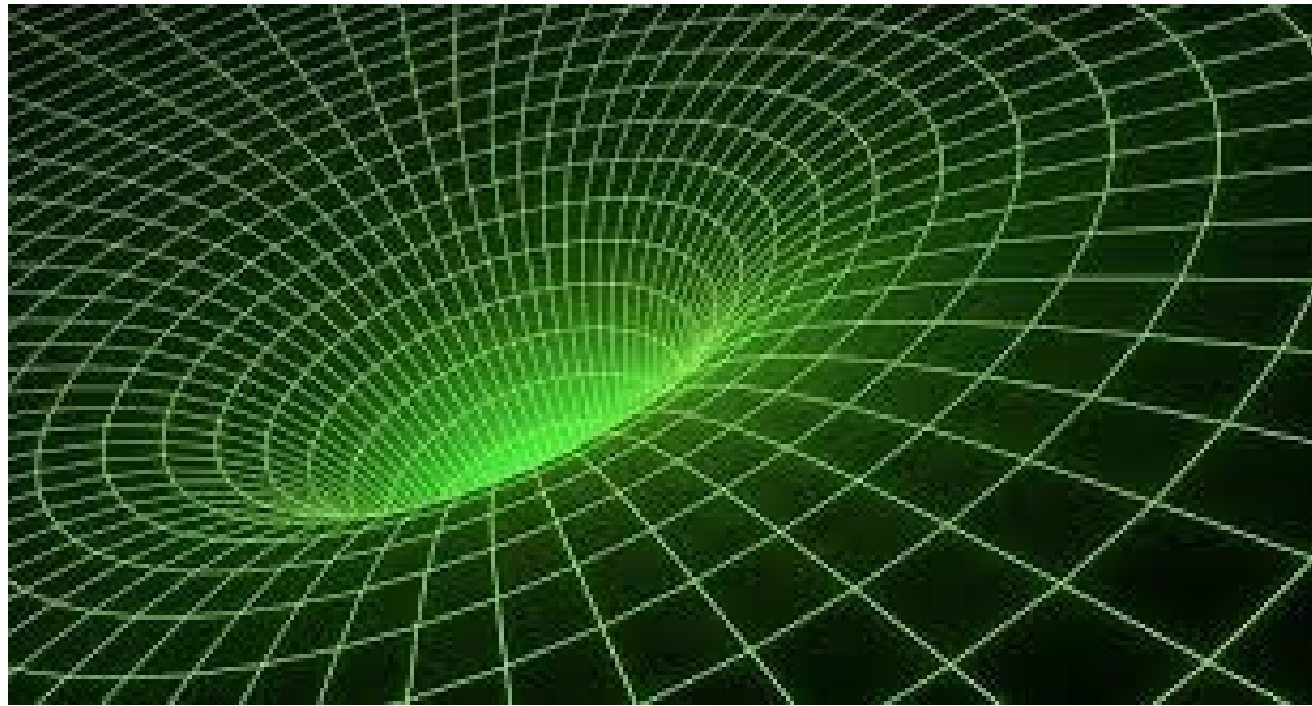




SIE

DIPC



SUPERCOMPUTACIÓN Y VIAJES EN EL TIEMPO

HPC Admintech | Ibiza

Txomin Romero
Director del Centro de Supercomputación del DIPC



DONOSTIA INTERNATIONAL PHYSICS CENTER

Creado en 1999

OBJETIVO

Promocionar y catalizar el desarrollo al más alto nivel de la investigación básica y básica-orientada en ciencia de materiales

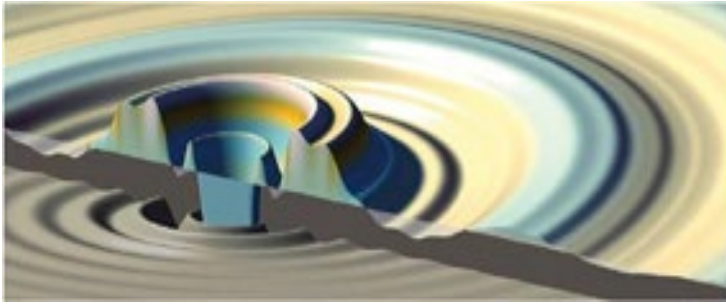
PROGRAMAS DE ACTUACIÓN

- Programa de investigadores visitantes
- Programa de congresos internacionales
- Programa de divulgación de la ciencia

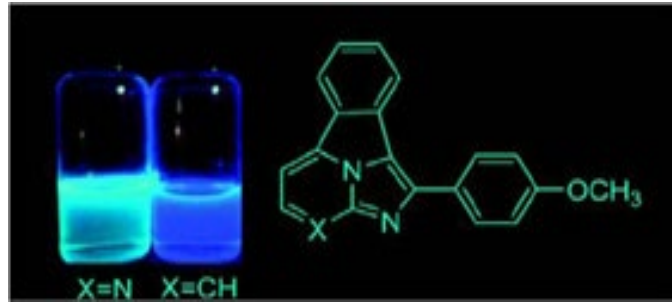




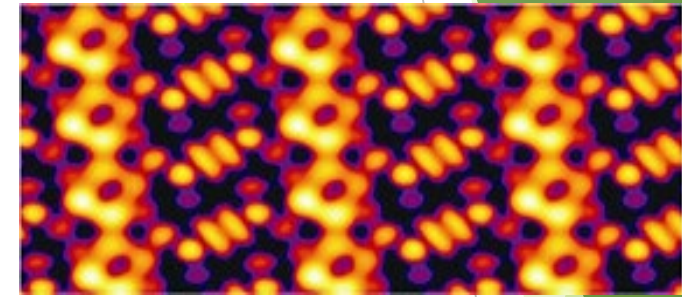
LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN



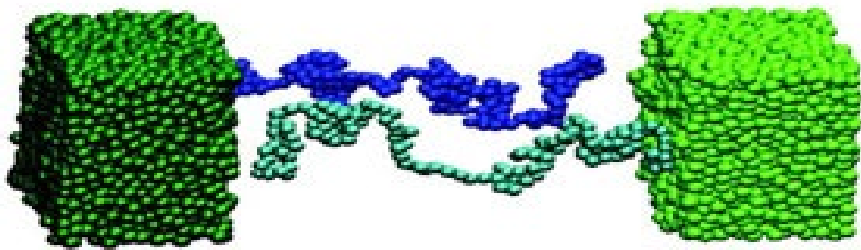
ELECTRONIC PROPERTIES
AT THE NANOSCALE



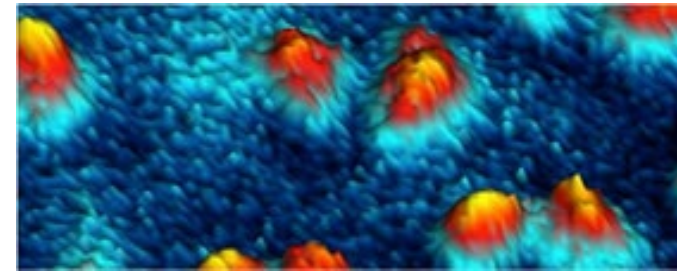
COMPUTATIONAL CHEMISTRY
AND PHYSICAL CHEMISTRY



SURFACES AND
INTERFACES



POLYMERS AND SOFT
MATTER



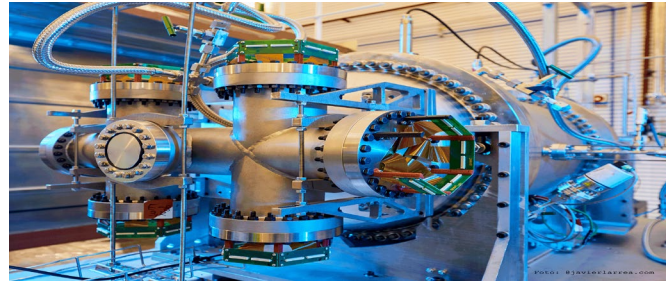
PHOTONICS AND
PLASMONICS



¡NUEVAS LÍNEAS!



GENÓMICA



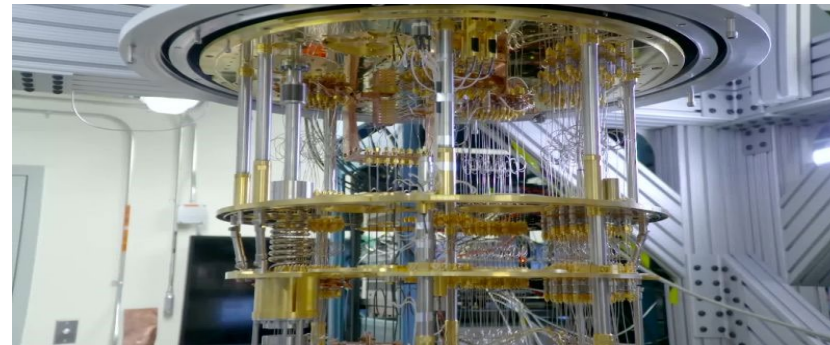
FÍSICA DE NEUTRINOS



COSMOLOGÍA



COGNICIÓN Y CEREBRO



COMPUTACIÓN CUÁNTICA



HYPERION(2024-). CLUSTER SIE, ASUS, DELL, LENOVO Y SUPERMICRO



- ❑ >17.000 núcleos
- ❑ > 200 TB de RAM
- ❑ Nodos Xeon Gold y Platinum y AMD EPYC con 48-112 y 256 núcleos (Intel Xeon) y entre 96 GB y 4 TB de RAM por nodo. Nodos con 2 RTX 3090 (18) y nodos con 8 A100 (72)
- ❑ Infiniband HDR (High Data Rate: 200 Gbps)
- ❑ Switches Ethernet 100 Gbps para administración y servicios
- ❑ Sistema operativo Rocky Linux 8.10
- ❑ Sistema de almacenamiento distribuido BeeGFS de 611 TB
- ❑ Intel Compilers, GNU/GCC Compilers, MKL libraries
- ❑ Es el más potente de todo el País Vasco





¡VIAJES EN EL TIEMPO!

AMBICIÓN RECURRENTE EN LA CULTURA DESDE EL SIGLO XIX

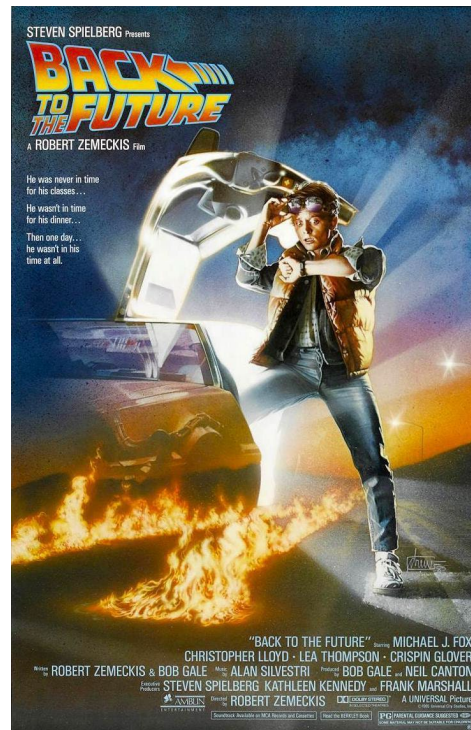


Primera novela: La máquina del tiempo, H. G. Wells, 1895

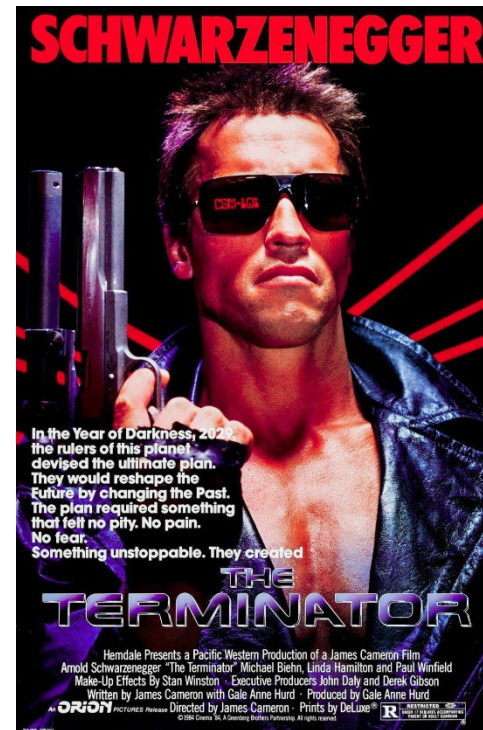
Primera película: The Time Machine, Robert W. Paul, 1895 (perdida)



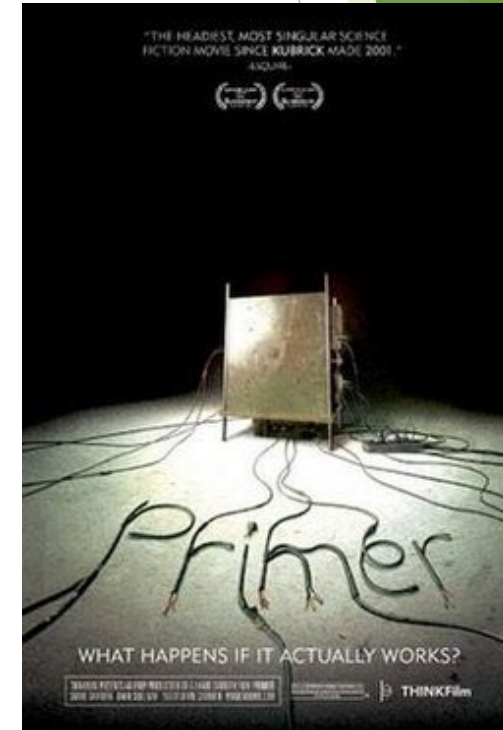
The Time Machine,
George Pal, 1960



Back to the Future,
Robert Zemeckis,
1985



The Terminator,
James Cameron, 1984



Primer, Shane
Carruth, 2004



LO PRIMERO: ¿HAY ALGUNA POSIBILIDAD FÍSICA DE VIAJAR EN EL TIEMPO?



A una velocidad distinta a 1 segundo por segundo. DEPENDE

AGUJEROS DE GUSANO

Algunas soluciones de la ecuación, con determinadas condiciones, permiten su existencia:

- ❑ Solución de Einstein-Rosen (puente de Einstein-Rosen): no atravesables (colapsan demasiado rápido)
- ❑ Solución de Morris-Thorne (1988): agujeros de gusano estables y atravesables.

ECUACIÓN CENTRAL DE LA RELATIVIDAD GENERAL

Desarrollada por Albert Einstein en 1915

$$\underbrace{G_{\mu\nu}}_{\text{Tensor de Einstein (curvatura del espacio-tiempo)}} + \underbrace{\Lambda g_{\mu\nu}}_{\text{Término de la constante cosmológica}} = \underbrace{\frac{8\pi G}{c^4}}_{\text{Constante de acoplamiento}} \underbrace{T_{\mu\nu}}_{\text{Tensor energía-momento (materia y energía)}}$$

La **materia y la energía** le dicen al espacio-tiempo cómo curvarse, y esa **curvatura** le dice a la materia cómo moverse.

$G_{\mu\nu}$: Tensor de Einstein. Describe la curvatura del espacio-tiempo.

$T_{\mu\nu}$: Tensor energía-momento. Describe la distribución de materia, energía, presión y flujo de energía.

$g_{\mu\nu}$: Tensor métrico. Describe la geometría del espacio-tiempo.

G : Constante gravitatoria ($6.674 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$)

Λ : Constante cosmológica. Relacionada con la energía del vacío y la expansión del universo.

c : Velocidad de la luz en el vacío ($2.998 \times 10^8 \text{ m/s}$)

μ, ν : Índices que recorren las 4 dimensiones (0,1,2,3): (tiempo, x, y, z)



Idea clave: Esta ecuación relaciona la geometría del espacio-tiempo (lado izquierdo) con el contenido de materia y energía (lado derecho).



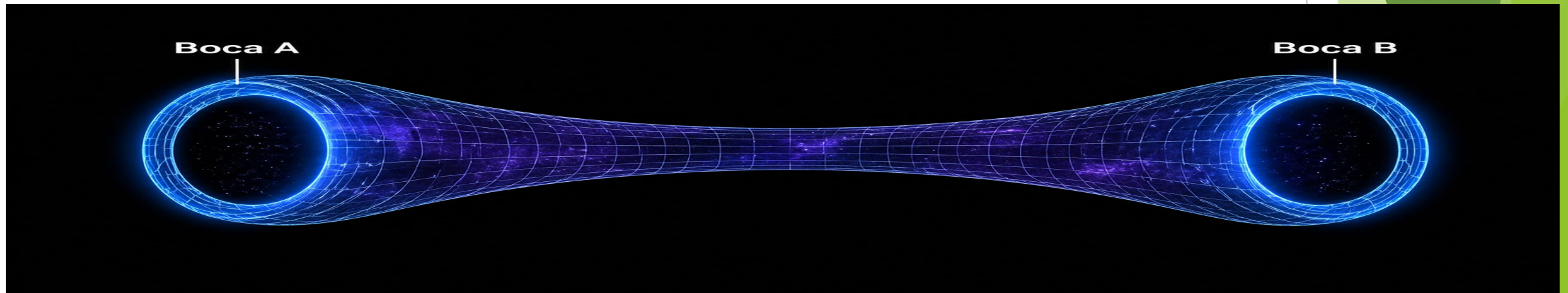
AGUJEROS DE GUSANO



HAY DOS BOCAS, A Y B, EN
DISTINTOS LUGARES DEL UNIVERSO,
Y UN TÚNEL QUE LAS UNE

LAS BOCAS SE PUEDEN **MOVER**. ACELERAMOS
LA BOCA B HASTA ALCANZAR CASI LA
VELOCIDAD DE LA LUZ, O LA COLOCAMOS AL
LADO DE UN CAMPO GRAVITATORIO INTENSO
(UN AGUJERO NEGRO) => **EFFECTOS
RELATIVISTAS** (dilatación temporal)

¡EL TIEMPO TRANSCURRE MÁS DESPACIO EN LA BOCA B QUE EN
LA BOCA A, PERO AMBAS BOCAS SIGUEN CONECTADAS!



Morris, M.S. & Thorne, K.S. & Yurtsever, U (1988). Wormholes, Time Machines, and the Weak Energy Condition. En *Physical Review Letters* 61(13). American Physical Society. 1446-1449.



EL VIAJE AL PASADO



Vamos de la boca A a la boca B: en B somos viajeros que vienen del futuro (se forma una curva temporal cerrada)

Problemas:

- Hace falta energía negativa para mantener el agujero abierto
- Paradoja del abuelo
- Inconsistencias causales
- Si B se ha seguido moviendo o sigue cerca del agujero negro, no puedo volver a casa

Hipótesis de protección cronológica de Thorne/Hawking





EJEMPLO DE INCONSISTENCIA CAUSAL



- Nazco en el año 2010.
- Se forma un agujero de gusano. La boca A esta en La Tierra. La boca B en Júpiter. La boca B ha sido acelerada a velocidades relativistas y el tiempo ha transcurrido más despacio. Alguien ha traído de vuelta a B a las inmediaciones de Júpiter después de acelerarla.
- Yo vivo plácidamente hasta el 2050, y en ese momento descubro el agujero de gusano. La boca B, debido a la dilatación del tiempo, está en 2005.
- Entro por la boca A y salgo por la boca B en Júpiter, en el año 2005.
- Viajo en una nave convencional hasta La Tierra, a la que llego en unos años, antes de 2010.
- Impido mi nacimiento.
- Luego no podré descubrir el agujero de gusano.

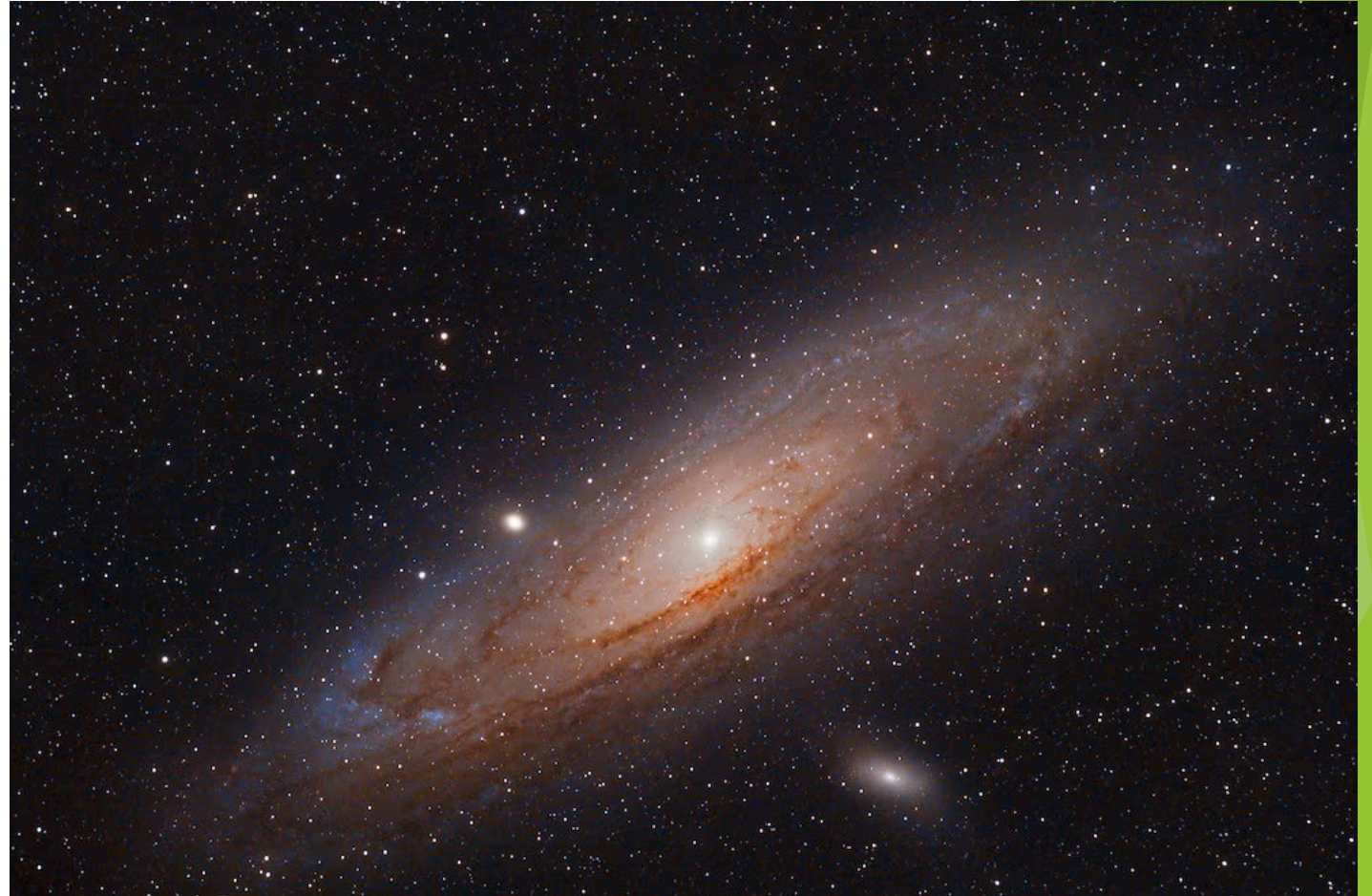


VIENDO EL PASADO



La Galaxia de Andrómeda o Messier 31

- Es una galaxia
- Se puede ver a simple vista
- Se encuentra a 2,5 millones de años luz
- Un año luz = la distancia que recorre la luz en un año
- Estamos viendo cómo era hace 2,5 millones de años





EL VIAJE AL FUTURO



Vamos de la boca B a la boca A: en A somos viajeros que vienen del pasado

Problemas:

- Requiere energías enormes si no usamos un agujero negro
- No tenemos la tecnología necesaria

¡PERO YA LO
HEMOS
HECHO!





LA ESTACIÓN ESPACIAL INTERNACIONAL



- ❑ Altura: 400 kms. Velocidad de giro: 7,7 kms por segundo, 16,6 veces mayor que una persona en reposo en el ecuador terrestre (464 metros por segundo).
- ❑ Mayor velocidad => el reloj de la IIS se retrasa 28,2 microsegundos al día
- ❑ Menor gravedad => el reloj de la IIS se adelanta 3,6 microsegundos al día
- ❑ Estancia típica de 6 meses => al volver, el astronauta viaja al futuro 4,4 milisegundos



¡PERO TAMBIÉN PODRÍAMOS VIAJAR AL PASADO!



- ❑ Altura de los satélites GPS: 20.200 kms (25% menos de intensidad del campo gravitatorio)
- ❑ La influencia de la velocidad en el reloj es menor que en la IISS
- ❑ La influencia de la disminución de la gravedad es mayor que en la IISS
- ❑ Si los satélites GPS estuvieran tripulados, el astronauta, al volver de la estancia de 6 meses, viaja 7 milisegundos al pasado



¿Y QUÉ TIENE QUE VER LA SUPERCOMPUTACIÓN EN TODO ESTO?



NADA, HE TENIDO QUE MENTIR PARA PODER HABLAR DE VIAJES EN EL TIEMPO Y QUEDARME A GUSTO

EN REALIDAD CON LA SUPERCOMPUTACIÓN ESTAMOS VIAJANDO AL FUTURO TODO EL RATO (o hacia el pasado si el modelo es reversible). SON VIAJES COMPUTACIONALES EN EL TIEMPO



Un poco cogido por los pelos, lo sé



PARA QUÉ SE USA REALMENTE LA SUPERCOMPUTACIÓN EN RELACIÓN A LOS VIAJES ALREDEDOR DEL TIEMPO



Relatividad numérica: rama de la física que intenta resolver los problemas de la Relatividad general usando ordenadores en lugar de solo matemáticas. Podemos usar supercomputación para realizar simulaciones y saber

- Si los agujeros de gusano colapsan con facilidad
- O hay maneras de mantenerlos abiertos y convertirlos en máquinas para viajar en el tiempo

Shinkai, H. A., & Hayward, S. A. (2002). Fate of the first traversable wormhole: Black-hole collapse or inflationary expansion. *Physical Review D*, 66(4), 044005.

González, J. A., Guzmán, F. S., & Sarbach, O. (2009). Instability of wormholes supported by a ghost scalar field. I. Linear stability analysis. *Classical and Quantum Gravity*, 26(1), 015010.

Torii, T., & Shinkai, H. (2013). Wormholes in higher-dimensional space-times: Exact solutions and their linear stability analysis. *Physical Review D*, 88(6), 064027.

Cremona, F., Pani, P., & Barausse, E. (2018). Linear mode stability of the Ellis-Bronnikov-Morris-Thorne wormhole. *Physical Review D*, 98(12), 124014.

Sokoliuk, O., & Baransky, A. (2021). Traversable wormholes in modified gravity: Stability analysis. *European Physical Journal C*, 81, 1-12.



SUPERCOMPUTADORES USADOS EN SIMULACIONES DE RELATIVIDAD NUMÉRICA



(que incluyen la evolución de agujeros de gusano)

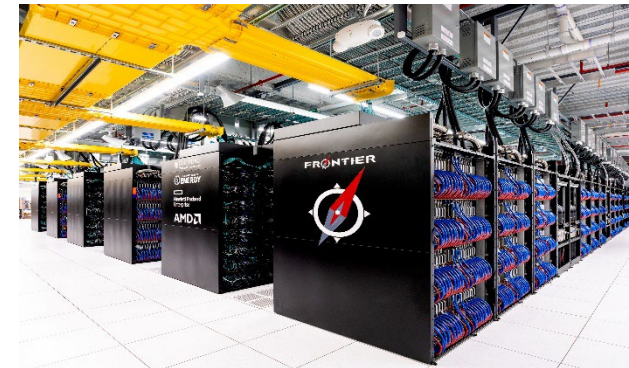
Blue Waters. National
Center for Supercomputing
Applications



Stampede 2. Texas
Advanced Computing
Center



Frontier. Oak Ridge
National Laboratory

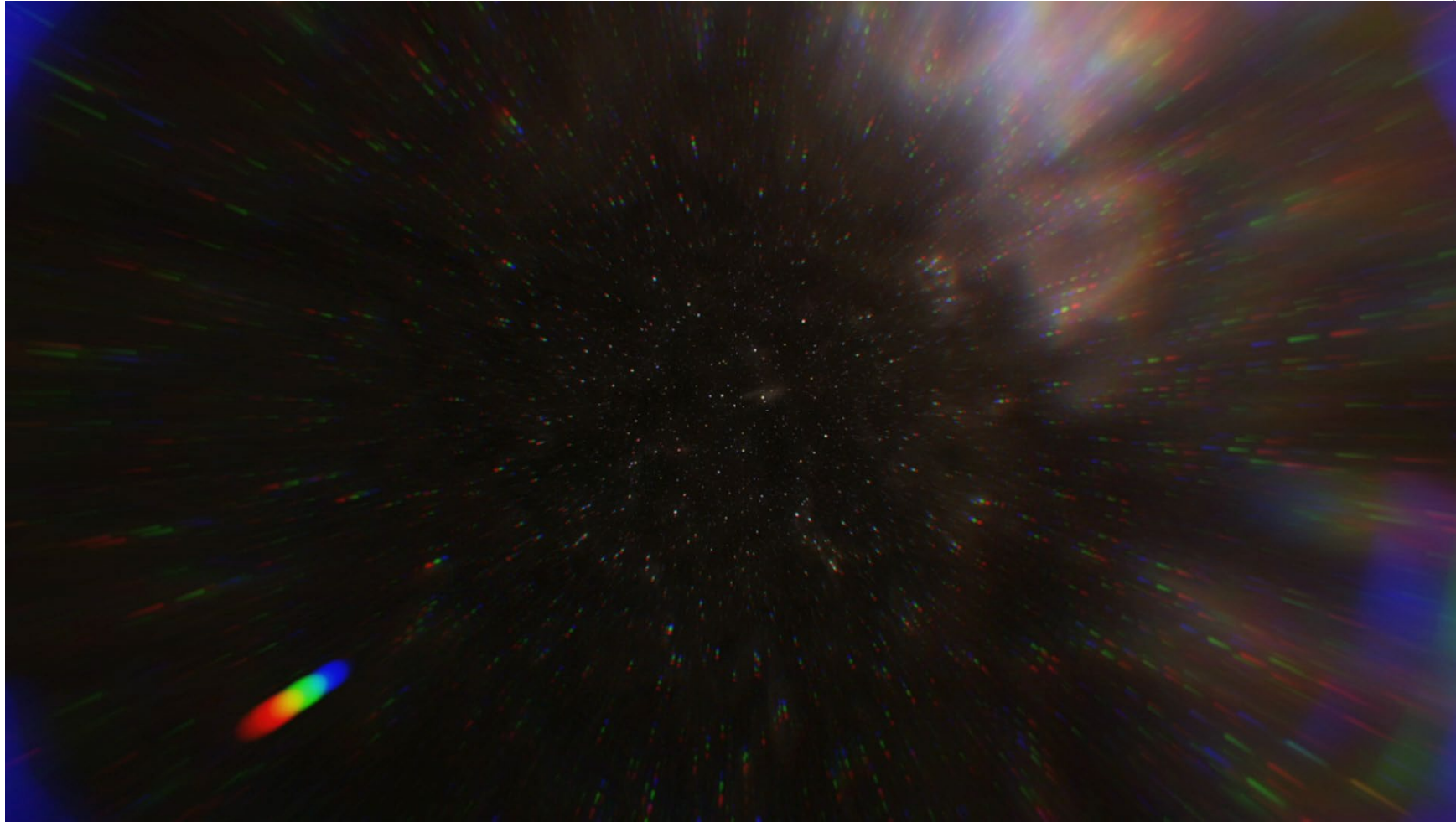


Summit. Oak Ridge
National Laboratory





ATRAVESANDO UN AGUJERO DE GUSANO



Créditos: Mike Winkelmann/ESO



QUÉ SE SIMULA EN LOS SUPERCOMPUTADORES



SE SIMULA LA EVOLUCIÓN DE LOS AGUJEROS DE GUSANO DE TIPO MORRIS-THORNE, RESOLVIENDO LAS ECUACIONES DE LA RELATIVIDAD GENERAL EN 4D BAJO DETERMINADAS PERTURBACIONES (por ejemplo, radiación u ondas gravitacionales) O USANDO GRAVEDAD MODIFICADA (cambiando las ecuaciones de Einstein) PARA NO DEPENDER DE LA MATERIA EXÓTICA. EN DETERMINADAS CONDICIONES:

- EL AGUJERO SE CIERRA
- SE CONVIERTE EN UN AGUJERO NEGRO
- EXPLOTA

¿CÓMO?

USANDO MALLAS NUMÉRICAS DEL ESPACIO-TIEMPO: se divide el espacio-tiempo en una rejilla o malla formada por puntos, en cada punto se calculan valores como la curvatura o la densidad y luego se calcula cómo evolucionan esos valores paso a paso con un supercomputador



EINSTEIN TOOLKIT



- Framework para simulación de fenómenos como colisiones de agujeros negros, estrellas de neutrones, ondas gravitacionales y agujeros de gusano en supercomputadores
- Escrito en C, C++ y Fortran
- Paralelización MPI
- Usa CUDA y OpenCL



einstein
toolkit

<https://einsteintoolkit.org>



¿Y QUÉ PASA CON LA IA?



CUANDO SE SUPERE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL GENERAL Y SE ALCANCE LA SUPERINTELIGENCIA QUE SE MEJORA A SÍ MISMA, ¿PODRÍA SER CAPAZ DE VER EL FUTURO DE LA HUMANIDAD A SIGLOS VISTA Y CONTÁRNOSLO?

PROBLEMAS:

- ❑ Teoría del caos (Edward Lorenz, años 60). Pequeñas variaciones provocan grandes cambios, aún en sistemas deterministas: el famoso efecto mariposa. Por ejemplo, los mercados financieros
- ❑ Principio de incertidumbre (Werner Heisenber, 1927): no puedes conocer con precisión absoluta ciertas parejas de propiedades al mismo tiempo, como la posición y el momento (velocidad x masa) de una partícula
- ❑ Complejidad computacional: sabemos que algunos modelos no son computables en tiempo razonable y otros no son ni computables. No tenemos manera de saber si el futuro que nos propone la IA va a ser cierto o no

¿IA + COMPUTACIÓN CUÁNTICA QUIZÁS?



SIE

¡MUCHAS GRACIAS!



txomin.romero@dipc.org