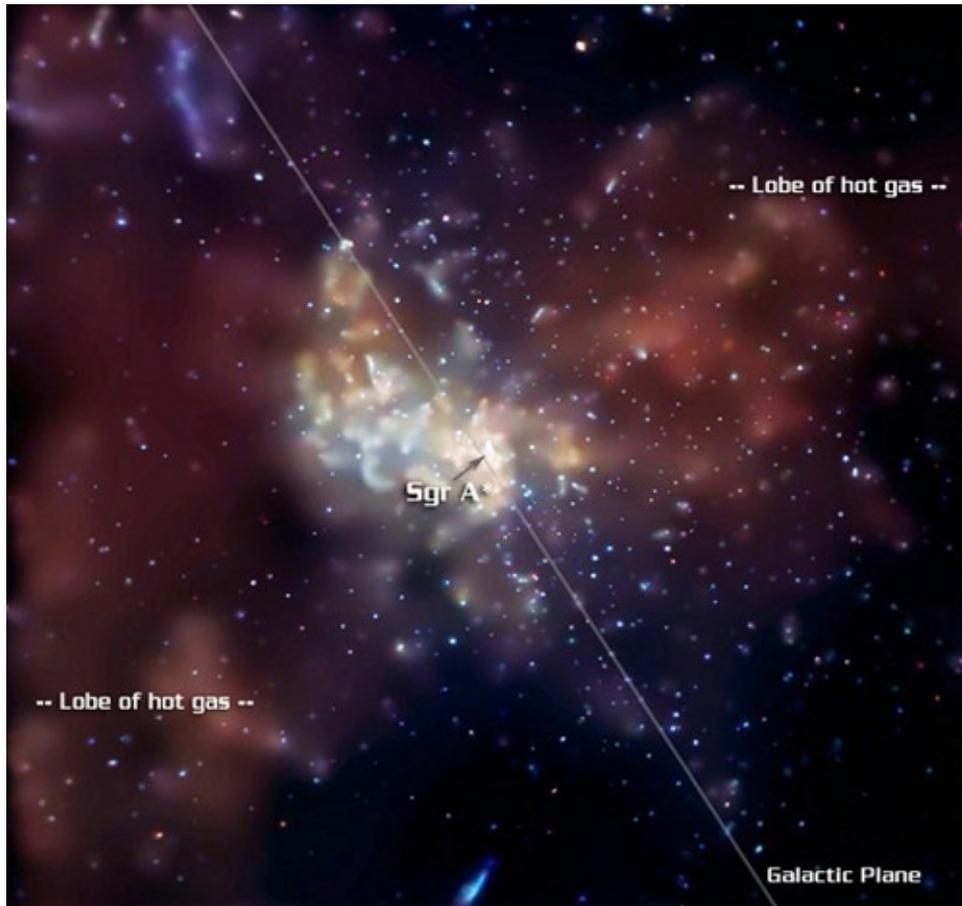
1) en el centro de la Vía Láctea  $M \sim 10^6 M_{\odot}$





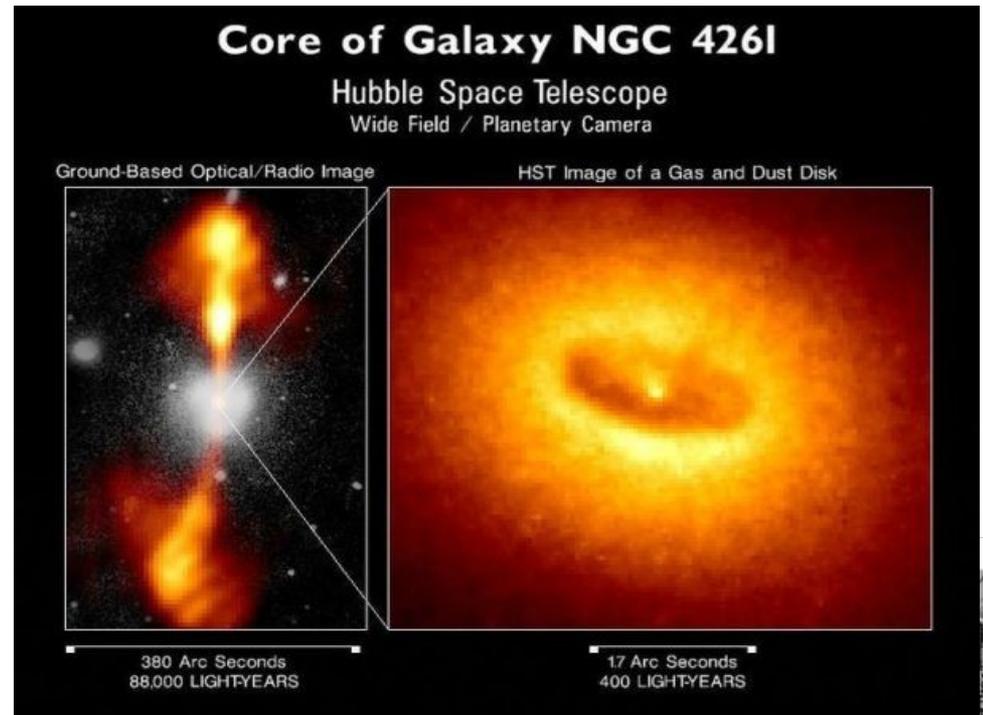
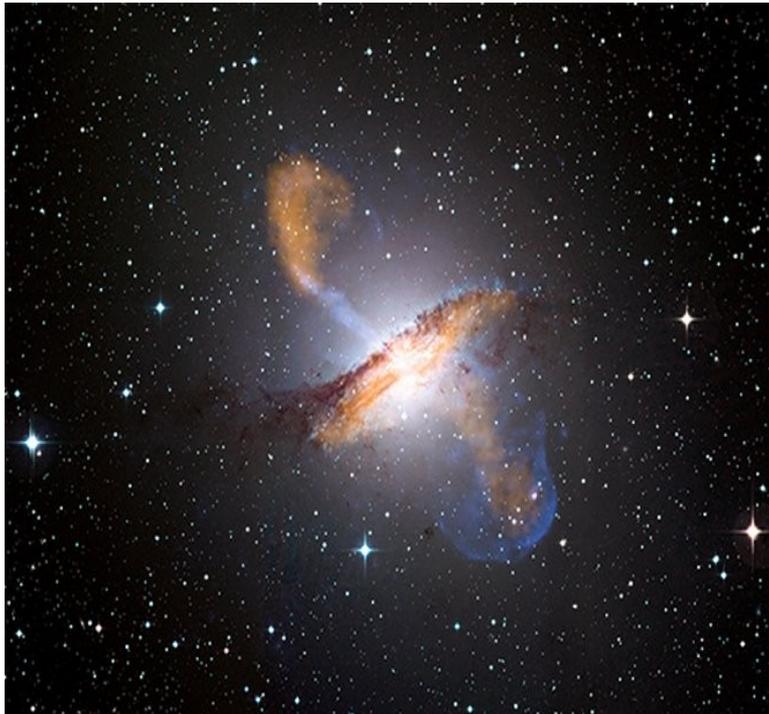
CUDI  
23-25 mayo 2012

Reunión Primavera 2012 | Ensenada, Baja California





## 2) en el centro de galaxias Masivas ... $M \sim 10^9 M_{\odot}$

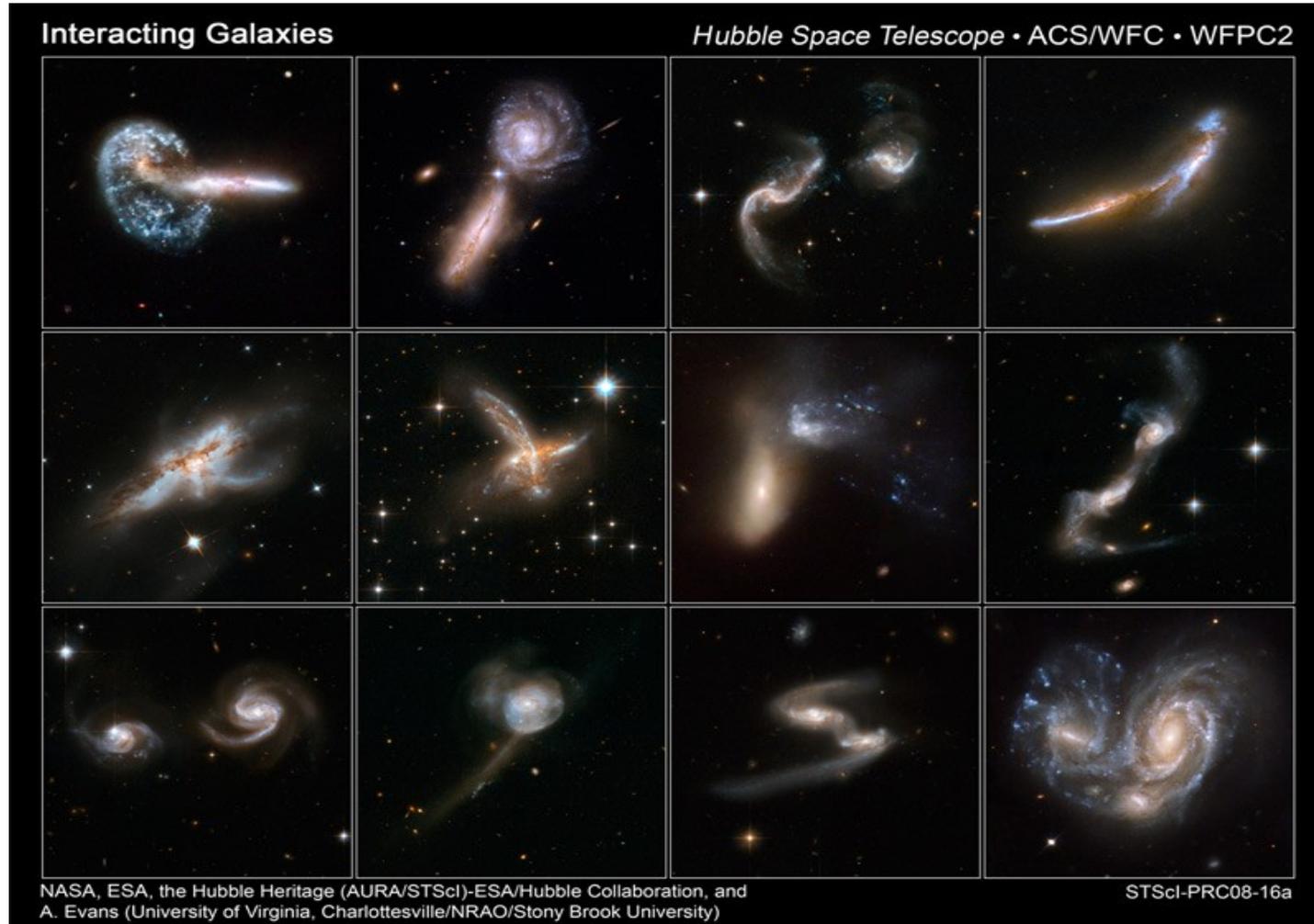




CUDI  
23 - 25 mayo 2012

# ...cuando se juntan 2 grandes!

Reunión Primavera 2012 | Ensenada, Baja California

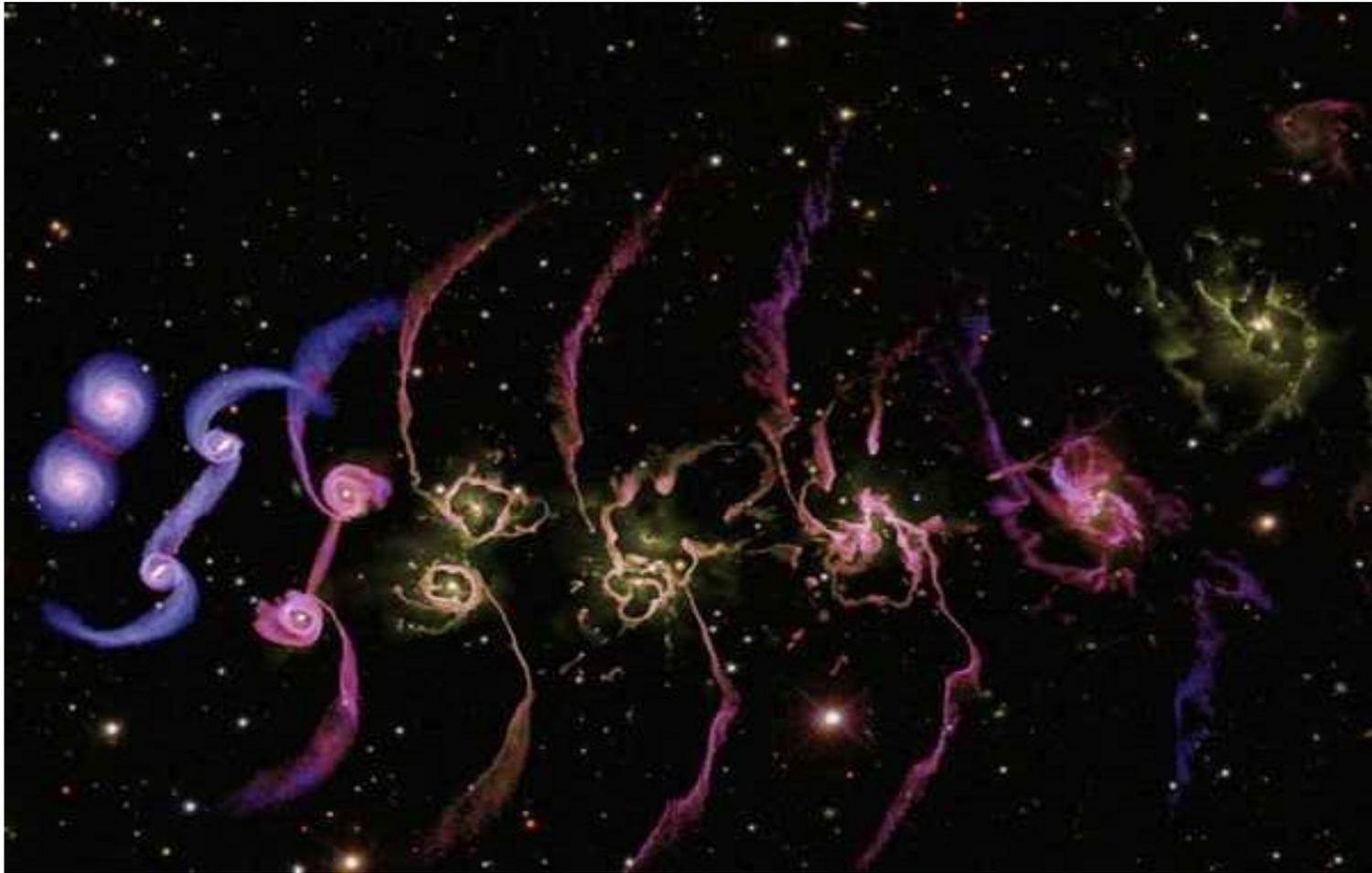




CUDI  
23-25 mayo 2012

## ...una simulación numérica ..

Reunión Primavera 2012 | Ensenada, Baja California



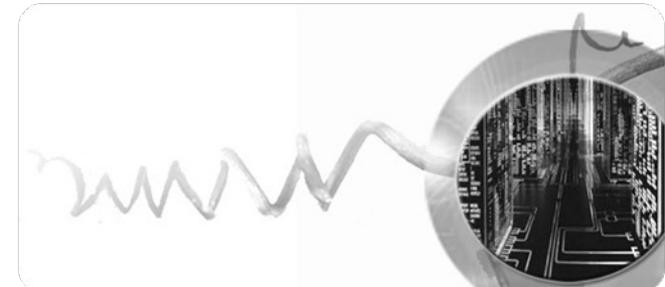
# CONTENIDO

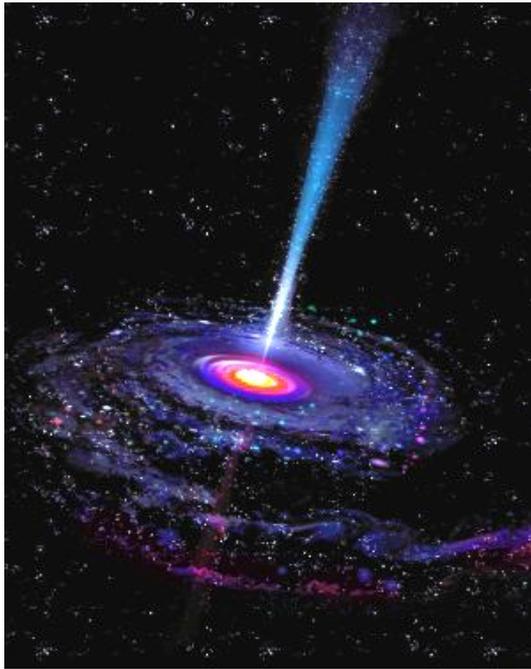
1. INTRODUCCIÓN

2. AGUJEROS NEGROS ASTROFISICOS

3. GALAXIAS QUE ALBERGAN AGUJEROS NEGROS

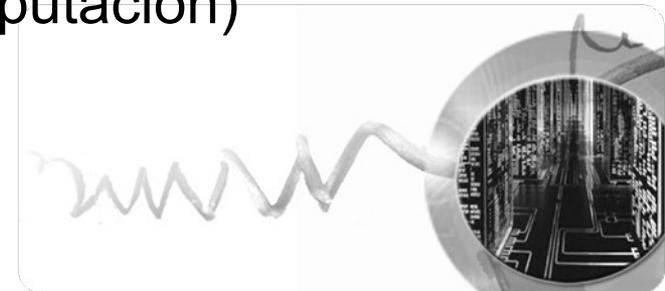
**4. COMENTARIOS FINALES**





**1. Los AN astrofísicos ..papel fundamental en la estructura y evolución de las galaxias.**

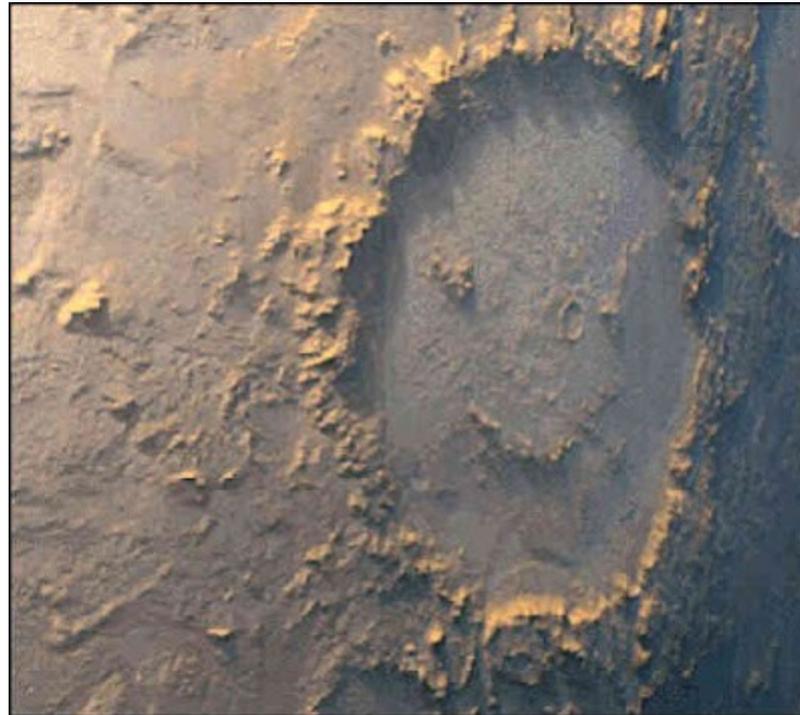
**2. Los AN astrofísicos ..ofrecen ejemplos y retos en la enseñanza de las ciencias (e.g. física, matemáticas, computación)**





CUDI  
23-25 mayo 2012

Reunión Primavera 2012 | Ensenada, Baja California



**...Muchas Gracias !!!**

...preguntas, comentarios??

