

Agujeros negros: Einstein, choques y “fotografías”.

Dra. María Montserrat Juárez Aubry
Arkansas State University Campus Querétaro
mjuarez@astate.edu



A los nueve
años.

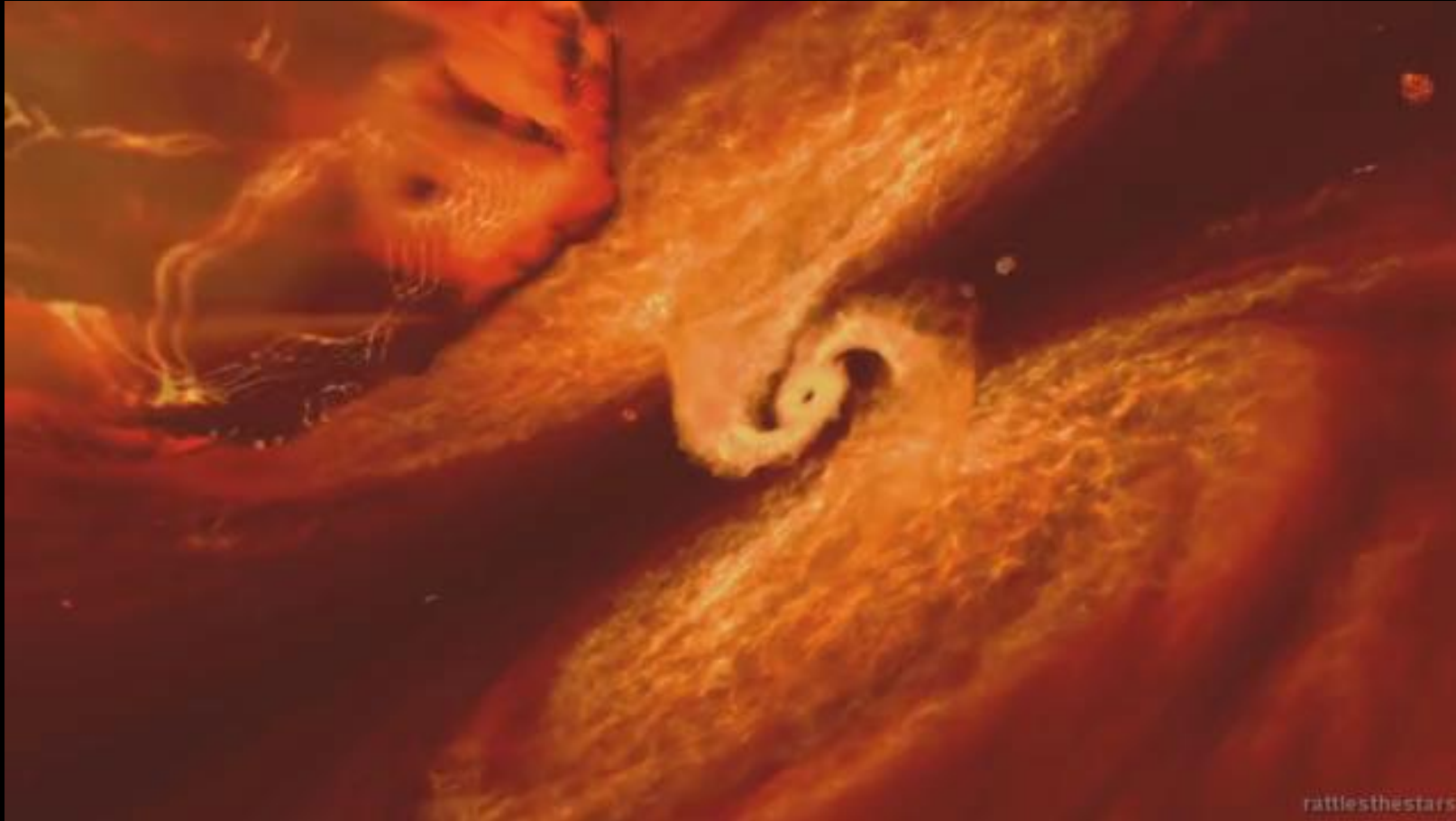


Pero probablemente su historia fue
diferente...



Treasure planet (2002)

Treasure planet (2002)





Thor: The Dark world (2013)



Black hole grenade



Interstellar (2014)



Lo que no cambia, son las preguntas inevitables

- ¿Qué pasa si lanzo algo a un agujero negro?
- ¿Cómo podemos detectar a los agujeros negros?
- ¿Qué pasa con el tiempo y el espacio en presencia de un agujero negro?



Primero lo primero...

¿Qué es un agujero negro?

Respuesta:

Un agujero negro es una **región del espaciotiempo** donde el campo gravitatorio es tan intenso, que ni siquiera la luz puede escapar.

*Por lo tanto, está limitado por algo. Este límite es el **horizonte de eventos**.

¿Cómo es esto?

“Todo lo que sube...

... ¿tiene que bajar?”

¿Cómo es esto?

“Todo lo que sube...

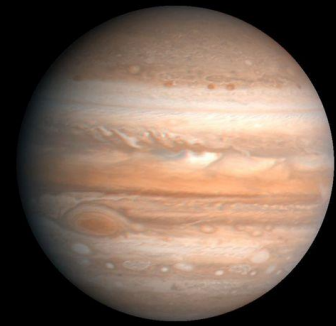
... ¿tiene que bajar?”

¡No necesariamente!

Depende de su velocidad inicial



Algunas velocidades de escape son

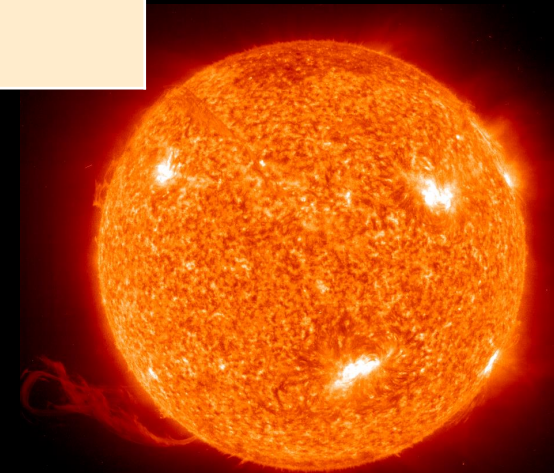


Cuerpo	Velocidad de escape
Luna	2.38 km/s
Tierra	11.2 km/s (ó 40 320 km/h)
Marte	5.027 km/s
Júpiter	59.6 km/s
Sol	617.7 km/s

La velocidad de la luz es de 300 000 km/s

* No a escala

* "[Solar System Data](#)". Georgia State University. Retrieved 2007-01-21.



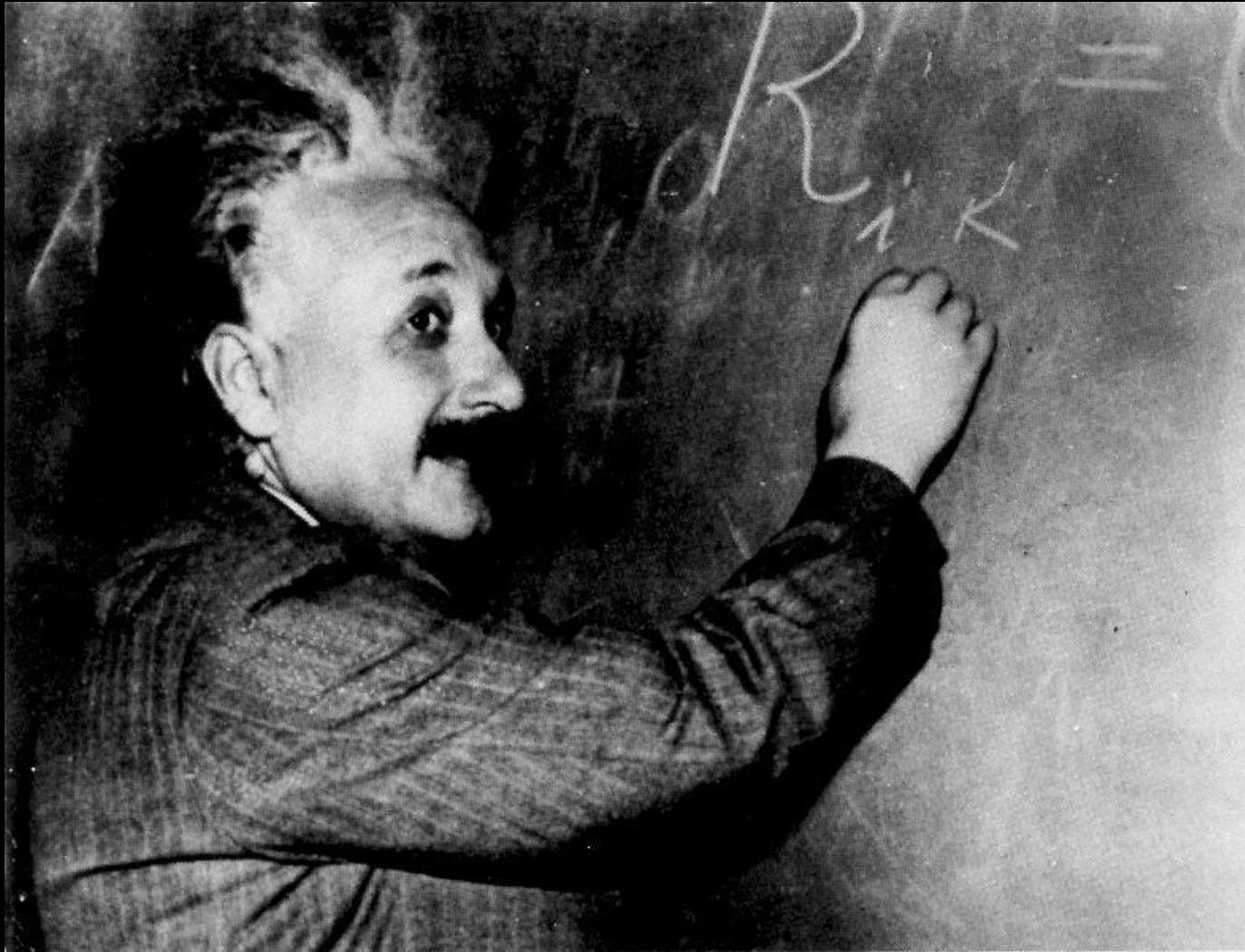
Imaginemos un cuerpo MUY MUY denso, tal que su velocidad de escape sea mayor que la velocidad de la luz (300 000 km/s).

UN AGUJERO NEGRO

Un agujero negro es también una predicción
de la teoría de la relatividad

Hablemos un poco más de esto....

Hemos escuchado que los agujeros negros y las ondas gravitacionales son predicciones de la teoría de la relatividad



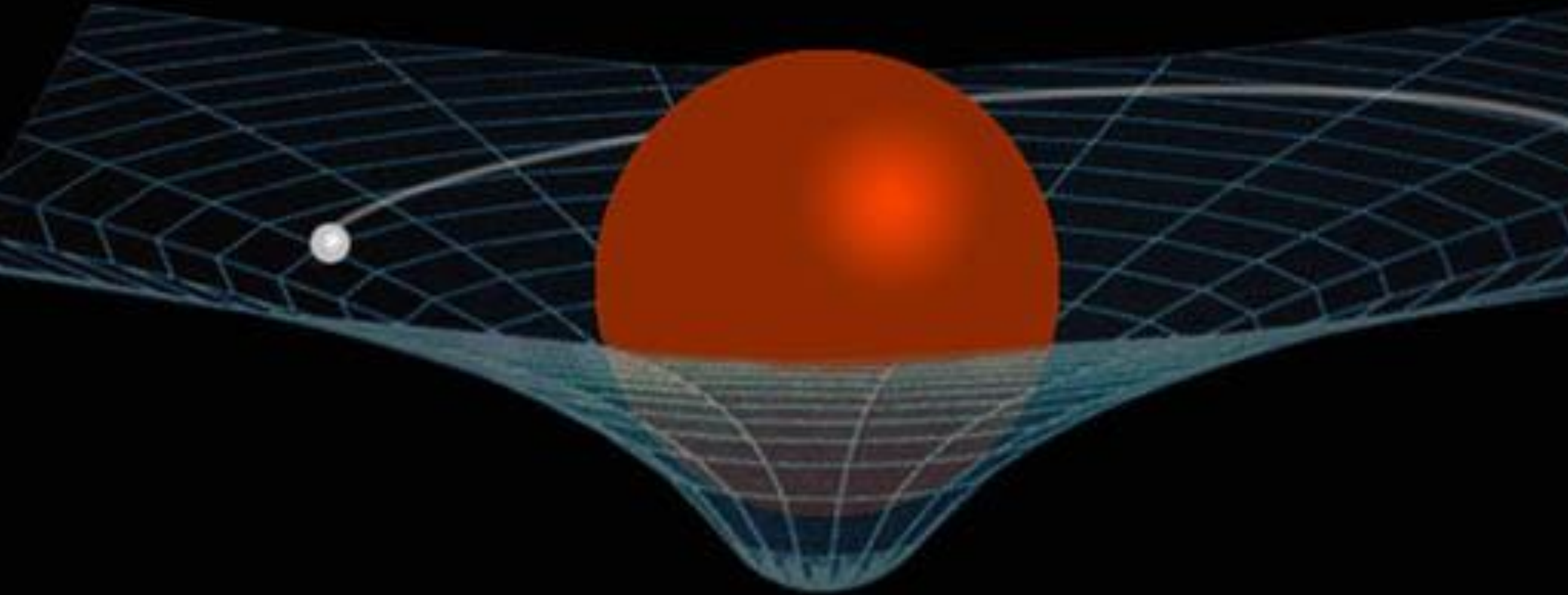
Relatividad especial

(espaciotiempo plano)
Sistemas de referencia
inerciales

Relatividad general

(espaciotiempo curvo)
Teoría de gravedad

Gravedad = Geometría



Ecuaciones de Einstein

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R = \kappa T_{\mu\nu}$$

Tensor de Ricci

Tensor métrico
ó métrica

Escalar de curvatura

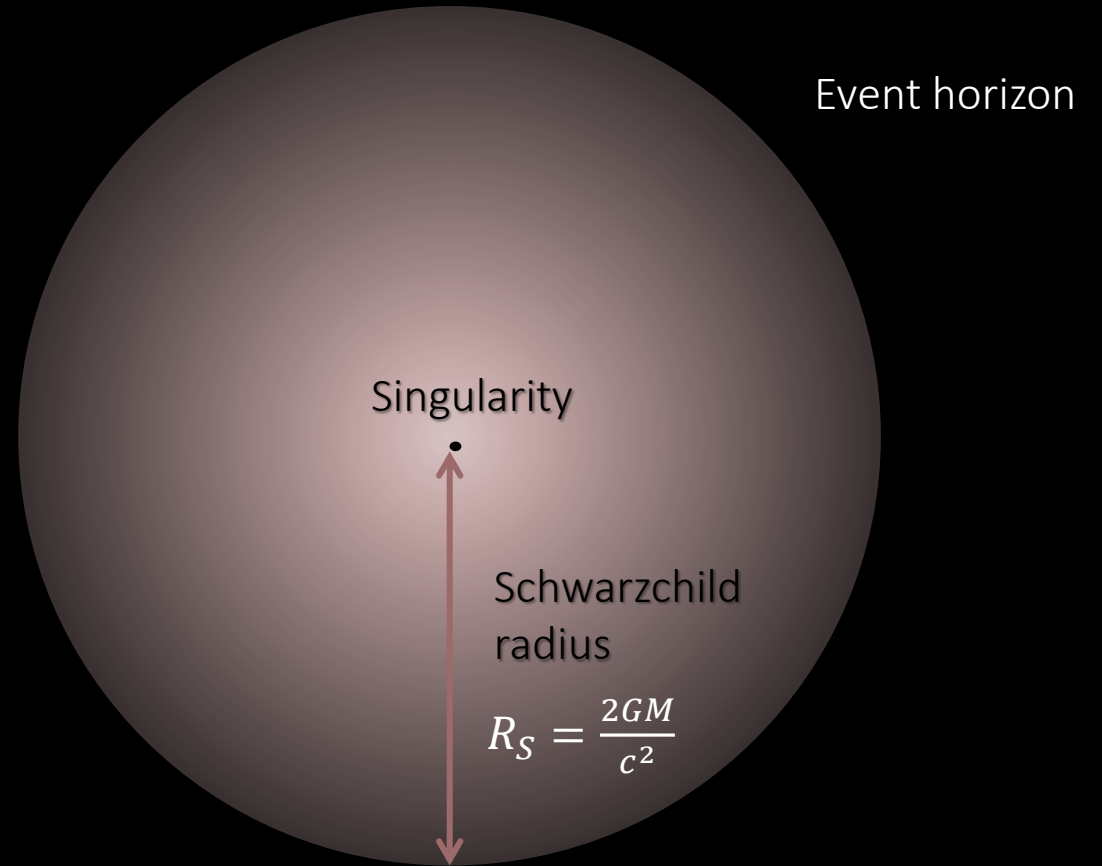
Tensor de energía-momento

Las “R’s” tienen derivadas dentro...

$$ds^2 = -\left(1 - \frac{R_S}{r}\right) dt^2 - \frac{1}{\left(1 - \frac{R_S}{r}\right)} dr^2 - r^2 d\phi^2 - r^2 \sin^2 \phi d\theta^2$$



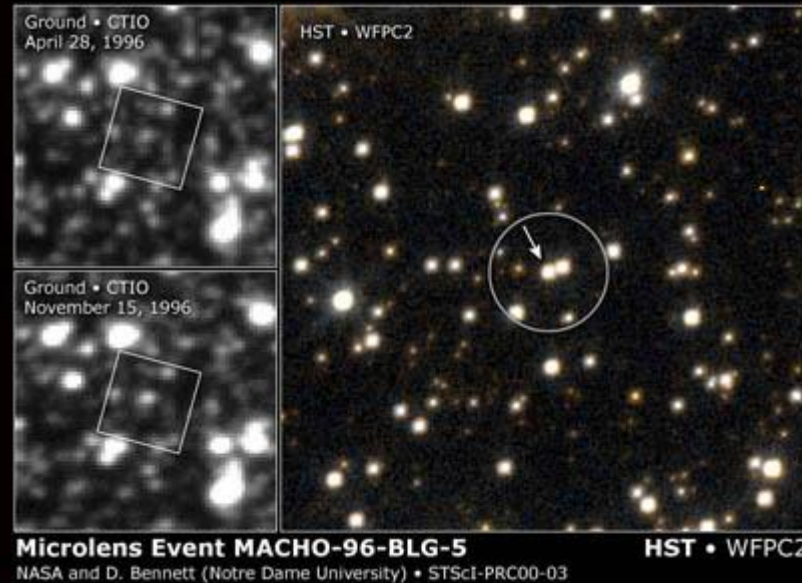
Karl Schwarzschild



Si son negros...¿cómo sabemos
que están allí?

MASA

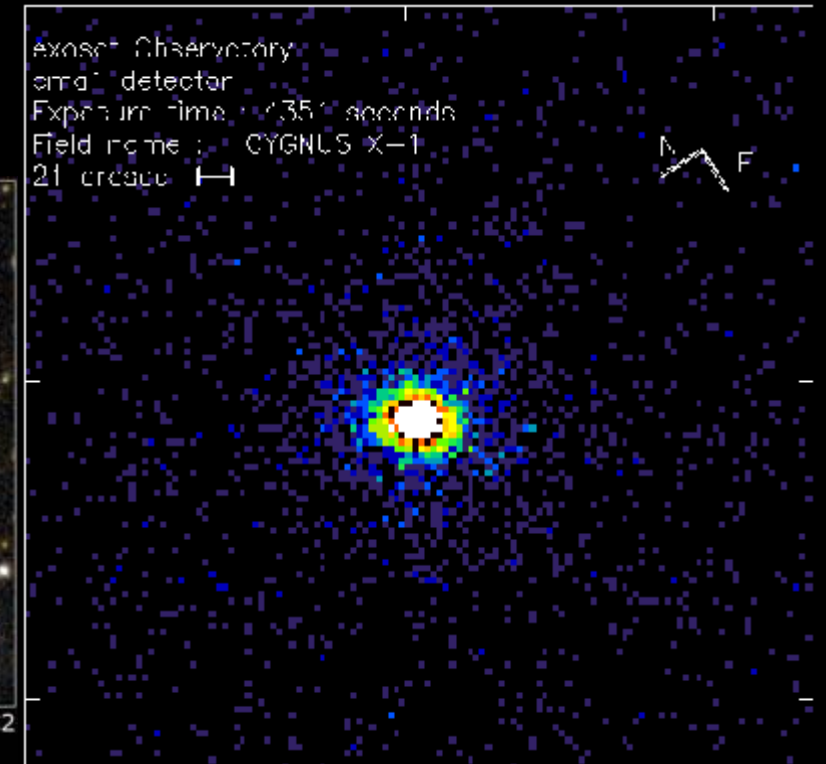
LENTES GRAVITACIONALES



Hubble Telescope Image of the core of Galaxy NGC 4261. Photo courtesy NASA/Space Telescope Science Institute. Credit: L. Ferrarese (John Hopkins University) and NASA

Brightening of MACHO-96-BL5 from ground-based telescopes (left) and Hubble Space Telescope (right). Photo courtesy NASA/Space Telescope Science Institute. Credit: NASA and Dave Bennett (University of Notre Dame)

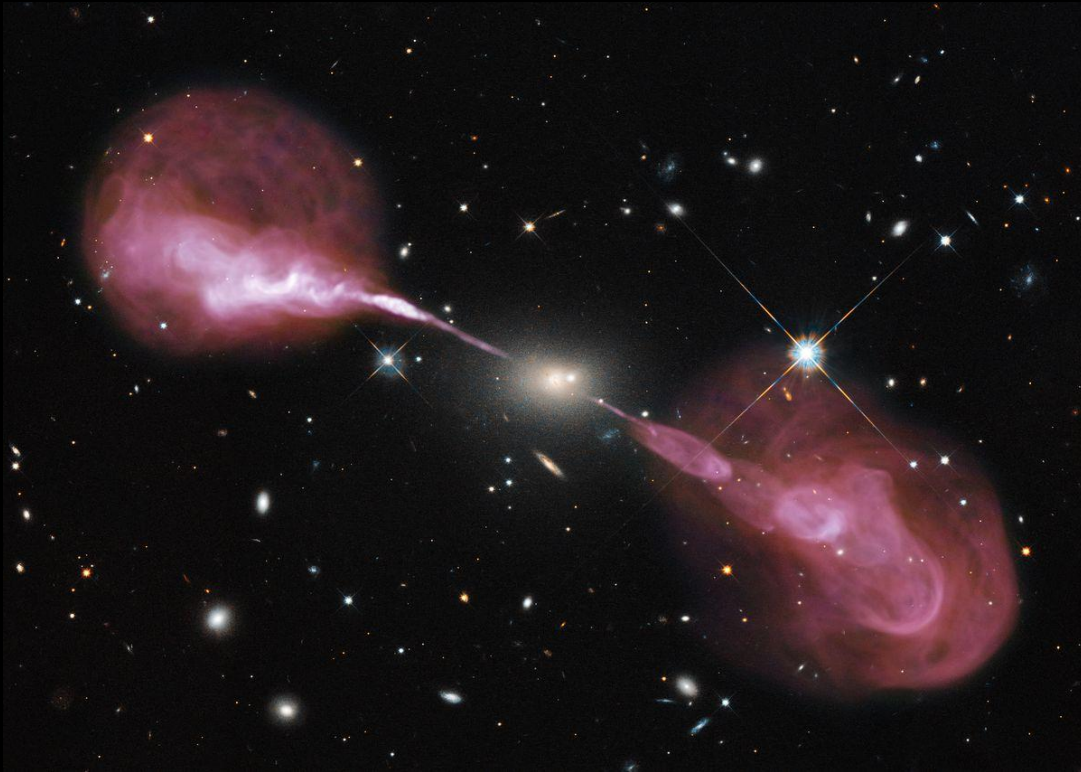
RADIACIÓN



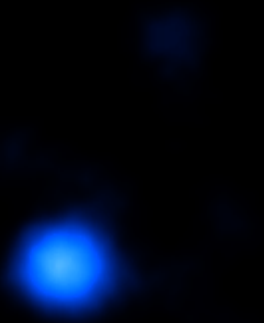
X-ray image of Cygnus X-1 taken from orbiting Chandra X-ray Observatory Photo courtesy NASA/CXC

Radiación

Expectativa

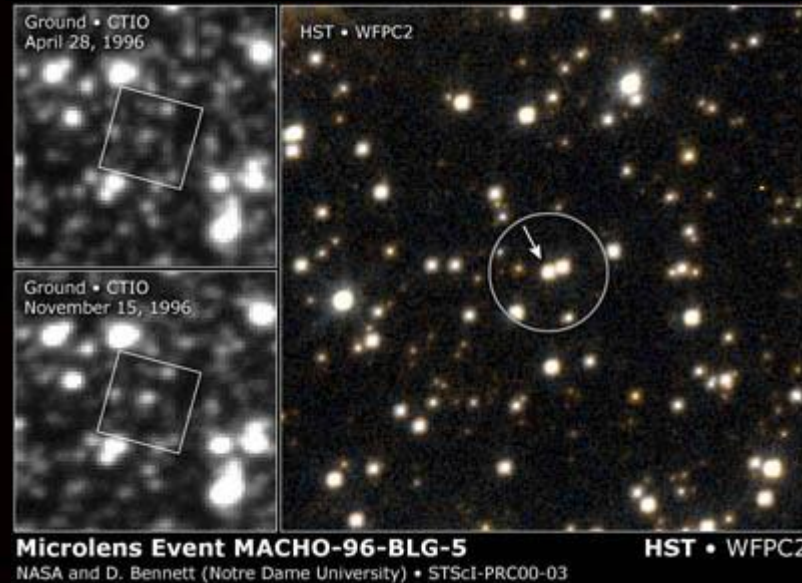


Realidad



MASA

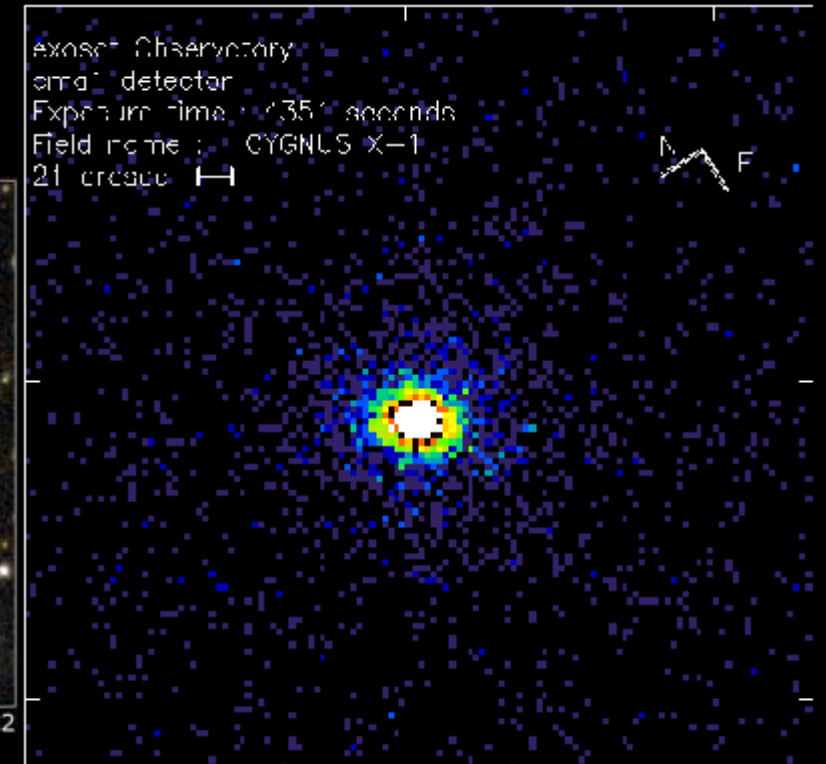
LENTES GRAVITACIONALES



Hubble Telescope Image of the core of Galaxy NGC 4261. Photo courtesy NASA/Space Telescope Science Institute. Credit: L. Ferrarese (John Hopkins University) and NASA

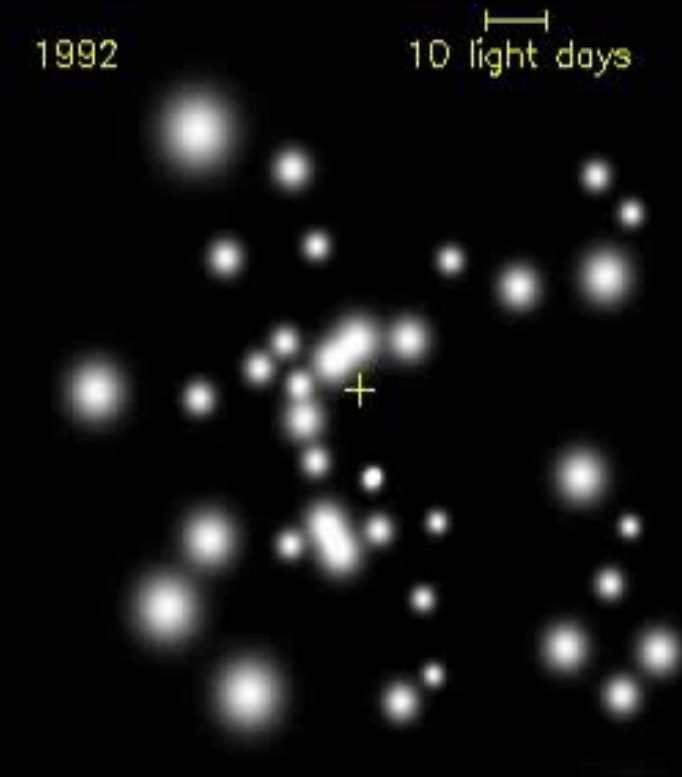
Brightening of MACHO-96-BL5 from ground-based telescopes (left) and Hubble Space Telescope (right). Photo courtesy NASA/Space Telescope Science Institute. Credit: NASA and Dave Bennett (University of Notre Dame)

RADIACIÓN



X-ray image of Cygnus X-1 taken from orbiting Chandra X-ray Observatory Photo courtesy NASA/CXC

Masa



Por más de 20 años

La estrella: S2 (órbita de 16 años)

El Agujero Negro: Sag A* (masa 4 millones de veces la masa del sol)

Con telescopios chilenos (ESO y VLT)

Otros, en Hawaii

¡Lancemos algo (ejem... alguien) al agujero negro!



MICHAEL D. JOHNSON



M

X

Black hole



M



X

Black hole

NEIL DEGRASSE TYSON

DEL PRESENTADOR DE
COSMOS

MUERTE
POR
AGUJEROS
NEGROS

Y OTROS DILEMAS CÓSMICOS

CRÍTICA

Pero ustedes no nacieron en los 80s

...

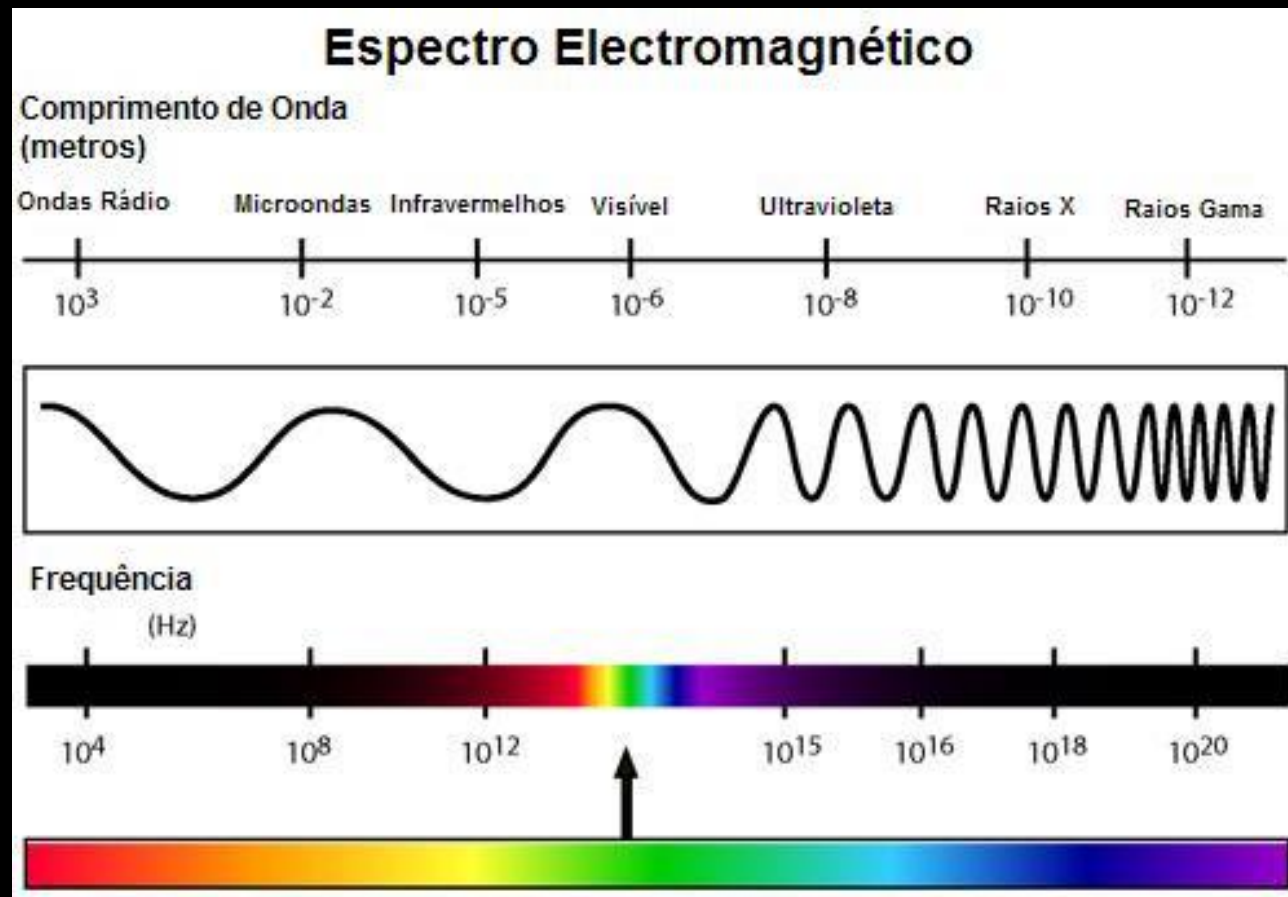
y ¡son más curiosos!



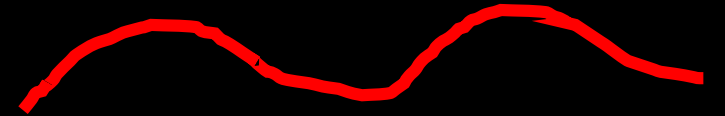
Habilidades:

Inmunidad a la
spaguetтификаción

Consideremos que Matthew va cayendo y lanzándome una señal que viaja a la velocidad de la luz (con su linterna)



- Desde mi punto de vista, el tiempo de Matthew pasará muy lento.
Su reloj anda más lento.
(yo veo la luz de su lámpara volverse roja)



- Desde la perspectiva de Matthew, el tiempo para mí pasará muy rápido.
Mi reloj anda más rápido
(el ve la luz de mi lámpara volverse azul)



Dos agujeros negros ¿pueden chocar?

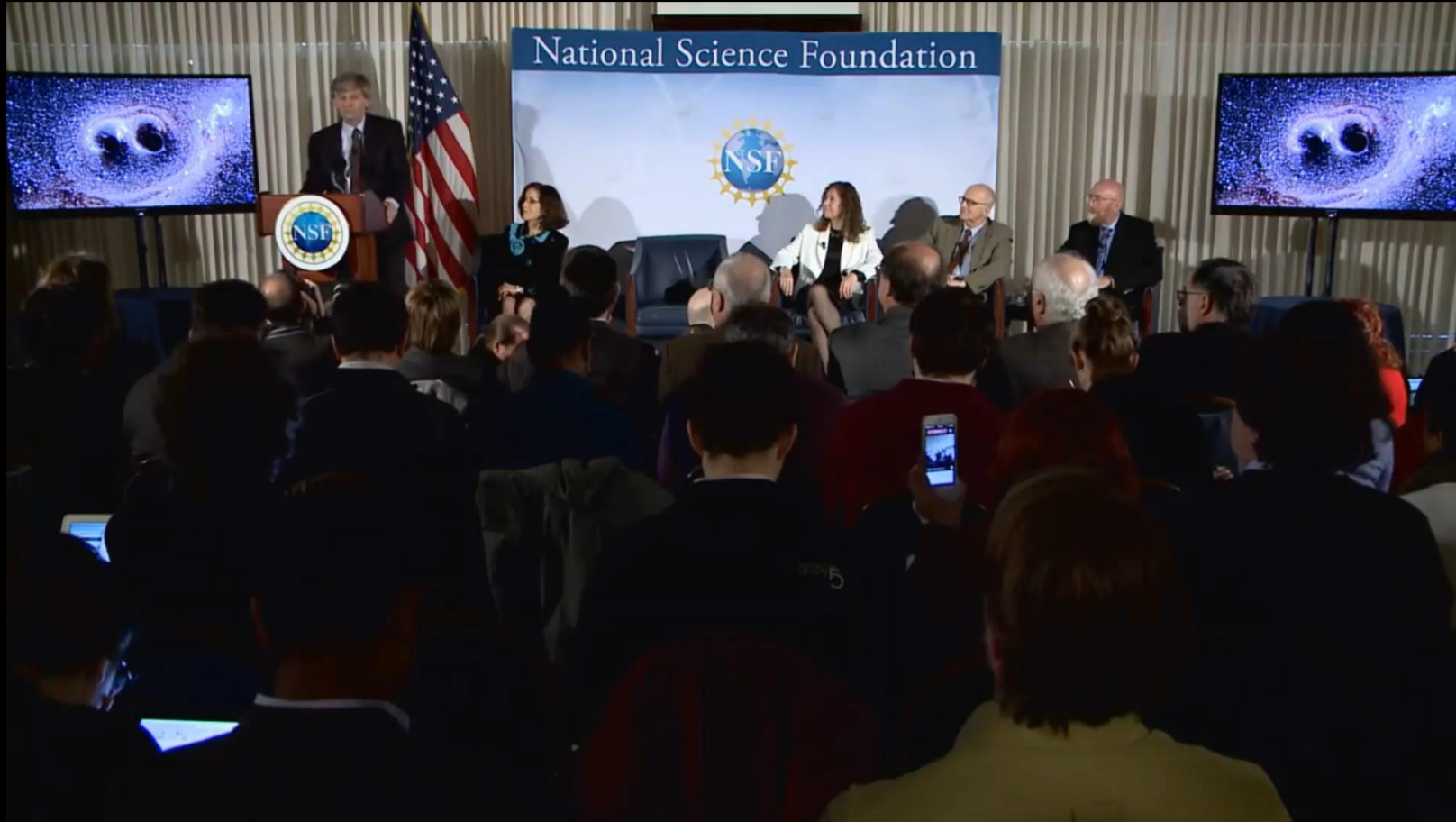
¿Cómo lo podríamos saber?

LIGO –

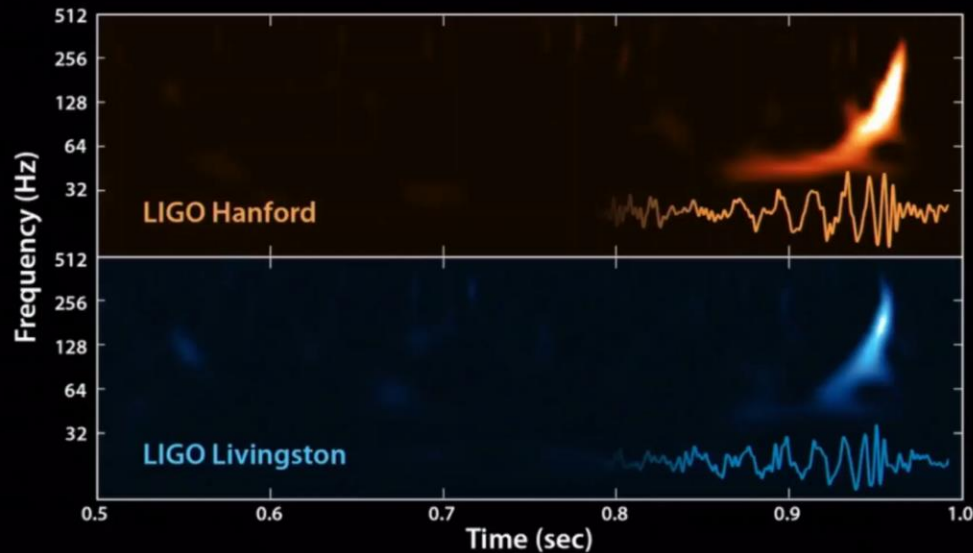
- Detector de ondas gravitacionales
 - Perturbaciones en el espaciotiempo de una milésima parte del tamaño de un protón.
- Detectores en Livingston, Louisiana y Hanford, Washington
- Mil doscientos millones de dólares
- 2 detectores (4km en cada brazo), 100 investigadores, 16 países, 25 años (la inversión comenzó en 1992)



Anuncio 11 de febrero de 2016 (Detección: 14-sept- 2015)



Podemos escuchar al universo



- La colisión ocurrió hace mil trescientos millones de años
- Dos agujeros negros de 150 km de diámetro (aprox)
- Los agujeros negros de 29 y 36 masas solares formaron uno de 62 masas solares
- 3 masas solares emitidas en energía

Este año obtuvimos la primera “fotografía de un agujero negro”



Equivalente a tomar la
fotografía de un DVD en la
superficie de la luna...



¿Cómo?

EVENT HORIZON TELESCOPE (EHT)





Telescopios involucrados

- Arizona Radio Observatory/Submillimeter-wave Astronomy (ARO/SMT)
- Atacama Pathfinder EXperiment (APEX)
- Atacama Submillimeter Telescope Experiment (ASTE)
- IRAM 30-meter Telescope
- James Clerk Maxwell Telescope (JCMT)
- The Large Millimeter Telescope (LMT)
- The Submillimeter Array (SMA)
- Atacama Large Millimeter/Submillimeter Array (ALMA)
- South Pole Telescope



LMT - GTM



ALMA



La realidad supera a la ficción



No sólo fue la adquisición de datos... también el procesamiento de la imagen

La realidad supera a la ficción

Foundation

Foundation





Scientists have obtained the first image of a black hole, using Event Horizon Telescope observations of the center of the galaxy M87. The image shows a bright ring formed as light bends in the intense gravity around a black hole that is 6.5 billion times more massive than the Sun. This long-sought image provides the strongest evidence to date for the existence of supermassive black holes and opens a new window onto the study of black holes, their event horizons, and gravity. Credit: Event Horizon Telescope Collaboration

M87*

- Localización: En el centro de Messier 87, (una galaxia masiva cerca del cúmulo de Virgo)
- Distancia a la Tierra: 55 millones de años luz
- Masa: 6.5 mil millones de veces la masa del Sol

EHT BLACK HOLE IMAGE
SOURCE: NSF





María Montserrat Juárez Aubry

10 de abril · 🧑🏻‍🤝‍🧑🏻 ▼

Esta es la primera imagen de un agujero negro.

Me siento FELIZ e increíblemente afortunada de estar viva para verla.

Pienso en la gran cantidad de científicos que dedicaron su carrera a estudiar estos objetos sin llegar a verlos nunca. Pienso, en especial, en el fallecido Stephen Hawking, cuyos libros inspiraron a toda una generación y que dejó este mundo apenas hace un año.

También pienso en lo que este logro significa para la humanidad.

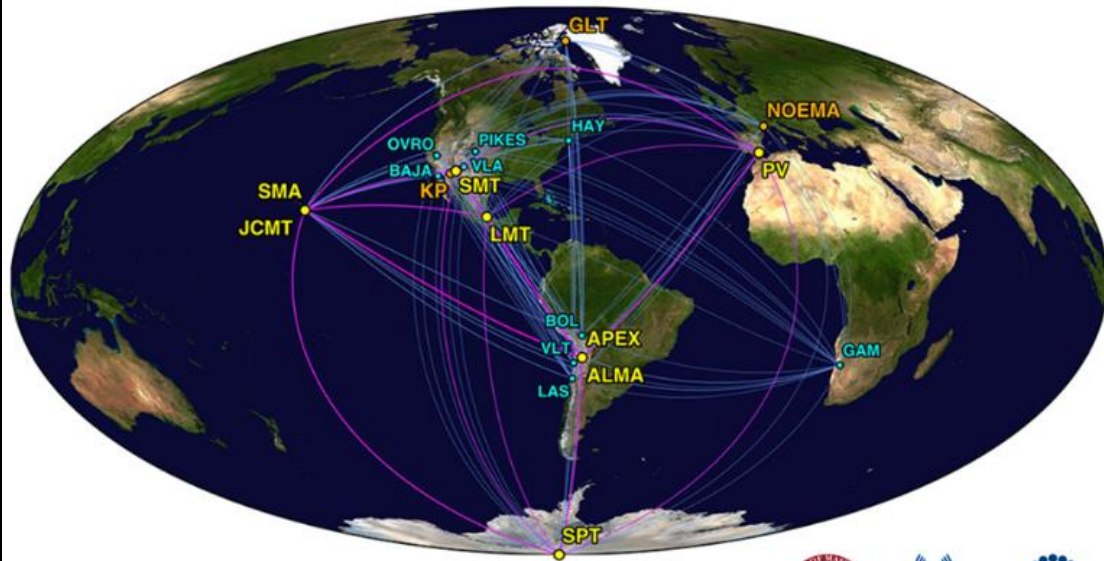
Hace apenas algunas décadas, el espacio era una carrera entre países que había que ganar. Hoy, la imagen del agujero negro M87, es la representación de una gran colaboración internacional. Con esta imagen, la ciencia reclama su sentido global, su naturaleza sin barreras, su espíritu de cooperación, su carácter libre, público y altruista para la humanidad y nos recuerda que este punto azul pálido, hogar del EHT, es de todos nosotros.

A few decades ago, the outer space was "a race" between countries, between enemies. Today, the image of the M87 black hole represents a great international collaboration. With this image, science reclaims its global nature, its borderless sense, its spirit of cooperation, its free, public and selfless character that provides for all humanity. It reminds us that this pale blue dot, home of the EHT, belongs to all of us.



¡Y se vienen cosas más grandes!

Nueva Generación del Telescopio del Horizonte de Eventos



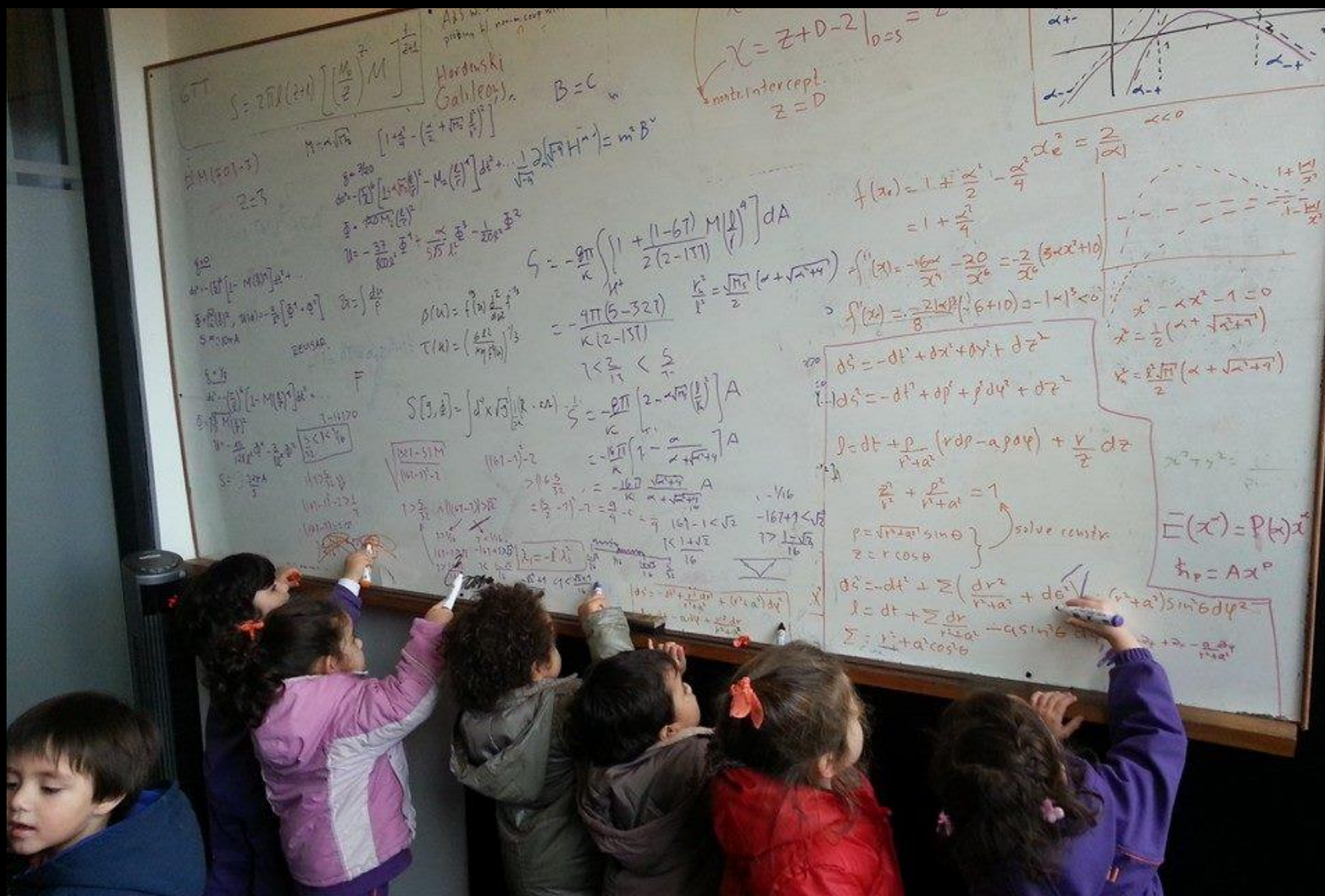
Gran Telescopio Milimétrico Alfonso Serrano



¿El primer video directo de un agujero negro!? Sí, eso es lo que el [Event Horizon Telescope - II](#) (o ngEHT, nueva generación del EHT) planea crear con un equipo de casi 20 telescopios en los que se encuentra el GTM. Esta película podría ser suficiente para explicar cómo es que se forman los chorros de material relativista que se observan en muchos de ellos, incluyendo a M87*.

Un último favor, aprovechando su
hospitalidad

Pasar de ver la ciencia así...



... y darse cuenta que en realidad es así





ARKANSAS STATE UNIVERSITY
CAMPUS QUERÉTARO, MÉXICO.

María Montserrat Juárez-Aubry
Arkansas State University
Campus Querétaro
mjuarez@astate.edu

