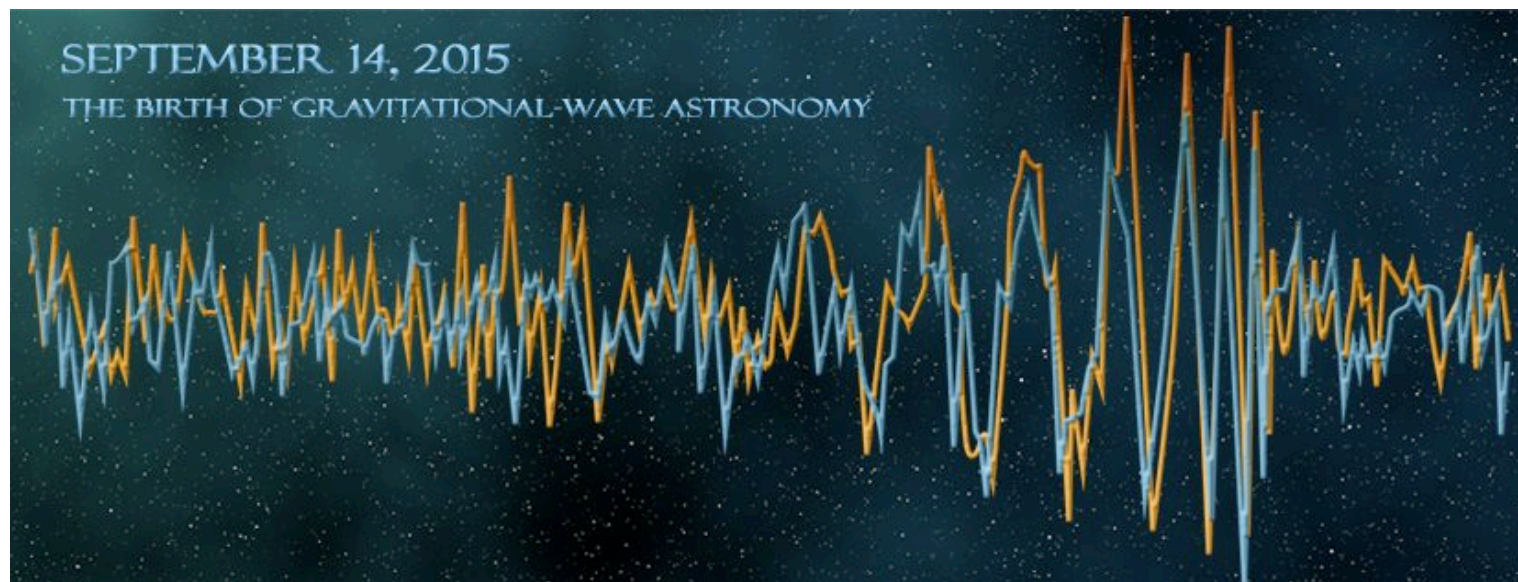


Detección de ondas gravitacionales

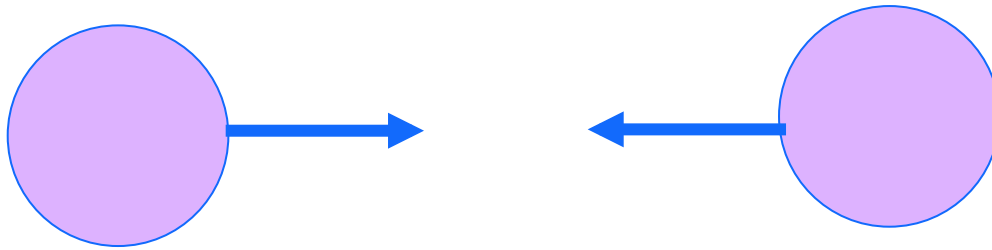
Gabriela González
Louisiana State University

Representando LIGO Scientific Collaboration y Virgo
Collaboration

Universidad Nacional de México
30 de junio, 2016



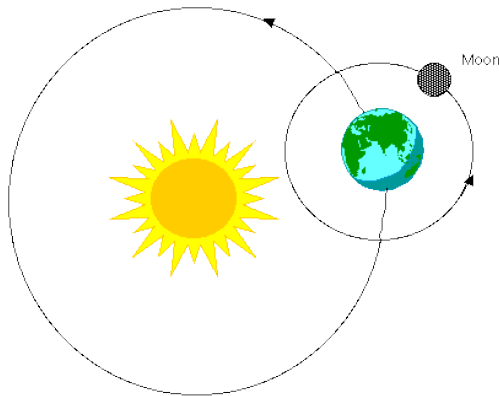
La gravedad de acuerdo con Newton



“Ley de Newton”: $F = Gm_1m_2/r^2$



Explica movimientos mundanos como la caída de una manzana y movimientos planetarios como la Tierra girando alrededor del Sol,...



La gravedad de acuerdo con Einstein

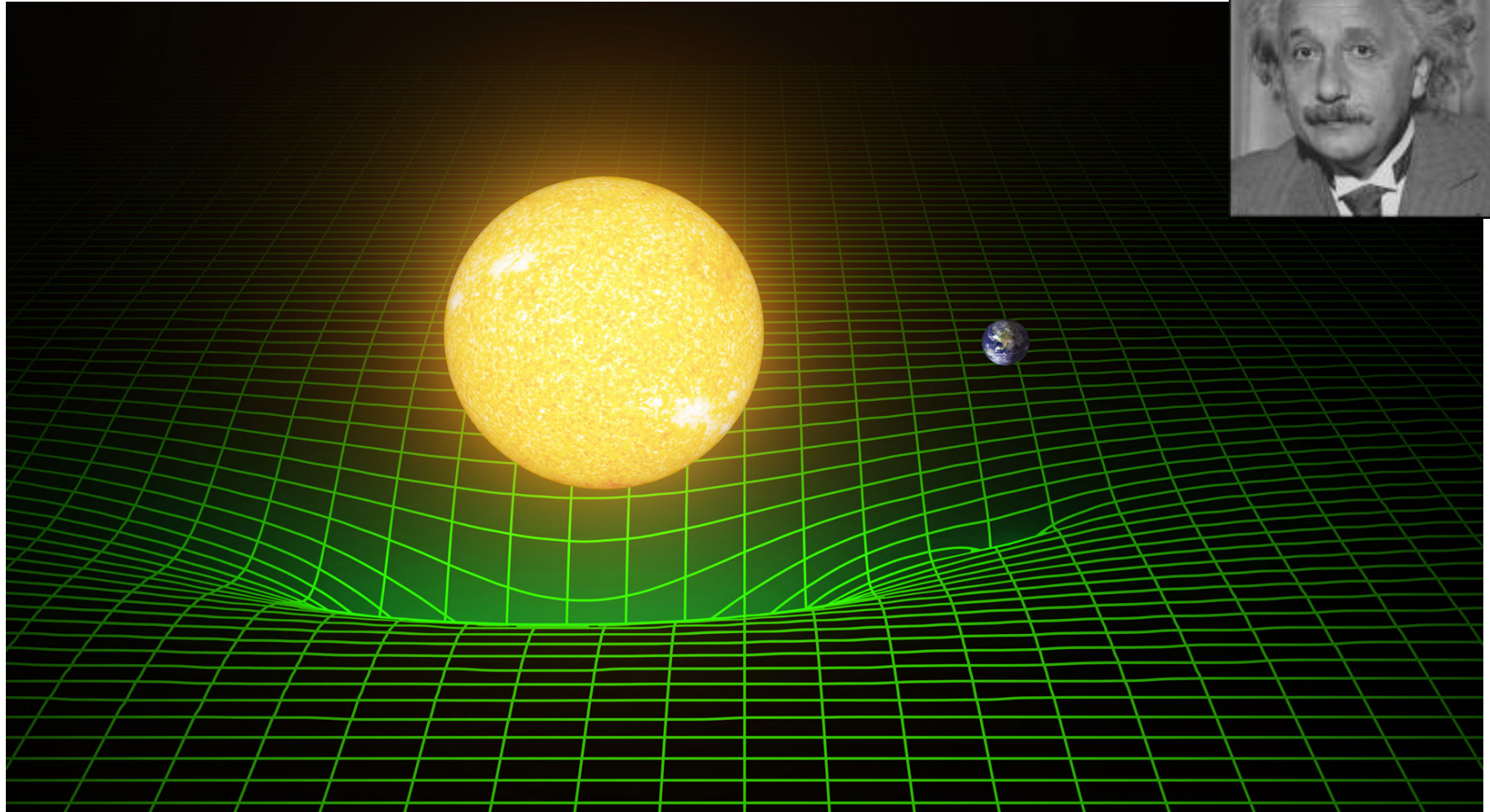
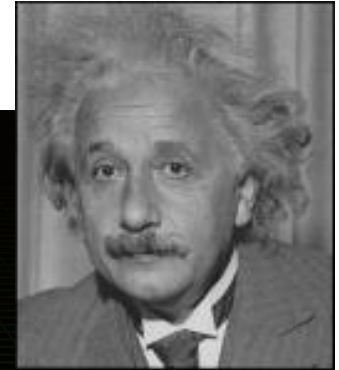
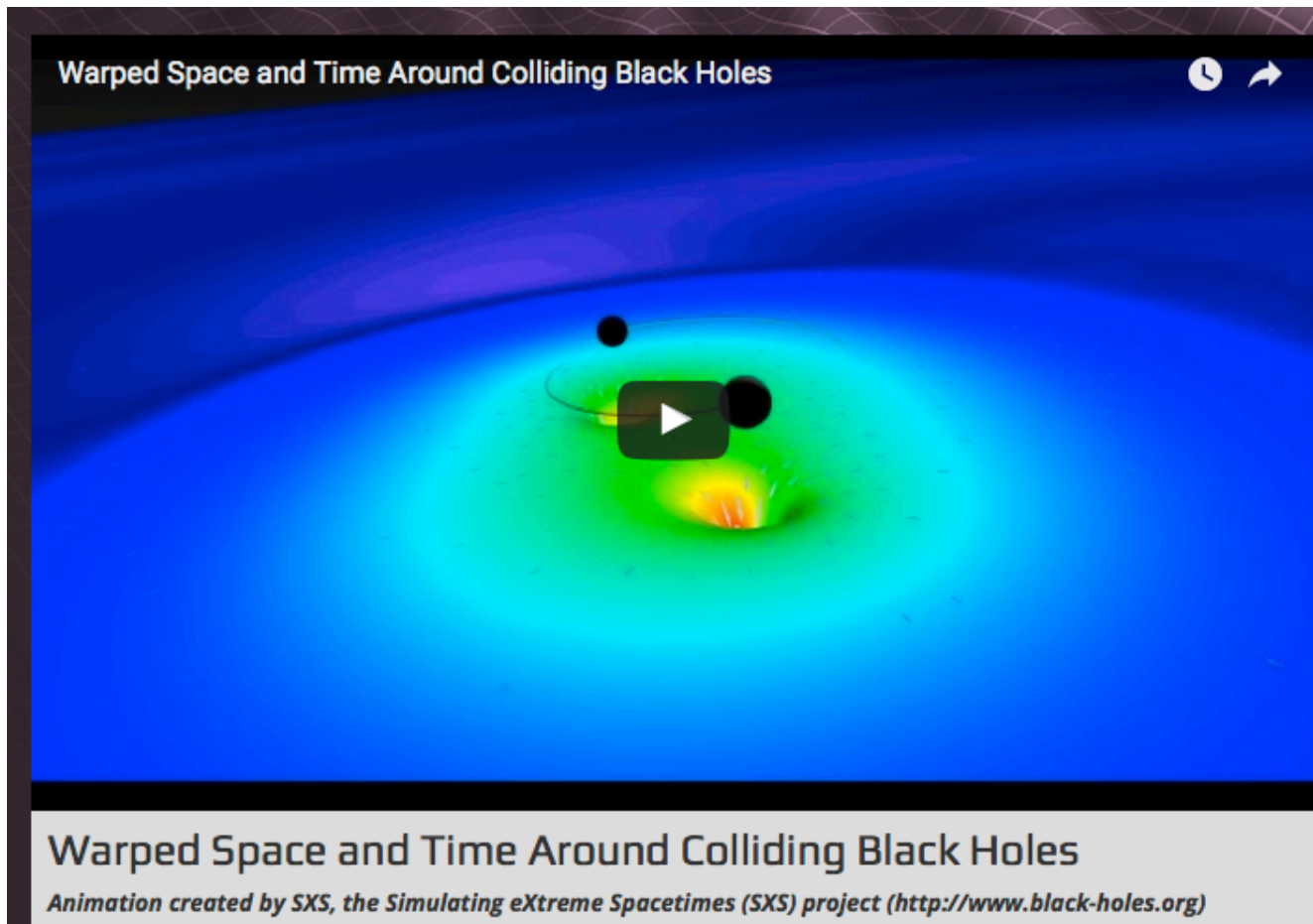


Image Credit: T. Pyle/Caltech/MIT/LIGO Lab

Onda gravitacional de un sistema binario

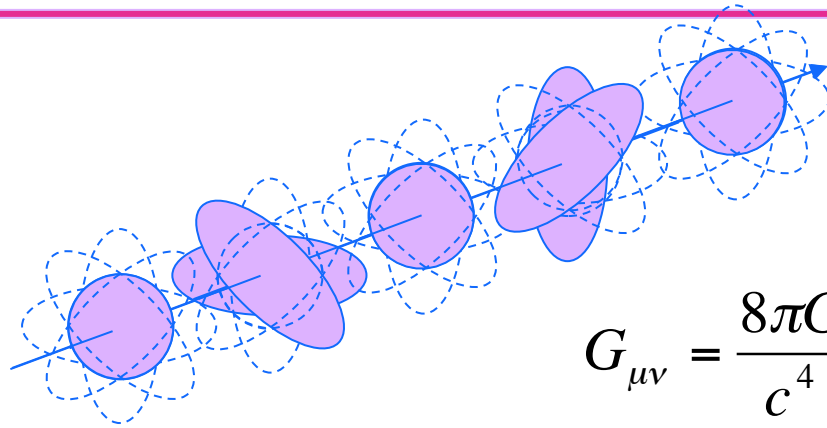


- <https://youtu.be/1agm33iEAuo>



Credit: SXS

Ondas gravitacionales: fórmulas

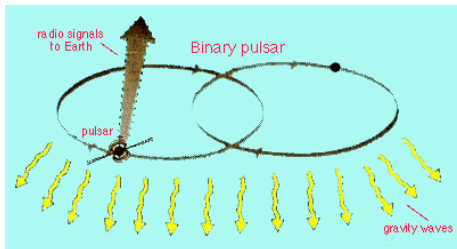


Las ondas gravitacionales son distorsiones cuadrupolares del espacio-tiempo, producidas por movimiento de cuadrupolos de masas.

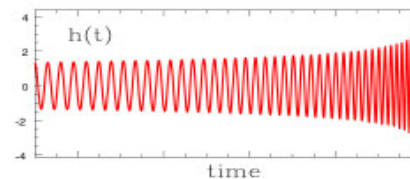
$$G_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu} (= 0 \text{ in vacuum})$$

$$h_{\mu\nu} \sim \frac{2G}{c^4 r} \ddot{I}_{\mu\nu}$$

$$g_{\mu\nu} = \eta_{\mu\nu} + h_{\mu\nu} \quad h = 2 \frac{\Delta L}{L}$$



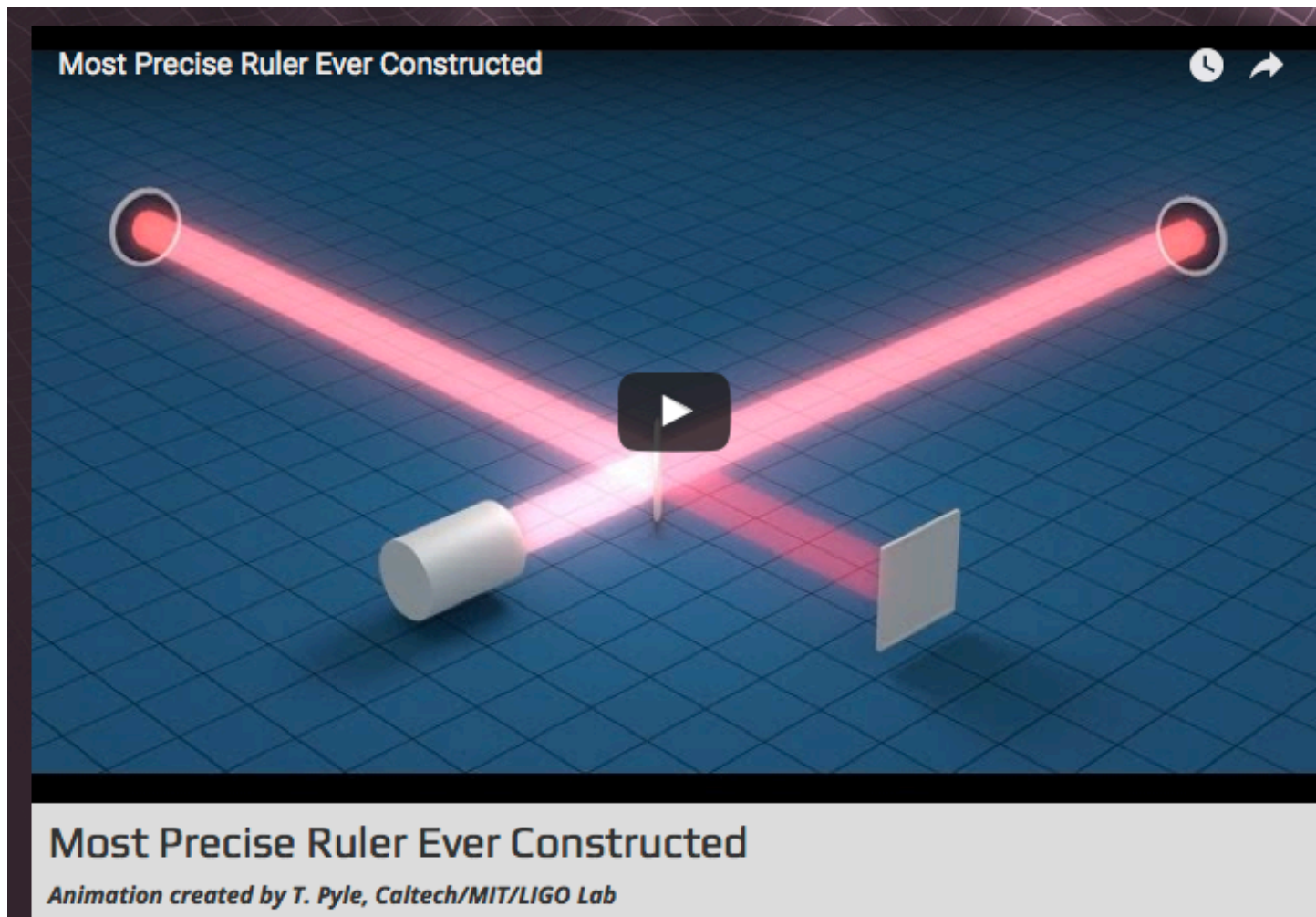
$$h_{\mu\nu} \sim \frac{R_1 R_2}{D r}$$



Una coalescencia de estrellas de neutrones en el cluster de Virgo produce ondas de amplitud $h \sim 10^{-21}$ en la Tierra: la distancia entre el Sol y la Tierra cambia por un diámetro atómico.

Interferómetros

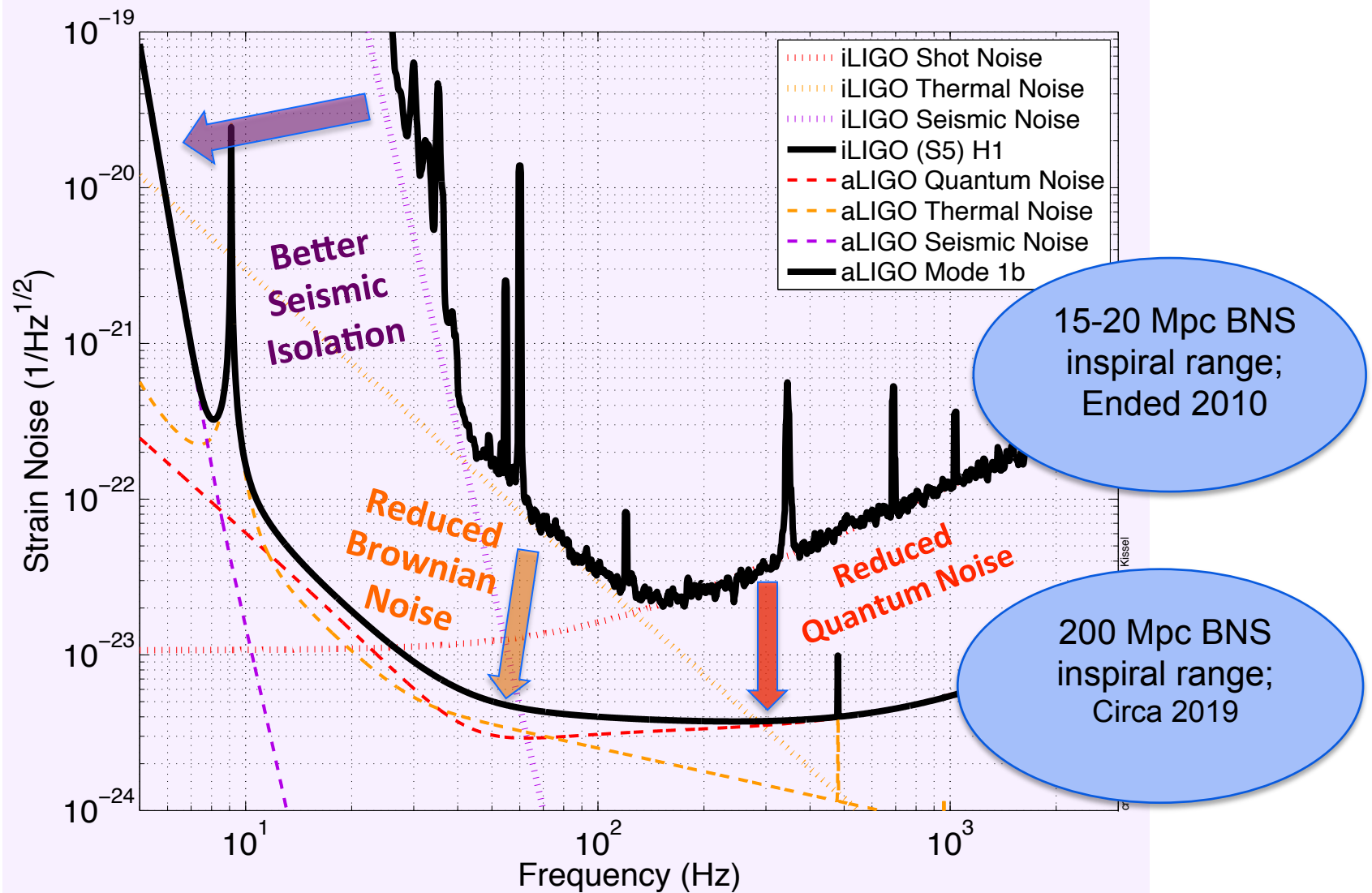
- https://youtu.be/tQ_telUb3tE



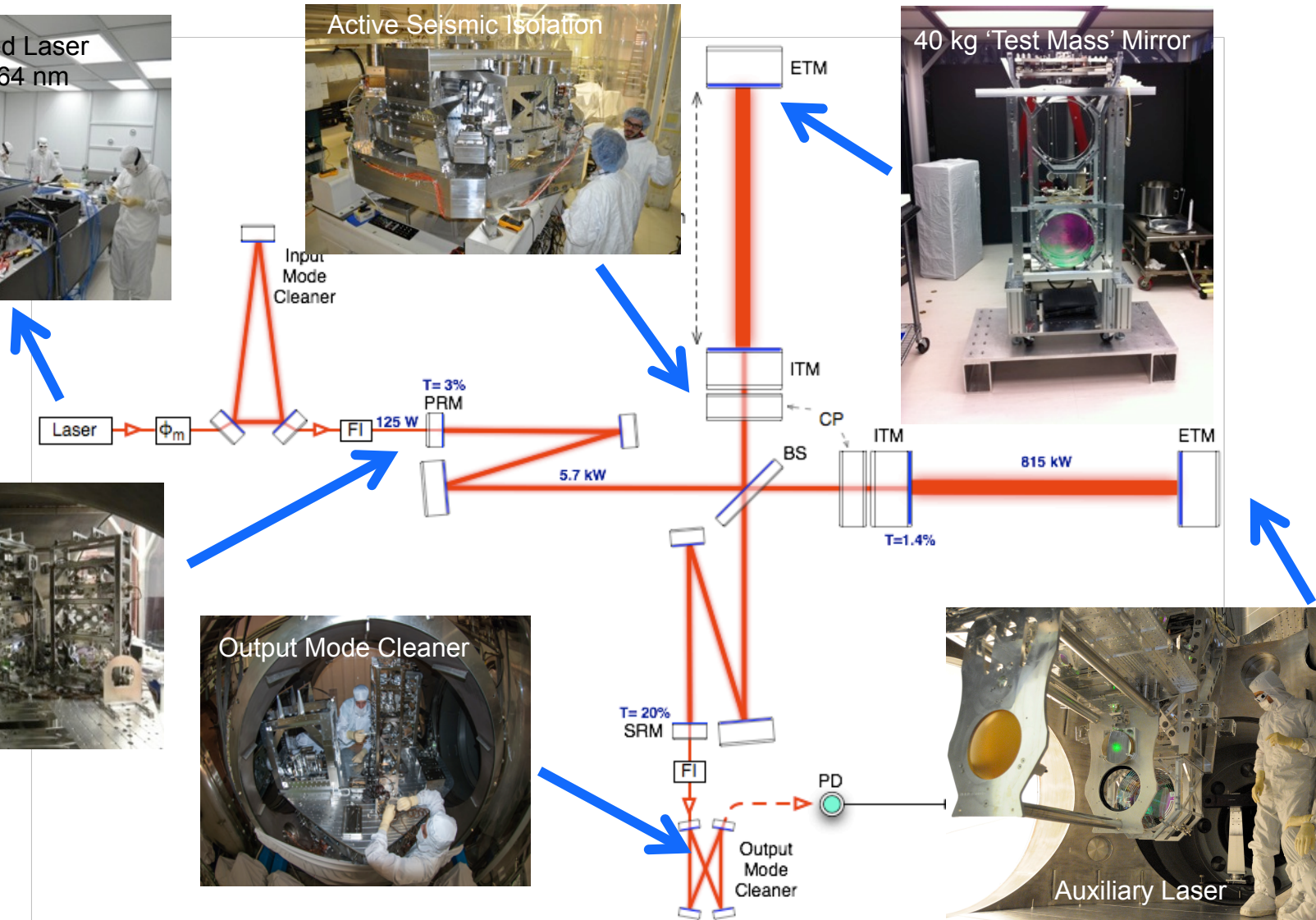
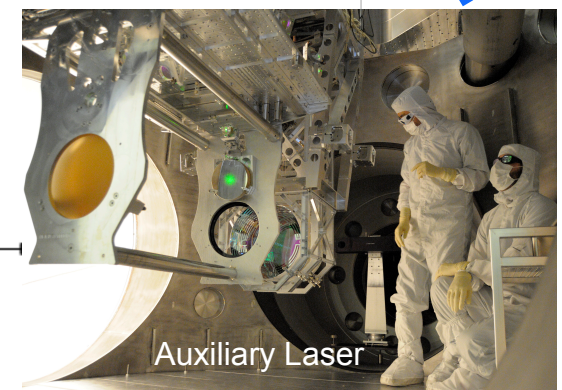
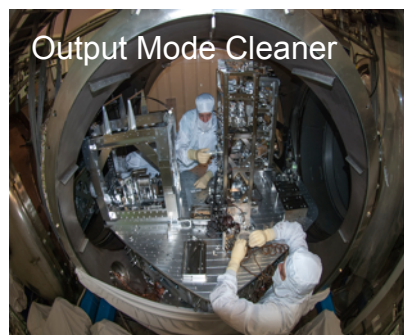
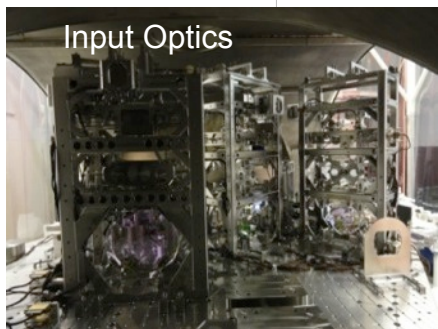
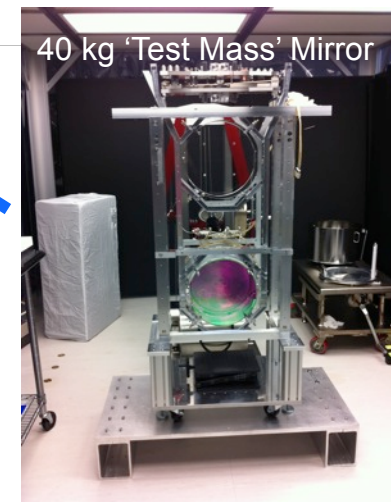
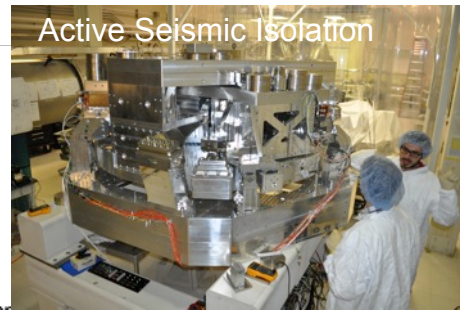
Detectores LIGO: 4km de lado



LIGO inicial (2001-2010) y Avanzado (2015+)



Interferómetro LIGO Avanzado





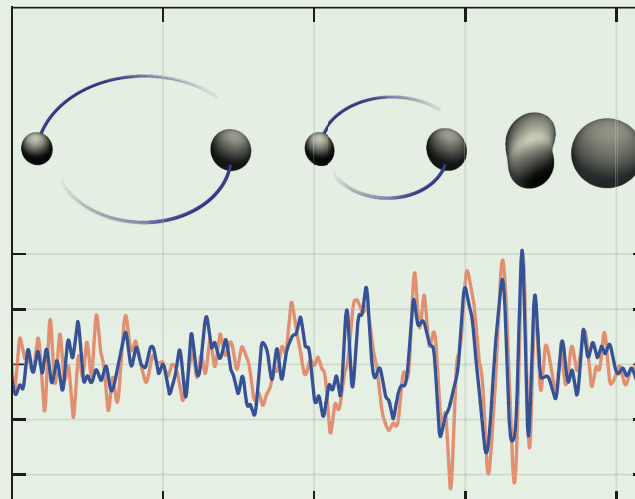
Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger

B. P. Abbott *et al.**

(LIGO Scientific Collaboration and Virgo Collaboration)

(Received 21 January 2016; published 11 February 2016)

(and papers.ligo.org)



Published by
American Physical Society™



Volume 116, Number 6



Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger

B. P. Abbott *et al.**

(LIGO Scientific Collaboration and Virgo Collaboration)

(Received 21 January 2016; published 11 February 2016)



GW151226: Observation of Gravitational Waves from a 22-Solar-Mass Binary Black Hole Coalescence

B. P. Abbott *et al.**

(LIGO Scientific Collaboration and Virgo Collaboration)

(Received 31 May 2016; published 15 June 2016)

Binary Black Hole Mergers in the first Advanced LIGO Observing Run

<https://dcc.ligo.org/LIGO-P1600088/public>

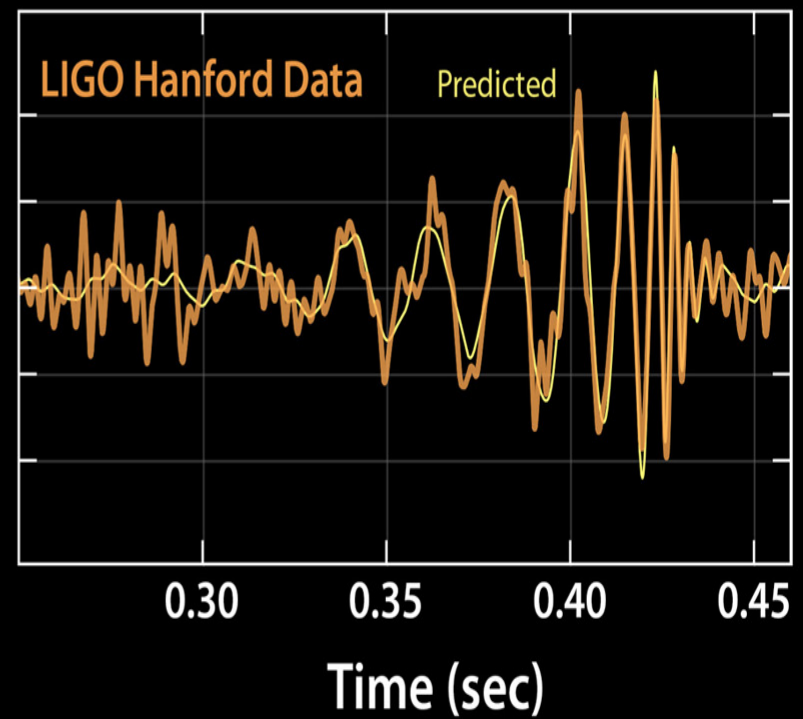
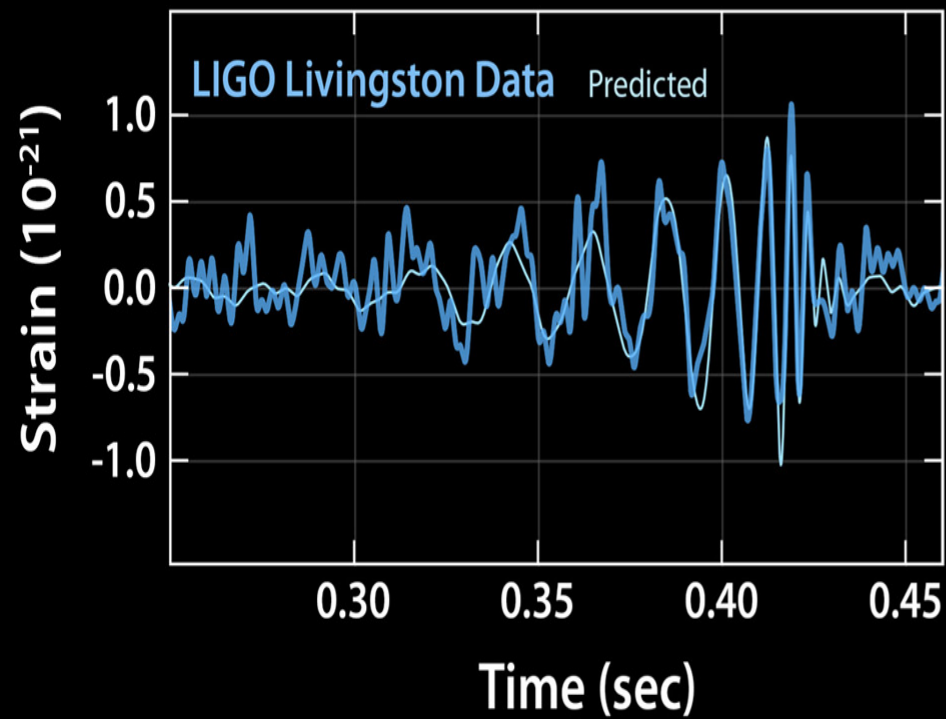
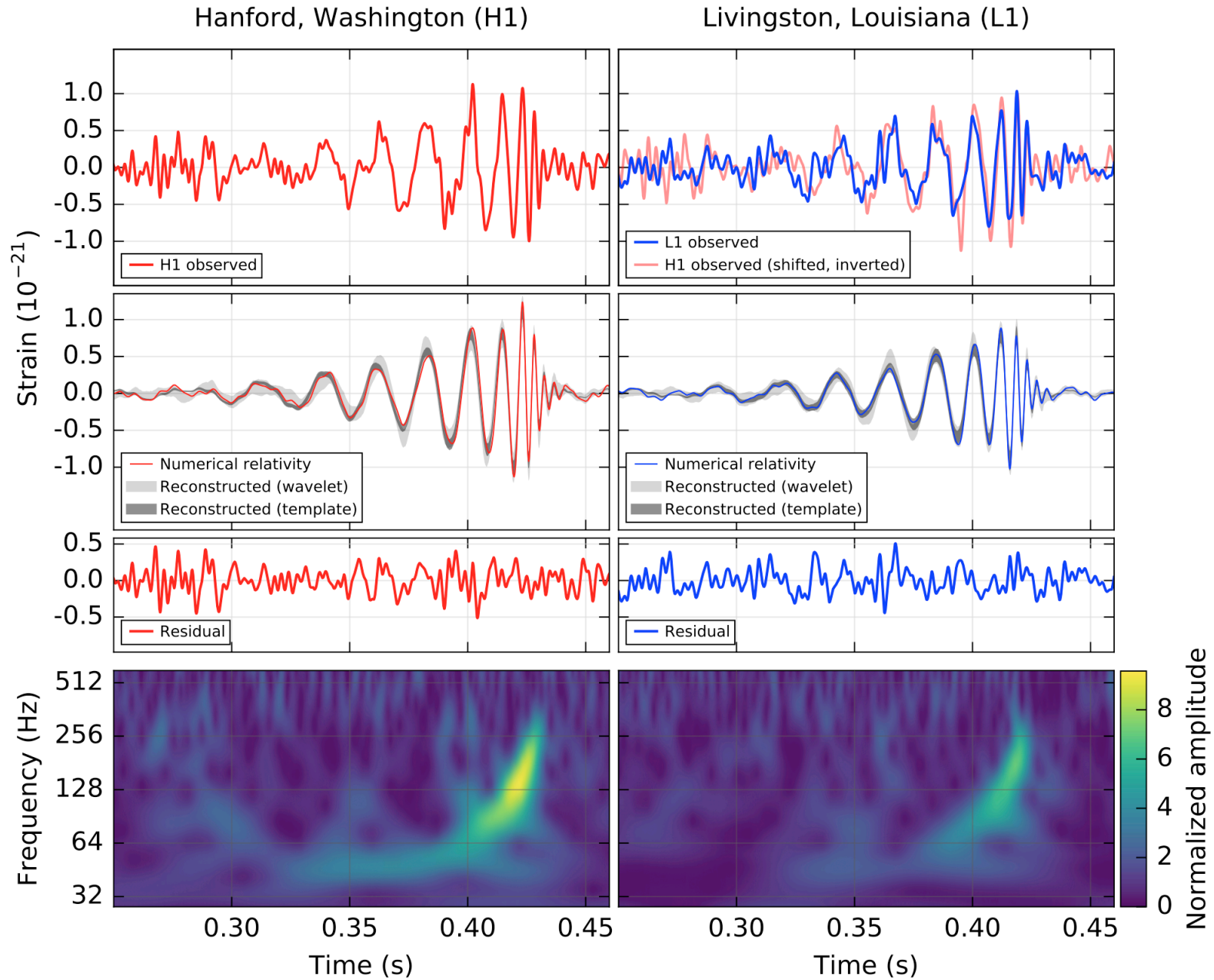
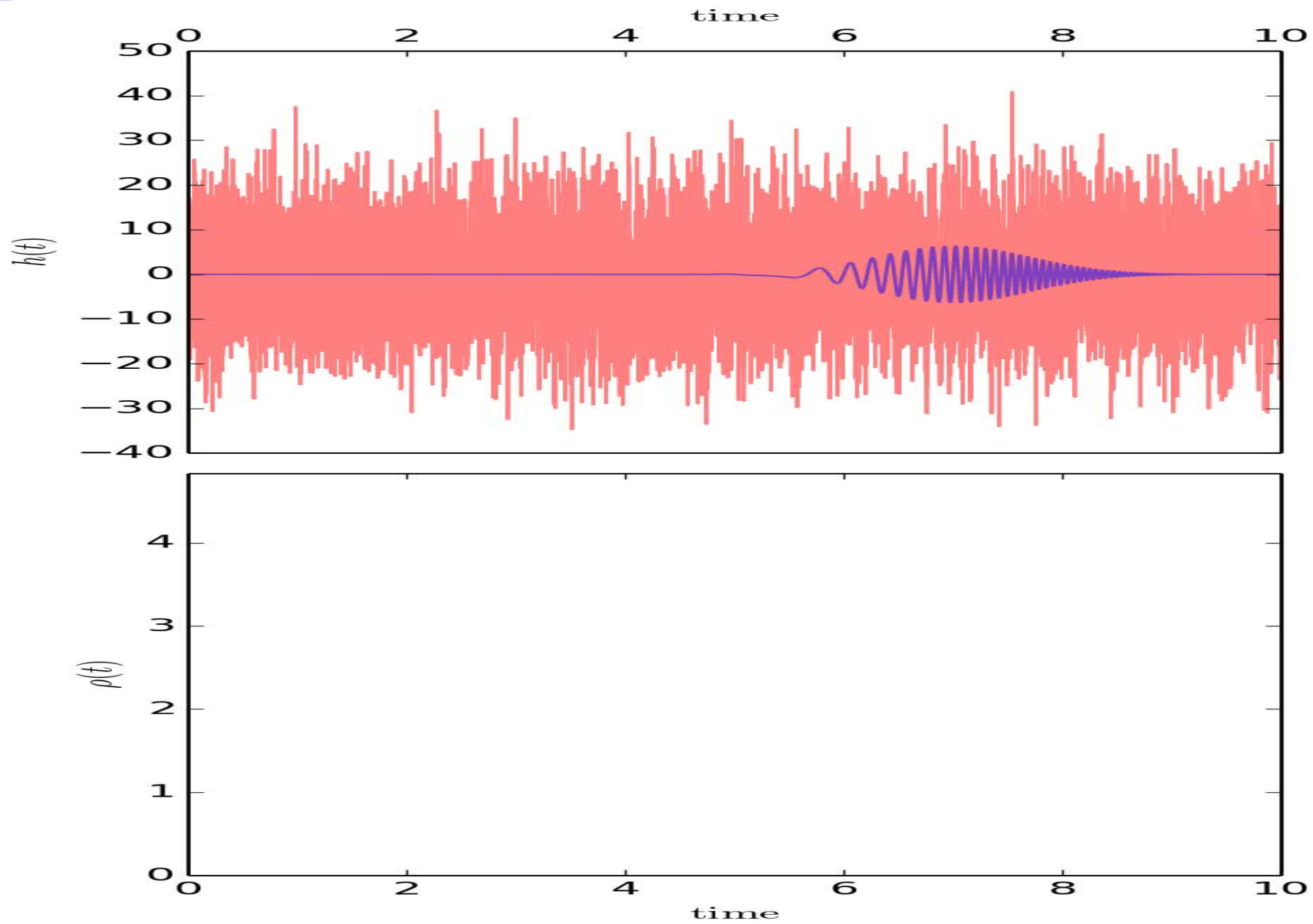


Image Credit: Caltech/MIT/LIGO Lab



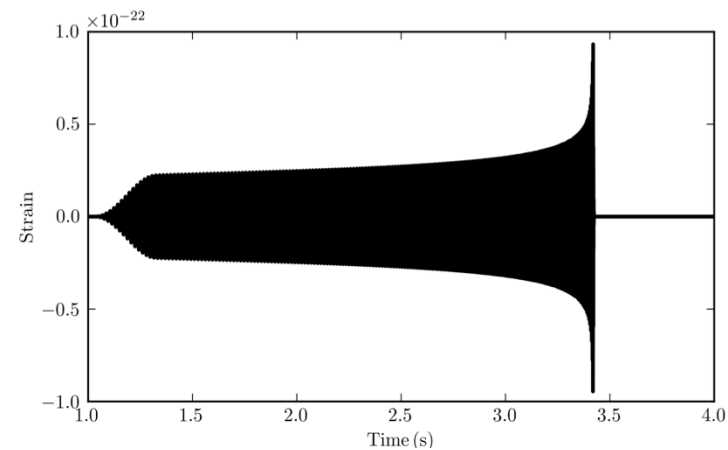
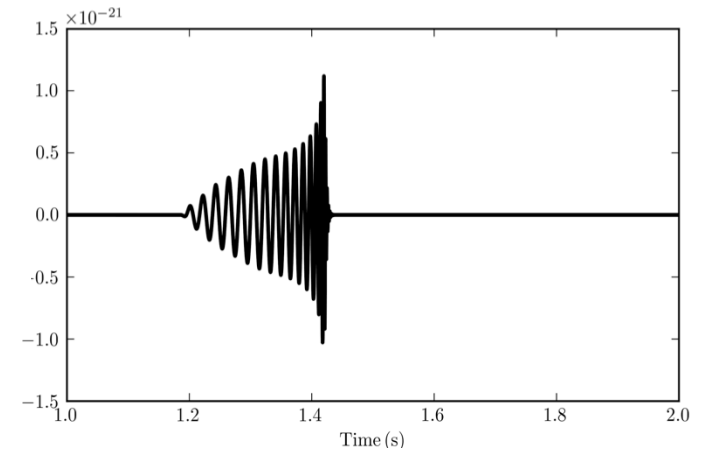
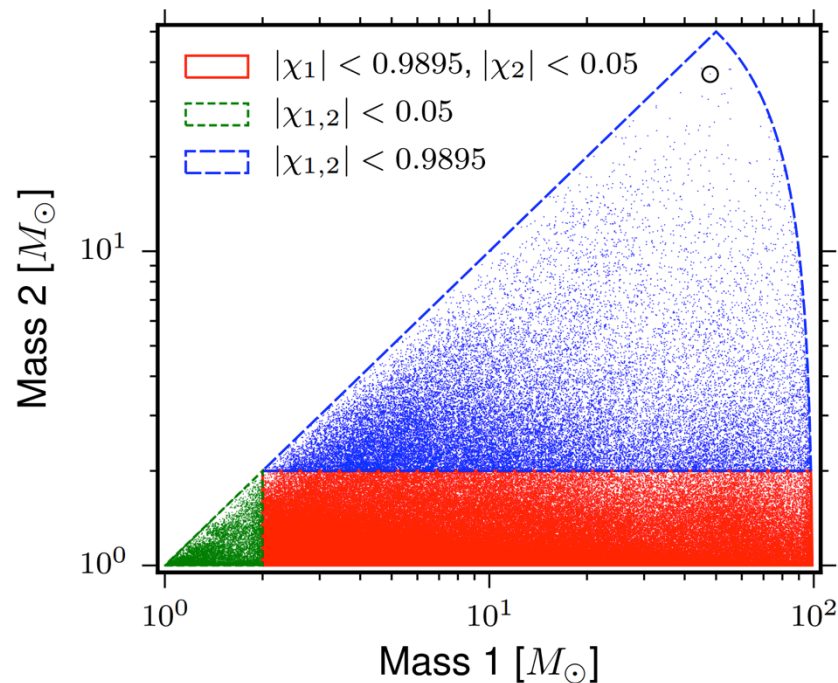
Buscando una forma de onda



Buscando sistemas binarios



- Usamos formas de ondas ~predichas por la teoría
- Calculamos el cociente de “señal a ruido” en los datos
- Buscamos coincidencias en los dos detectores
- ... y mucho más trabajo para reducir efectos instrumentales



Septiembre 12 - Enero 19: ¡más de una detección!

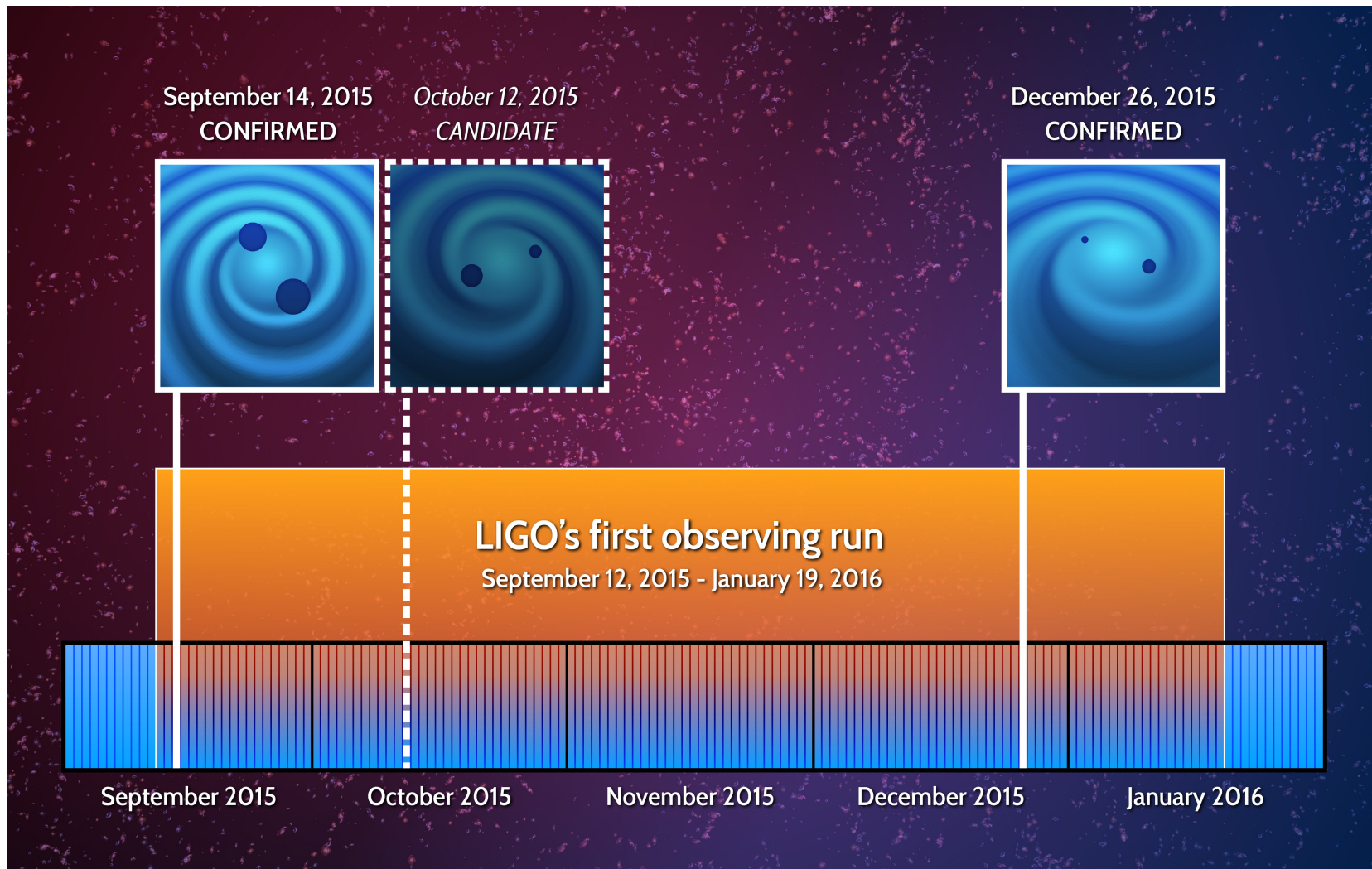
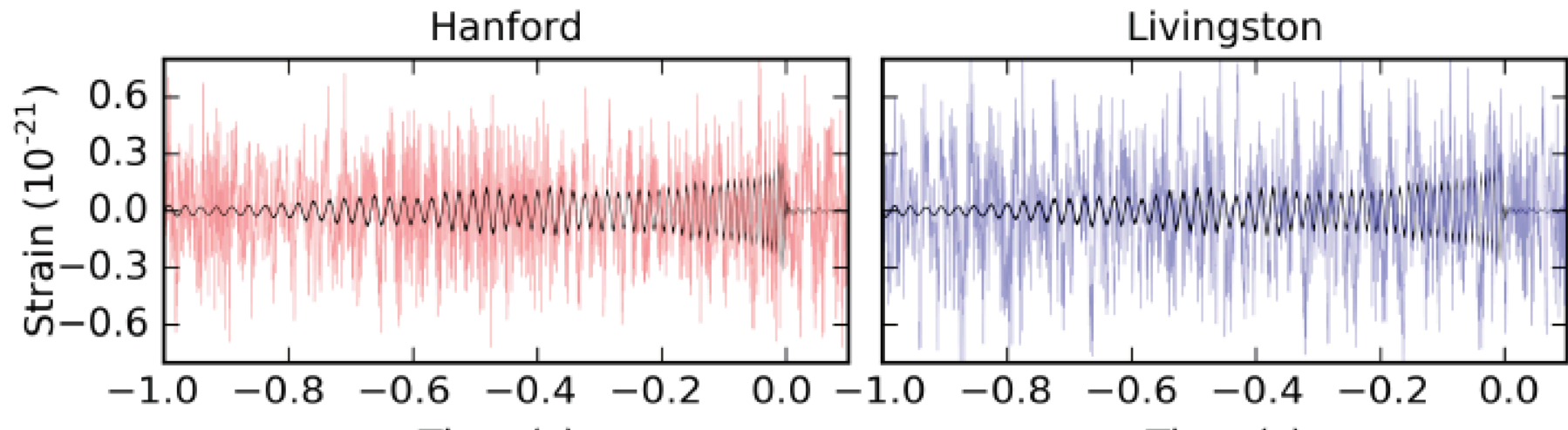
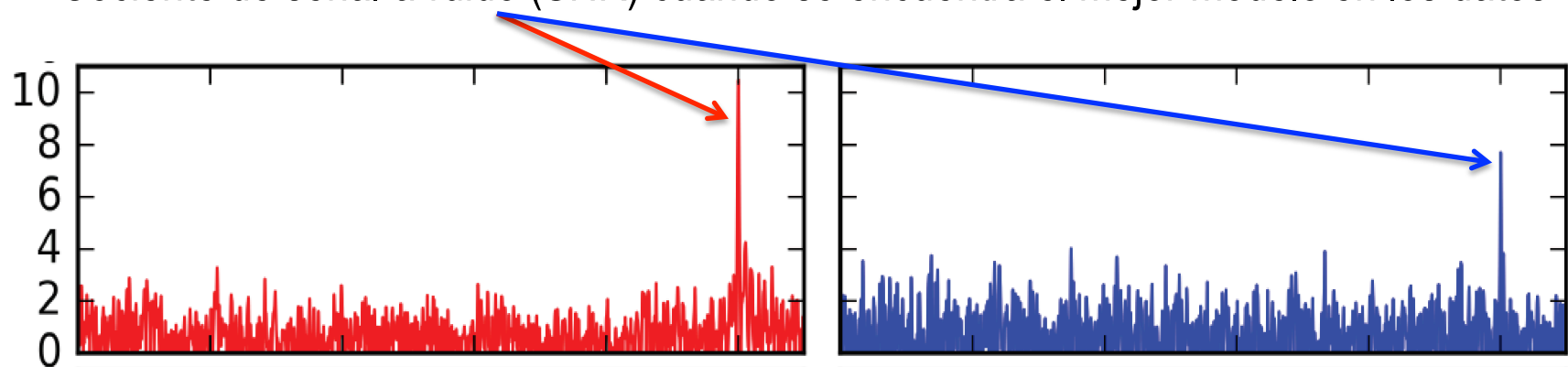


Image credit: LIGO

Señal del detector, con filtrado básico, y modelo de onda

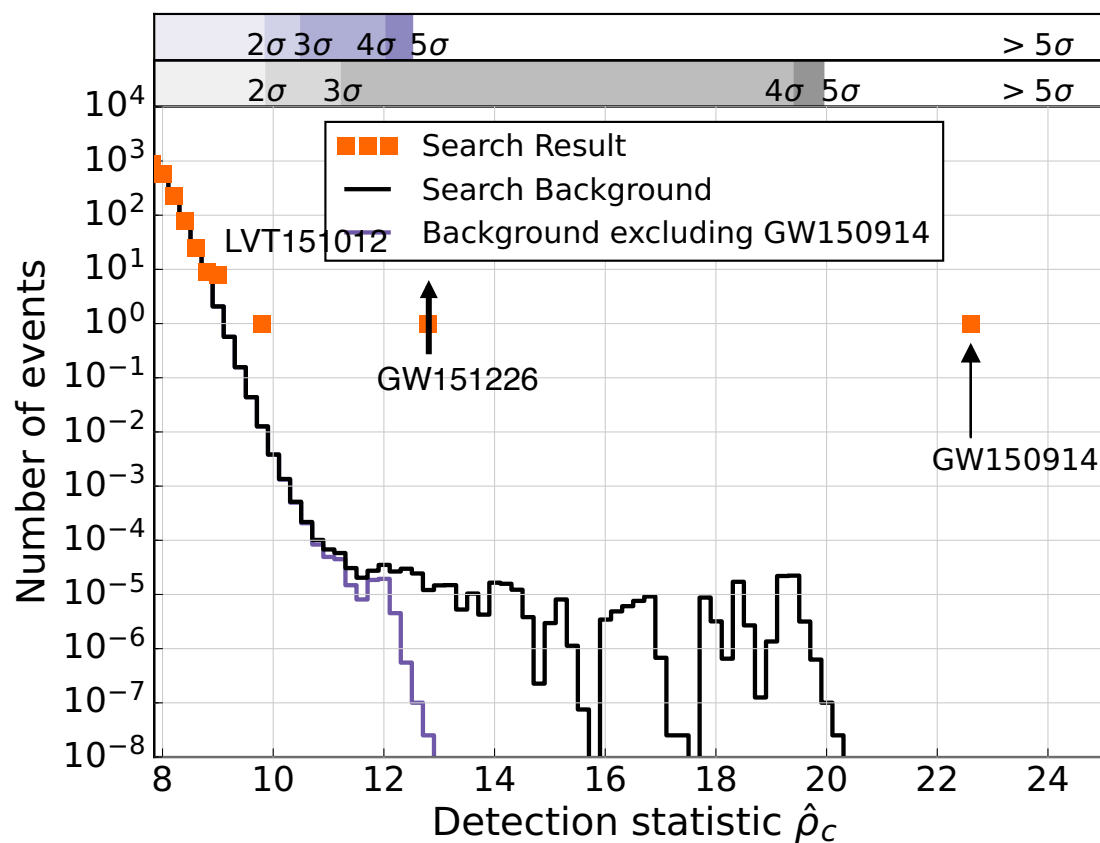


Cociente de señal-a-ruido (SNR) cuando se encuentra el mejor modelo en los datos

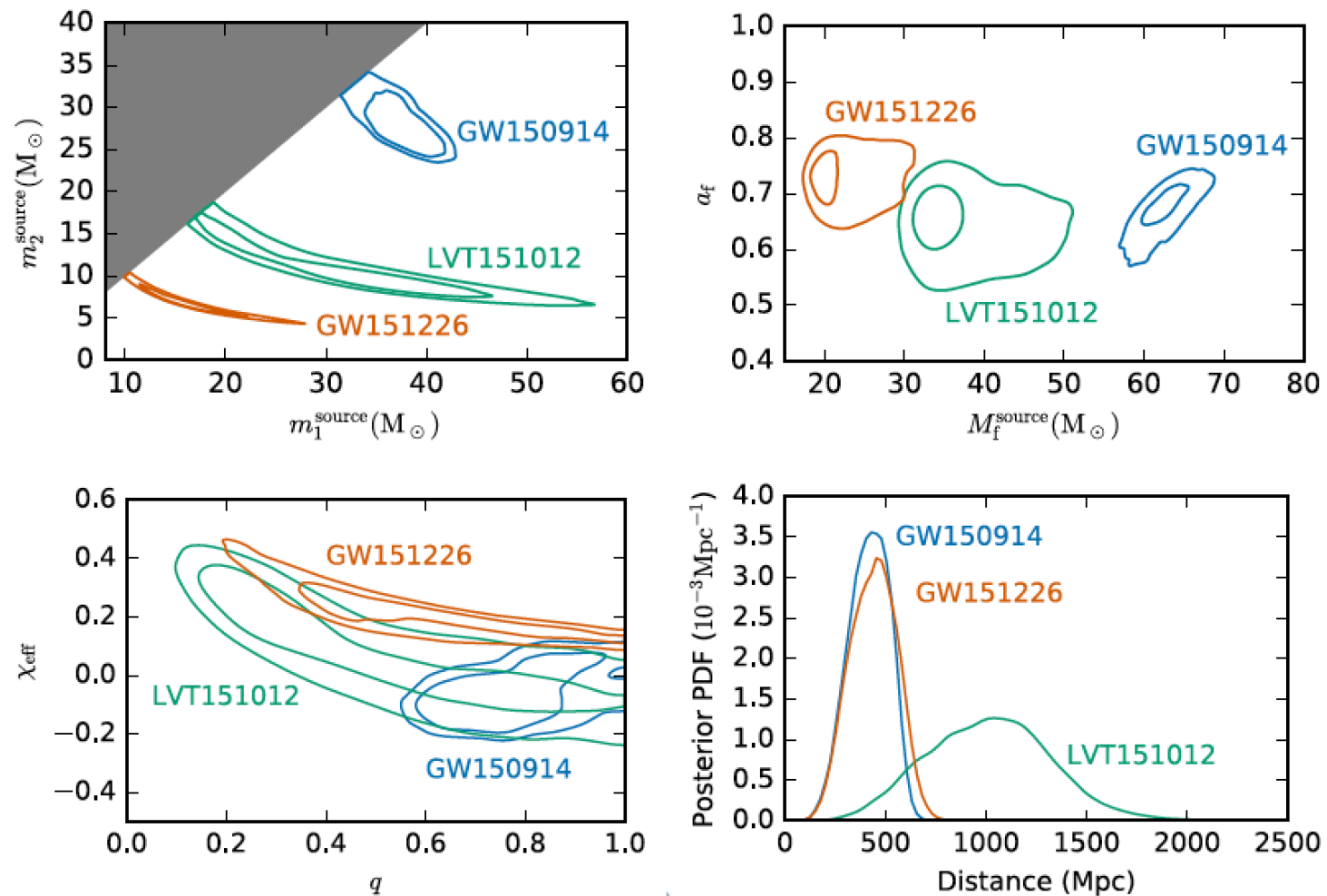


Agujeros negros en O1

Resultados de la búsqueda de sistemas binarios de agujeros negros más grandes que $2 M_{\odot}$ y con masa total menor que $100 M_{\odot}$, en O1 (Sep 12, 2015-Ene 19, 2016, ~ 48 días de datos en coincidencia)



Parámetros de las señales



50% and 90% credible regions

Catálogo de agujeros negros con masas solares

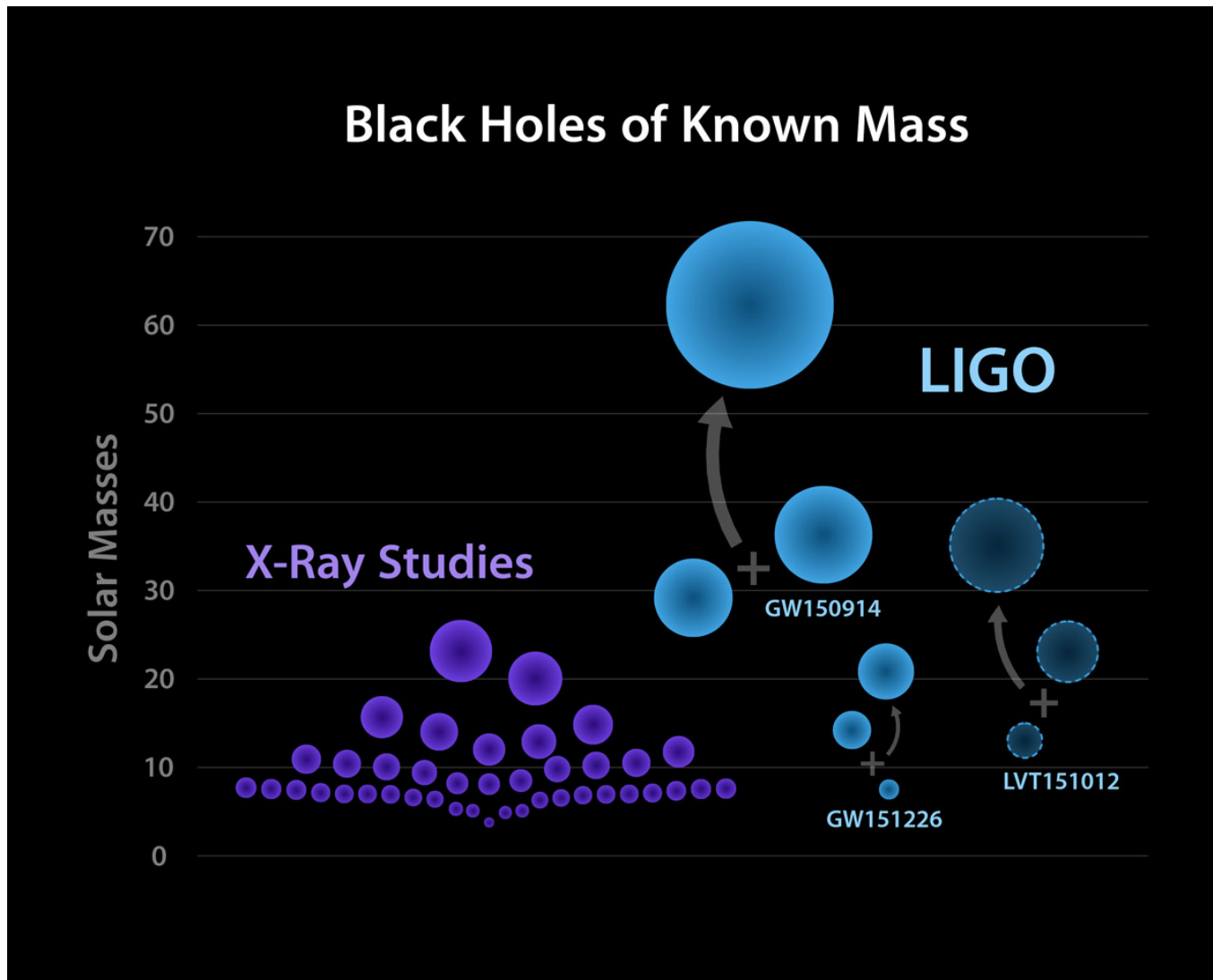
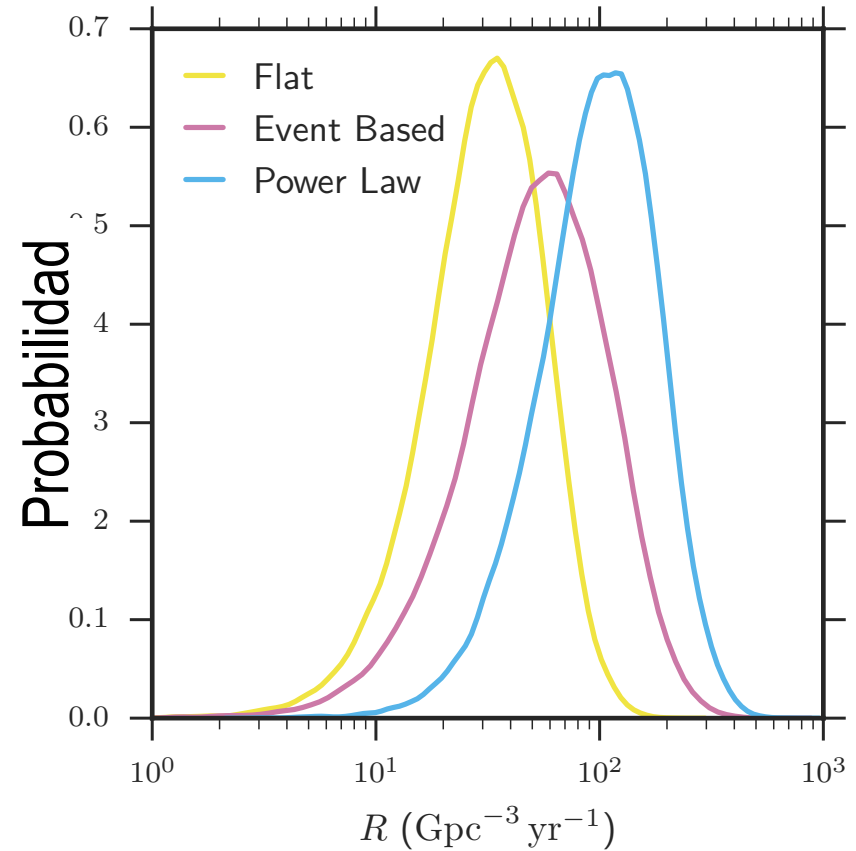
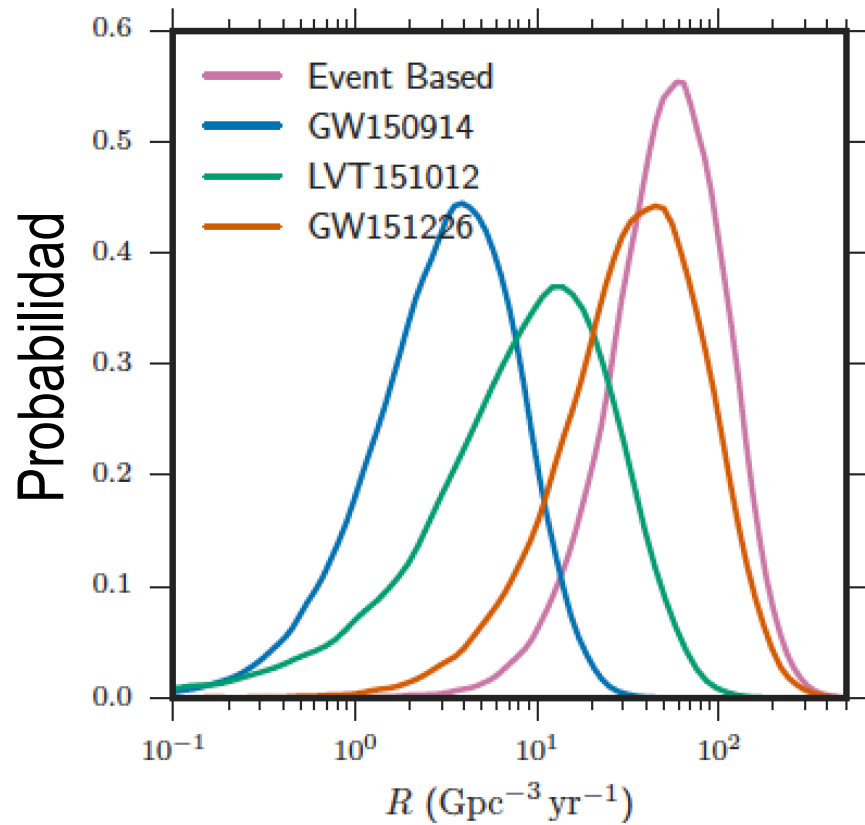


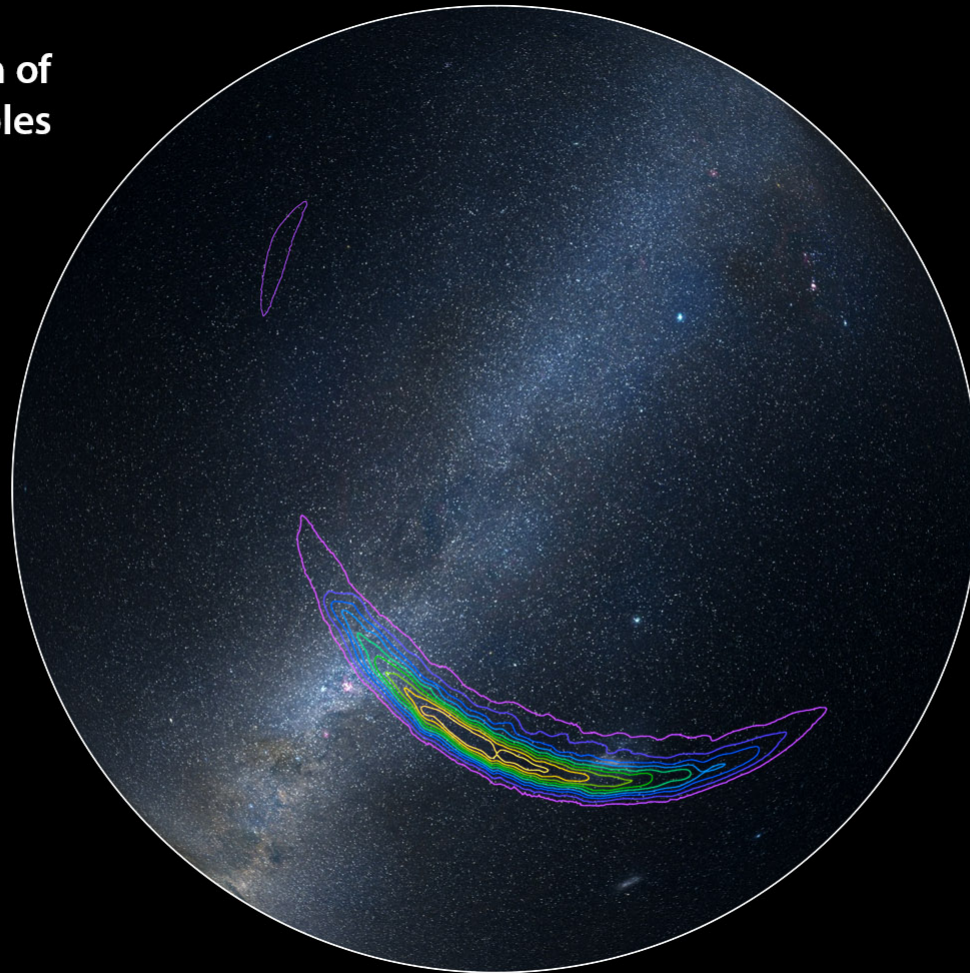
Image credit: LIGO

¿Cuántas coalescencias?

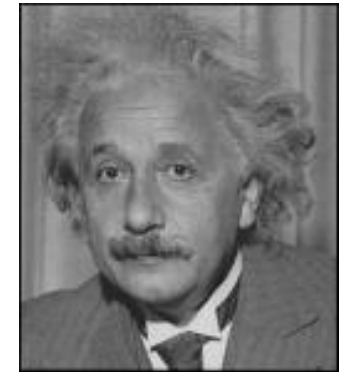
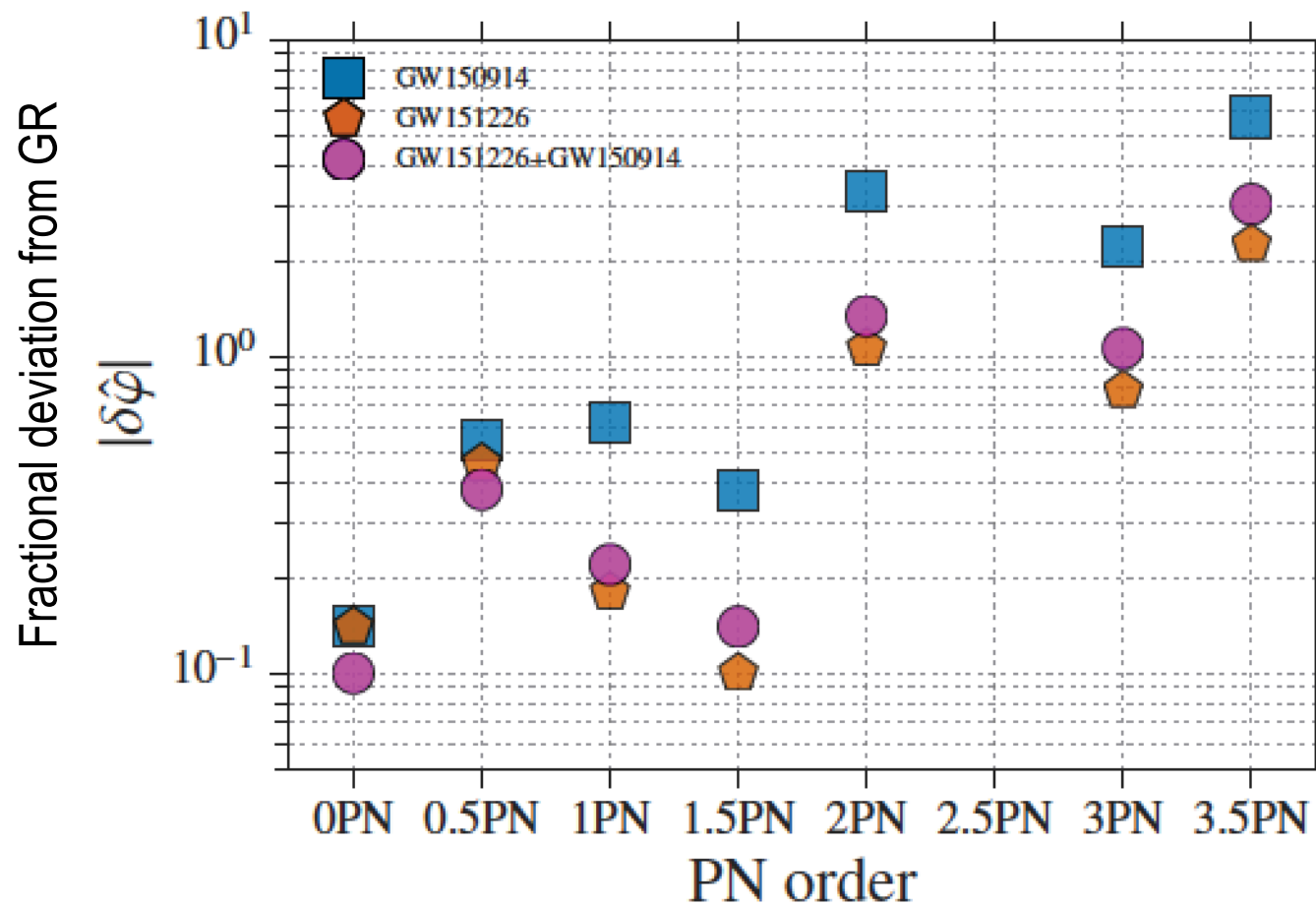


90% allowed range: [9-240] /Gpc³/yr

Probable location of
merging black holes

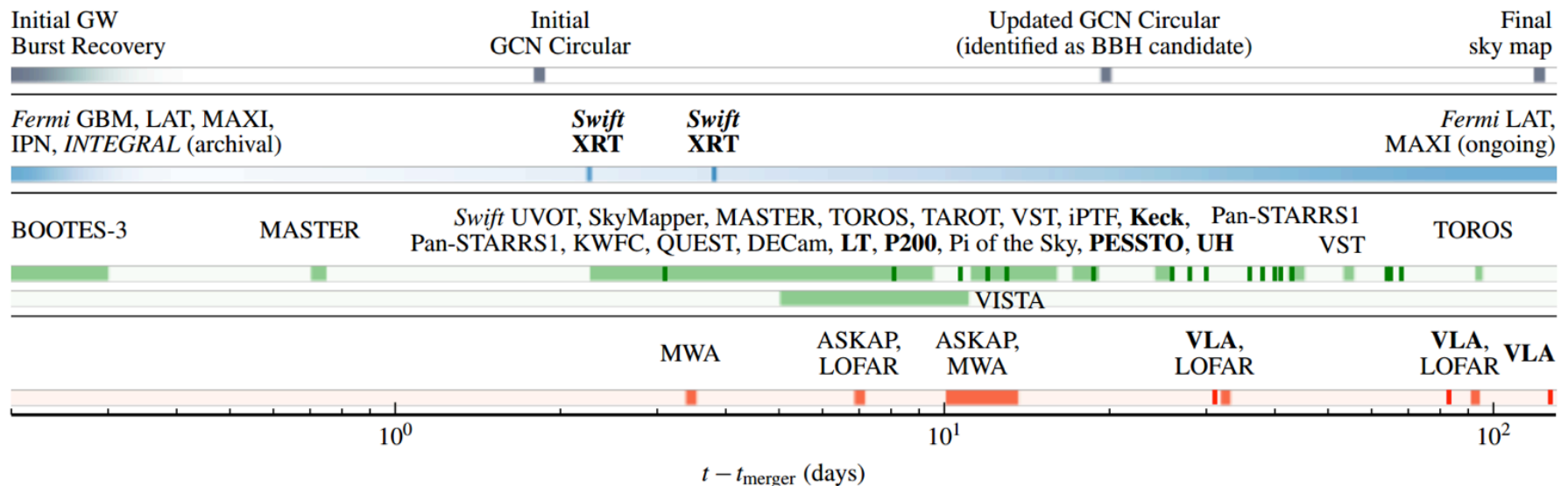


Testeando la Relatividad General



GW150914: ¿ondas electromagnéticas?

- Se mandó alerta a 63 grupos colaboradores de astronomía menos de 2 days después del 14 de septiembre.
- 25 grupos (incluyendo TOROS con un observatorio en Argentina) participaron en el seguimiento de GW150914 con satélites espaciales y diversos telescopios, buscando coincidencias en el espectro electromagnético en 19 órdenes de magnitud en longitudes de onda.



El futuro (cercano)

Living Rev. Relativity, **19**, (2016), 1
DOI 10.1007/lrr-2016-1

LIVING  REVIEWS
in relativity

Prospects for Observing and Localizing Gravitational-Wave Transients with Advanced LIGO and Advanced Virgo

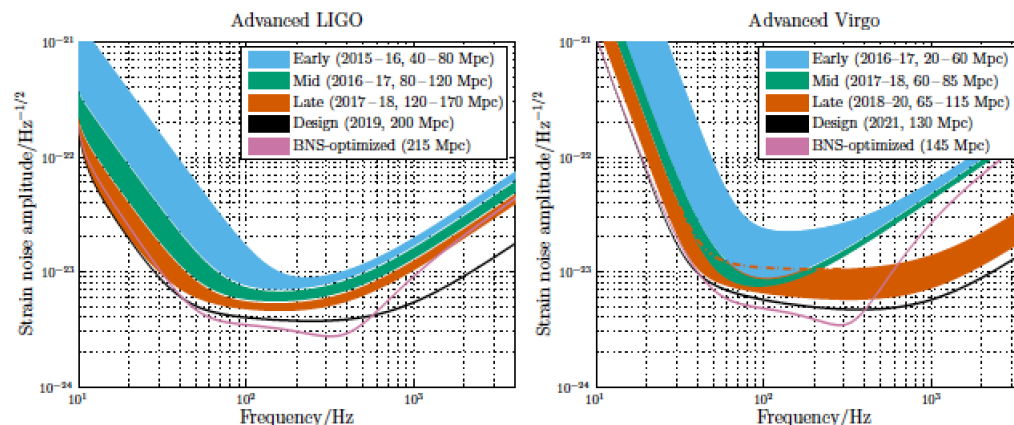


Figure 1: aLIGO (*left*) and AdV (*right*) target strain sensitivity as a function of frequency. The binary neutron-star (BNS) range, the average distance to which these signals could be detected, is given in megaparsec. Current notions of the progression of sensitivity are given for early, mid and late commissioning phases, as well as the final design sensitivity target and the BNS-optimized sensitivity. While both dates and sensitivity curves are subject to change, the overall progression represents our best current estimates.

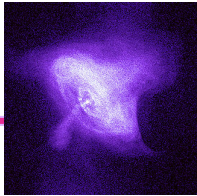
2015 – 2016 (O1) A four-month run (beginning 18 September 2015 and ending 12 January 2016) with the two-detector H1L1 network at early aLIGO sensitivity (40 – 80 Mpc BNS range).

2016 – 2017 (O2) A six-month run with H1L1 at 80 – 120 Mpc and V1 at 20 – 60 Mpc.

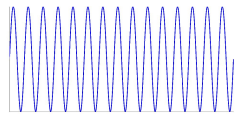
2017 – 2018 (O3) A nine-month run with H1L1 at 120 – 170 Mpc and V1 at 60 – 85 Mpc.

2019+ Three-detector network with H1L1 at full sensitivity of 200 Mpc and V1 at 65 – 115 Mpc.

Posibles descubrimientos: ¡no sólo agujeros negros!

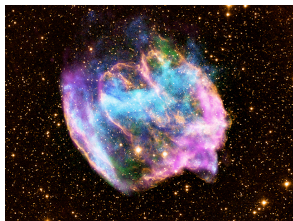


Crab pulsar (NASA, Chandra Observatory)

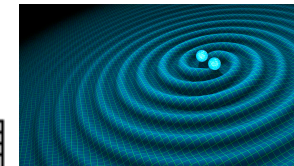
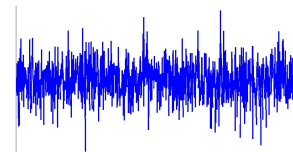
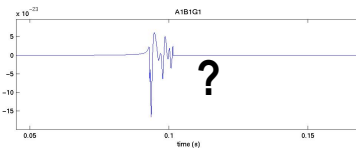
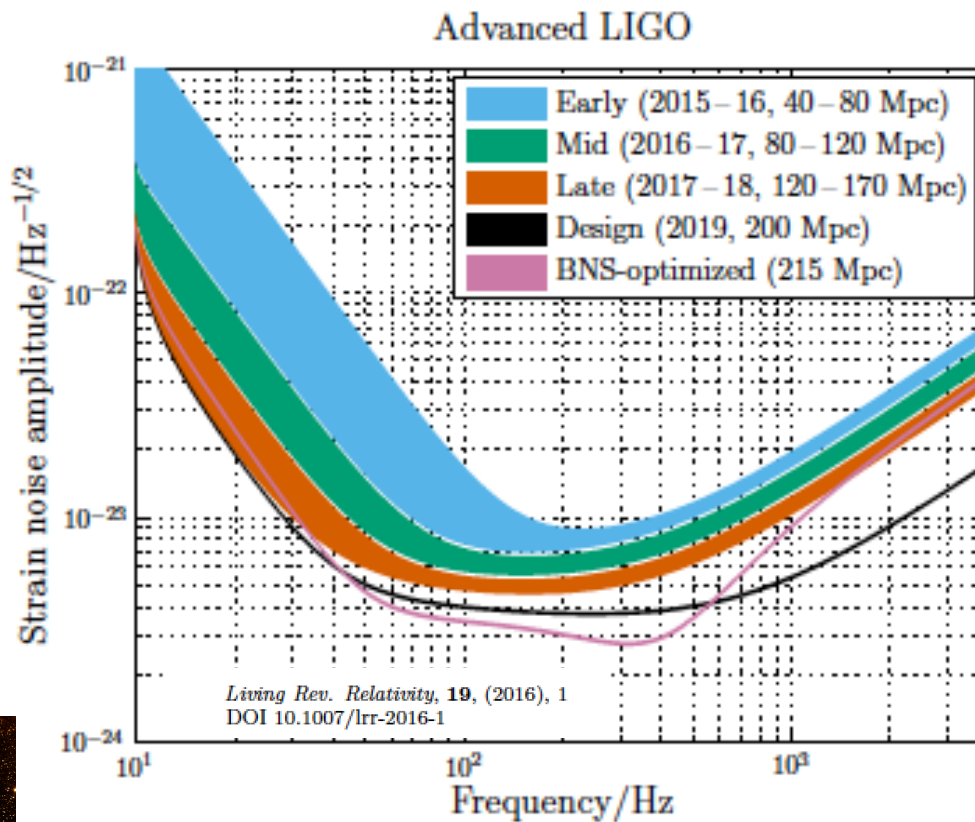


Ondas periódicas, continuas

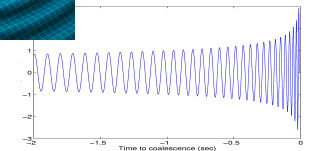
Señales transitorias (supernovas)



W49B composite;
X-ray: NASA/CXC/MIT/L.Lopez et al.;
Infrared: Palomar; Radio: NSF/NRAO/VLA

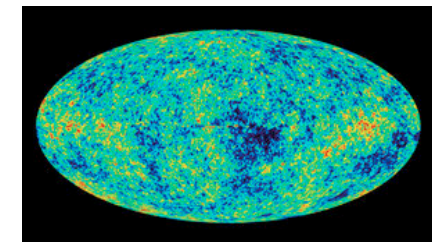


JPL/NASA

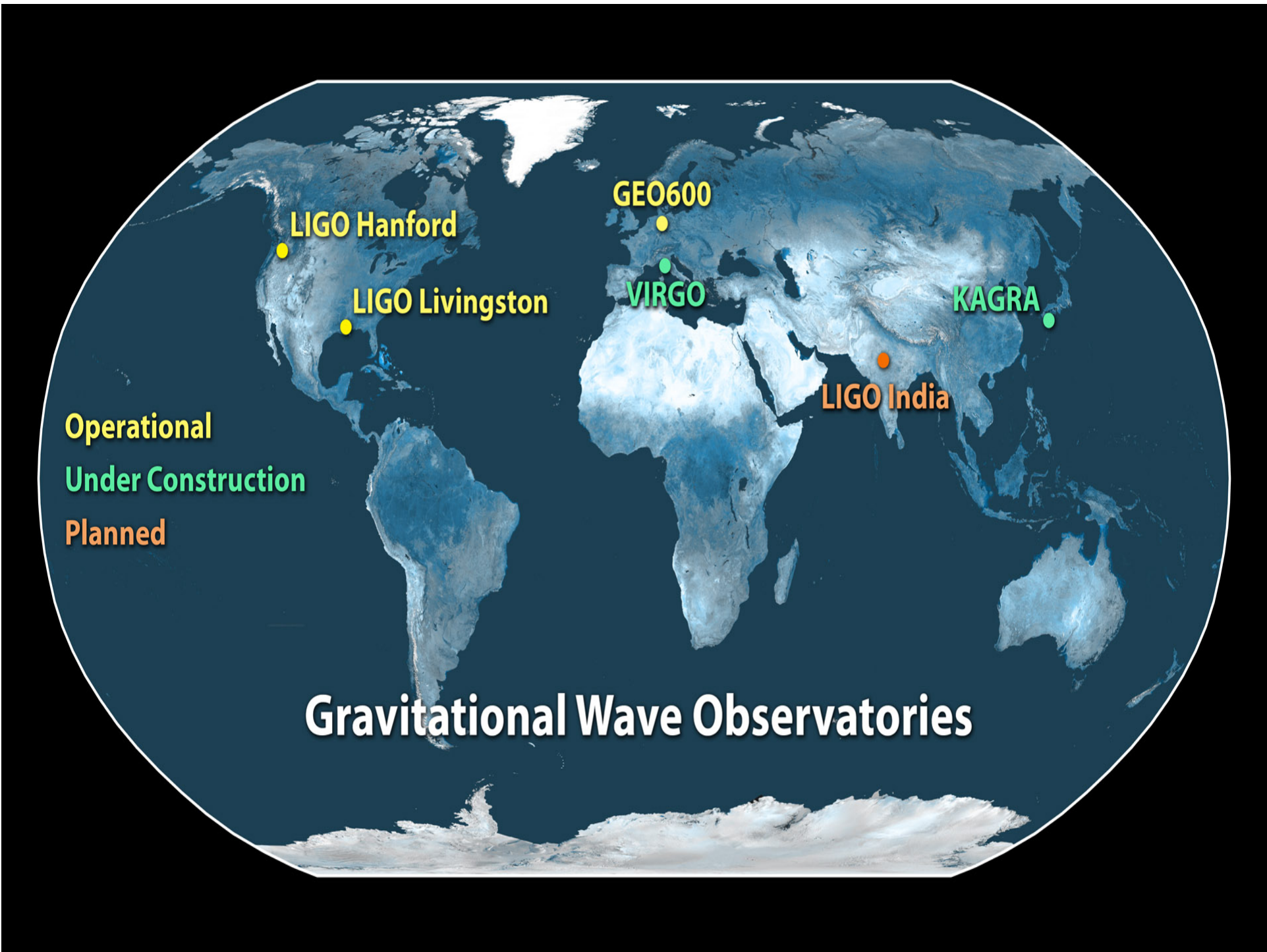


Sistemas binarios con estrellas de neutrones y agujeros negros

Una señal estocástica (astrofísica o cosmológica)



NASA, WMAP



Gravitational Wave Observatories

Operational

Under Construction

Planned

LIGO Hanford

LIGO Livingston

GEO600

VIRGO

LIGO India

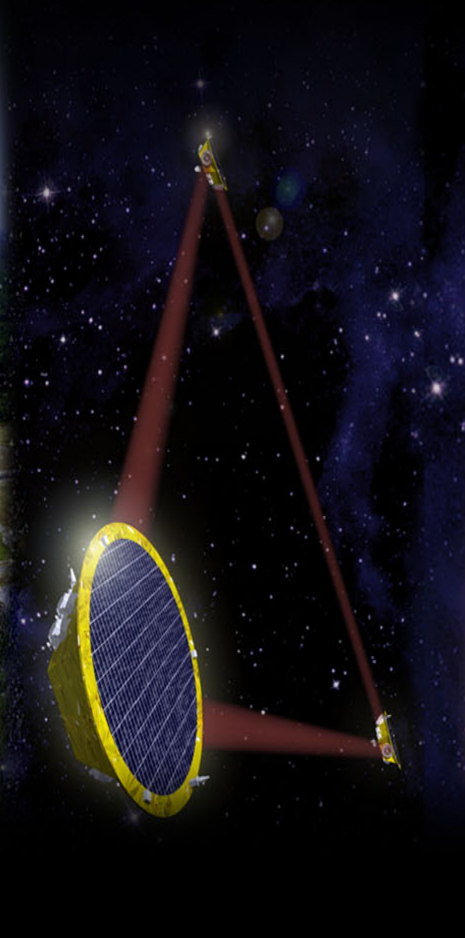
KAGRA

Gravitational Wave Periods

Milliseconds



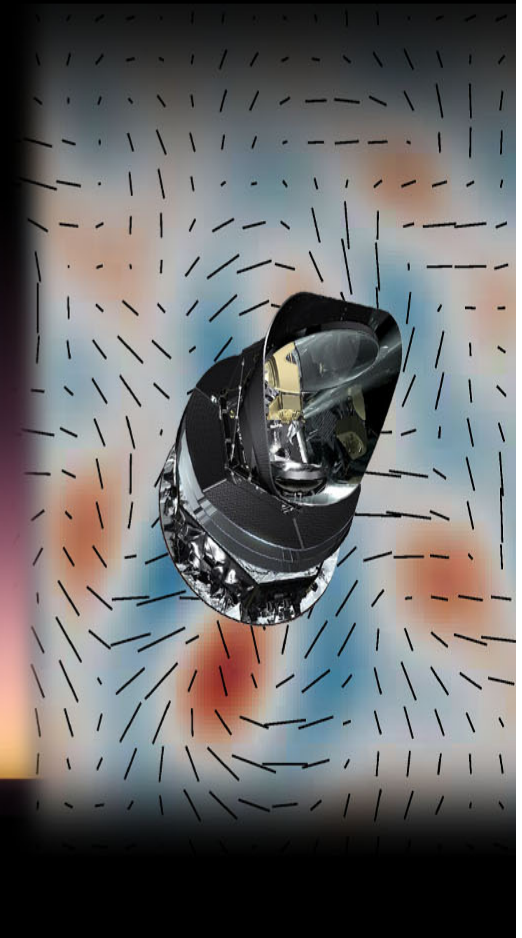
Minutes
to Hours



Years
to Decades



Billions
of Years



www.ligo.org (en español!)

[Inicio](#) [English](#) [Magyar](#) [LIGO Lab](#) [Join](#) [LSC/interno](#)

LIGO
Scientific
Collaboration

Noticias
LIGO Magazine
Advanced LIGO
Ciencia
Students/teachers/public
Multimedia
Partners
Acerca de

Confirmada la segunda detección de ondas gravitacionales procedentes de la fusión de dos agujeros negros

Las ondas gravitacionales detectadas 100 años después de la predicción de Einstein

Advanced-LIGO se pone en funcionamiento

Ceremonia dedicada a Advanced LIGO

ACERCA DE

La Colaboración científica LIGO (LSC, LIGO Scientific Collaboration en inglés) es un grupo de científicos a la búsqueda de la primera detección directa de ondas gravitacionales, con objeto de emplearlas en la exploración de las leyes fundamentales de la gravedad y el desarrollo del emergente campo de la física de ondas gravitacionales como herramienta de descubrimiento científico. El LSC avanza hacia este objetivo a través de la investigación y el perfeccionamiento de técnicas para la detección de ondas gravitacionales, así como del desarrollo, puesta en marcha y uso de los detectores de ondas gravitacionales. El LSC es un dinámico grupo de **más de 1000 científicos de todo el mundo**. ¡Descubre más acerca de las ondas gravitacionales y el LSC aquí!

¡Aprenda más ahora!

¡Participa!

Cómo se transfiere la Tecnología de LIGO

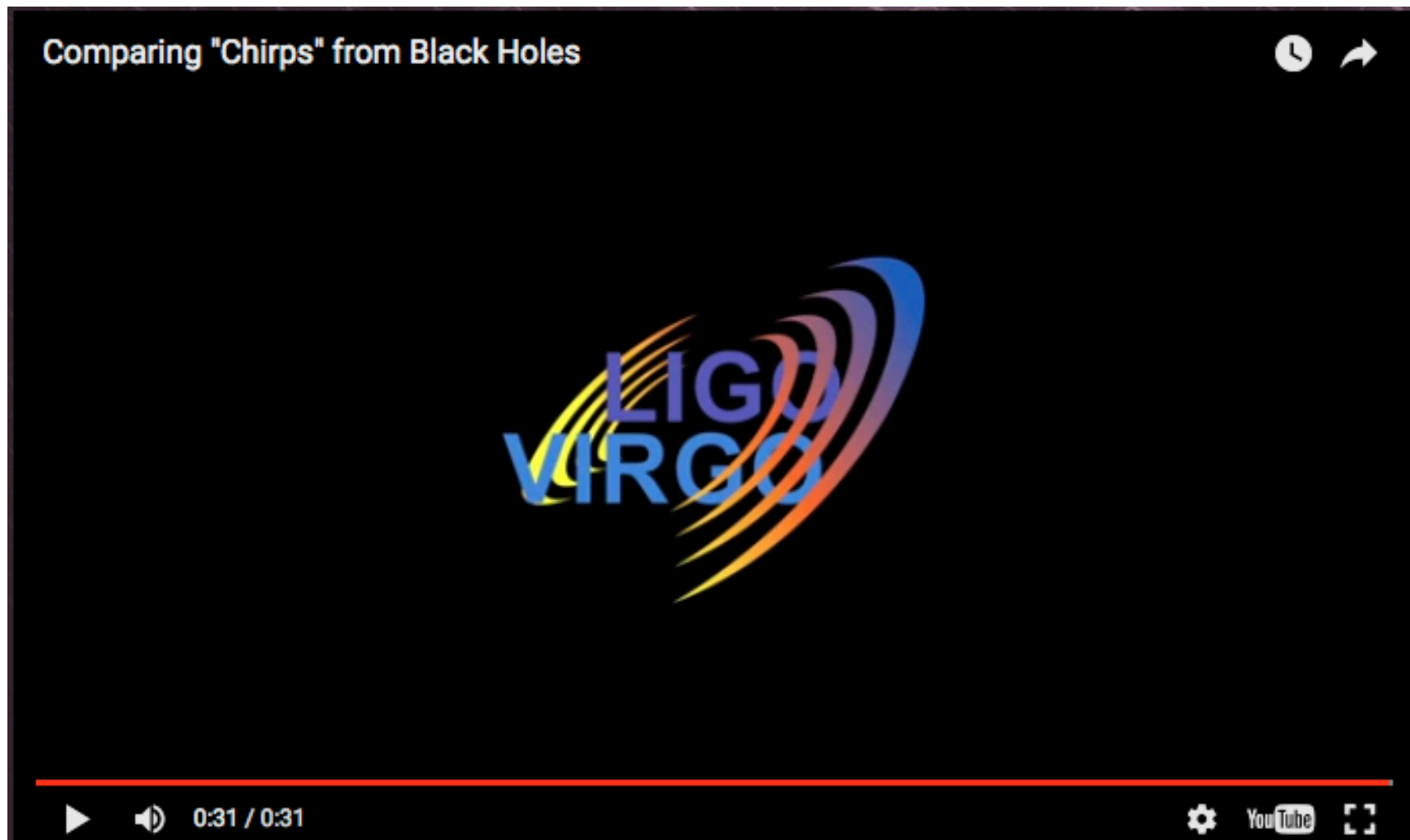
[funding](#) [acknowledgments](#) [contact](#) [information](#) [legal](#) [credits](#)

Síguenos en:

Compartir en:

La música gravitatoria

- <https://youtu.be/JKBBVgR991s>



Astronomía con ondas gravitacionales: ¡esto es sólo el comienzo!

