

# GW190521: A COLISIÓN DE BURACOS NEGROS MÁIS MASIVA XAMÁIS OBSERVADA

## ¿Qué observamos?

O 21 de maio de 2019, os detectores [Advanced LIGO](#) e [Advanced Virgo](#) observaron un sinal de onda gravitacional provinte da fusión dun par de [buracos negros](#) con propiedades extraordinarias. O sinal, chamado GW190521, tiña unha duración e unha frecuencia moito menores cás de calquera dos sináis previamente detectados.

O tempo que dura un sinal provinte da fusión dun par de buracos negros na banda de frecuencias de Advanced LIGO e Advanced Virgo é inversamente proporcional á masa total do sistema. No caso de GW190521, este tempo foi de soamente 0.1 segundos, moito menor que no caso de, por exemplo [GW150914](#) – a primeira fusión de buracos negros xamáis detectada. De modo similar, a frecuencia que o sinal acadada cando chega ao seu pico de amplitude, tamén é inversamente proporcional á masa do sistema. No caso de GW190521 esta frecuencia de pico foi de tan só 60 Hz, tamén moito menor que para GW150914. Deste modo, estaba claro desde o primeiro momento (ver Fig. 1) que LIGO e Virgo tiñan un par de buracos negros moi pesados nas súas mans.

A figura 2 mostra as masas estimadas do sistema de buracos negros que emitíu o sinal GW190521. O maior dos buracos ten arredor de 85 veces a [masa do Sol](#) (denotada polo símbolo  $M_{\odot}$ ) mentres que o menor deles ten arredor de 66  $M_{\odot}$ . Ámbolos dous buracos son máis masivos que [calquera](#) dos buracos negros [detectados ata o de agora por LIGO e Virgo](#) (antes da fusión). Ademais, o menor dos buracos é máis masivo que moitos dos buracos negros remanentes formados nestas fusiós (ver Figura 3).

No caso de GW190521, o buraco negro remanente nacido da fusión “pesa” arredor de 142  $M_{\odot}$ , o que o fai de largo o buraco negro máis pesado xamáis detectado por LIGO e Virgo. A masa deste buraco remanente é aproximadamente 9  $M_{\odot}$  menor cá dos dous buracos que se fusionaron xuntos; a masa “que falta” foi convertida en enerxía en forma de ondas gravitacionais.

## ¿Por qué GW190521 é tan interesante?

As extraordinariamente grandes masas dos buracos negros que xeneraron GW190521 dan para máis que fardar delas; de feito, retan o noso entendemento acerca de cómo se forman os buracos negros e propociónannos un fantástico laboratorio para entender como funciona a gravidade.



Visita as nosas webs:

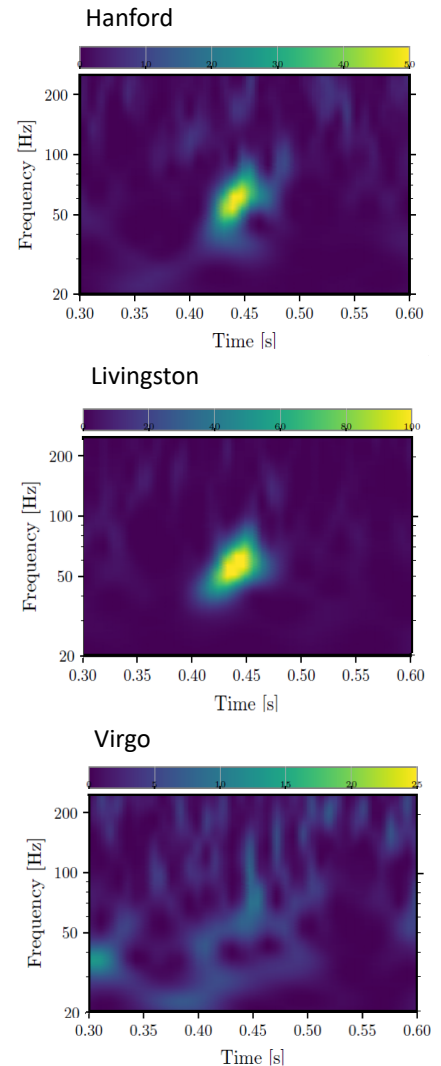
<http://www.ligo.org>

<http://www.virgo-gw.eu>

## Facendo buracos negros grandes

Os astrónomos clasifican os buracos negros dacordo a sea masa. Isto ten sentido porque buracos negros con distinta masa fórmanse de distintas maneiras.

No centro de case todas, ou todas, as grandes galaxias agóchanse buracos negros “supermasivos” que teñen desde centos de miles ata millóns de veces a masa do Sol.



**Figura 1.** Representacións, en termos de tempo e frecuencia dos datos do sinal GW190521 observado por LIGO Hanford (arriba), LIGO Livingston (media), e Virgo (abaixo). O tempo é relativo a 03:02:29 UTC, a 21 de Maio de 2019. A enerxía nun “bin” de tempo-frecuencia dado ven dada polo código de cores. Nótase que o sinal é de moi curta duración e que no seu pico (a zona máis amarela) acadou unha frecuencia duns 60 Hz. (Adaptación da Fig. 1 do noso [artigo sobre o descubrimento de GW190521](#))

A nosa Vía Láctea aloxa un [buraco negro no seu centro](#), duns 4 millóns de veces a masa do Sol. O modo exacto no que estes monstros se forman é un misterio. Sen embargo, o seu proceso de formación seguramente comezou cando o Universo era moito máis novo, o que daría tempo para que estes objects medrasen o suficiente.

No lado oposto do espectro están os [buracos negros de masa estelar](#). Crese que éstos fórmanse cando as estrelas colapsan sobre sí mesmas, tras sufrir [unha explosión chamada Supernova](#). Os buracos negros de masa estelar teñen masas que van dende unhas cantas a decenas de veces a masa do Sol. As deteccións de LIGO-Virgo ata o de agora, correspóndense con fusións de parellas destes buracos.

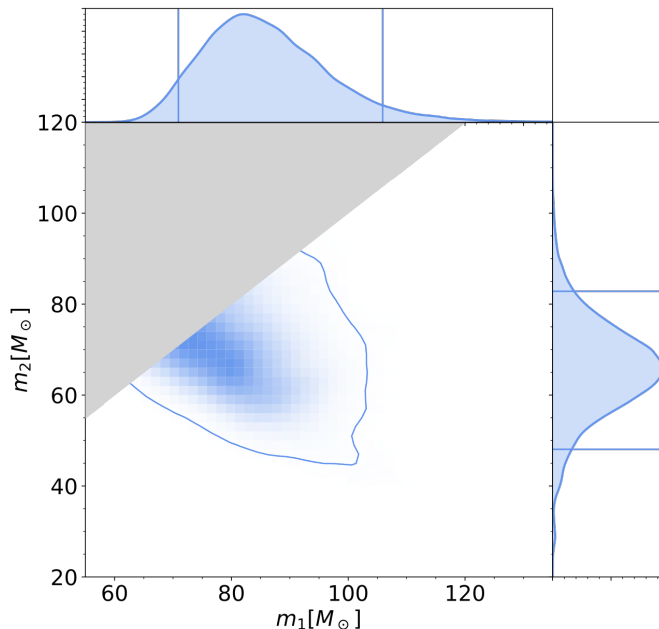
No medio dos dous grupos anteriores atópase o misterioso reino dos [buracos negros de "masa intermedia"](#), con masas entre 100 e 100,000 veces a masa do Sol. Polo de agora, carecemos de observacións concluíntes deste tipo de obxectos, aínda que temos varias teorías acerca de como se poderían formar. Sen embargo, a caza destes escurridizos obxectos vólvese máis prometedora a medida que os telescopios e os detectores de ondas gravitacionais vanse mellorando.

Dacordo ao noso coñecemento acerca do funcionamento interno das estrelas masivas, e de cómo se forman os buracos negros, crese que buracos negros de masas entre ~65 e ~130 veces a do sol *non* se poden formar do colapso dunha estrela. Deste xeito, GW190521 árganos a festa de cheo.

Por un lado, o buraco negro máis grande encaixa perfectamente neste “rango prohibido”. Polo outro, o resultado da colisión pódese clasificar como un “buraco negro de masa intermedia”. A observación de GW190521 suxire que, ou ben as estrelas poden formar buracos negros pesados, ou ben que algúns buracos negros de masa estelar fórmanse doutro xeito, quizáis como resultado da previa colisión de dous buracos negros máis lixeiros. Este derradeiro escenario require que os buracos negros se formen en entornos especiais, nos que haxa outros buracos negros cercanos cos que poder fusionarse. Segundo os astrónomos, algúns exemplos destes entornos podían ser [cúmulos estelares](#) densos e discos de [núcleos galácticos activos](#). A observación de GW190521 suxire que o reino dos “buracos negros de masa intermedia” podería estar poboado en parte por produtos de fusións de “buracos negros de masa estelar”.

## Poñendo a proba o noso coñecemento sobre a gravidade

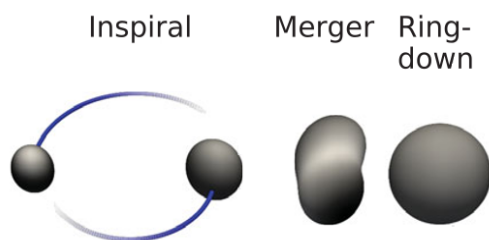
O noso entendemento teórico sobre o funcionamento da gravidade baséase na [Teoría Xeral da Relatividade](#), ou “RX”, proposta por Albert Einstein en 1915. Os físicos fan uso da RX para precedir as ondas gravitacionais emitidas durante as fusións de buracos negros. Ao mesmo tempo, estas prediccións úsanse para axudar a analizar os datos recollidos polos detectores LIGO e Virgo. Pola outra banda, as observacións de ondas gravitacionais pódense usar para poñer a proba as prediccións da teoría e buscar indicios de inconsistencias ca RX que poidan apuntar a [teorías alternativas da gravidade](#). Isto non é nada novo realmente, xa que as observacións previas de LIGO e Virgo xa teñen sido usadas para poñer a proba a RX. Entón, qué ten GW190521 de especial?



**Figura 2.** Masas estimadas dos buracos negros que colisionaron para xenerar o sinal de ondas gravitacionais GW190521, mostradas como distribucións de probabilidade. Dacordo co análise de LIGO-Virgo, os valores reais das masas teñen un 90% de probabilidade de residir dentro do contorno azul da figura (que mostra a probabilidade conxunta das dúas masas). O mesmo sucede cás barras azuis das curvas con forma de campá que se atopan enriba e á dereita da figura, as cales mostran as estimacións das masas individuais dos dous buracos. A rexión en gris débese a que en LIGO-Virgo consideramos que a masa “primaria”  $m_1$  sempre é igual ou maior que masa “secundaria”  $m_2$ .

As ondas gravitacionais sóense dividir en [tres tramos](#), ou fases: a “inspiral” (ou espiral cara a dentro) durante a cal os dous buracos negros mantéñense separados orbitando un arredor do outro a medida que se aproximan; a “fusión” durante a cal os dous buracos negros únense para formar un buraco negro distorsionado; e o “ringdown” (ou relaxamento) na cal o recién nacido buraco negro “timbra” como unha campá ata chegar a súa forma final.

Como dixemos antes, os sinais das fusións de buracos negros pódense observar nos datos de LIGO e Virgo durante distintos tramos de tempo, e pican a distintas frecuencias, dependendo das masas dos buracos. Como resultado, os detectores LIGO e Virgo poden observar distintos tramos do sinal dependendo das masas dos buracos. Cando éstos son lixeiros, obsérvanse con máis claridade as fases de inspiral e fusión. As altas masas dos buracos que produciron GW190521 dánnos unha oportunidade única de estudar as últimas fases da fusión e o “ringdown” da onda gravitacional.



**Figura 4.** Representación pictórica das tres fases dunha fusión de buracos negros

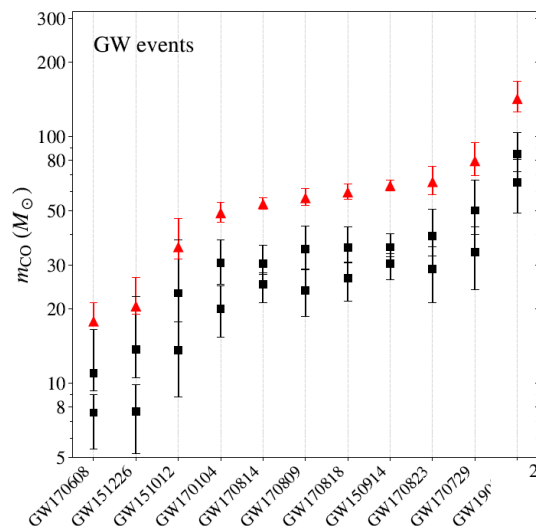
Tal e como aconteceu co resto de fusións de buracos negros observadas ata o de agora, a Relatividade Xeral pasou tódolas probas as que foi sometida por GW190521. Unha destas probas consistiu en analizar a parte de ringdown do sinal separadamente da parte de fusión para comproba se éstas eran consistentes a unha ca outra. Tamén fixemos probas buscando detalles no sinal propostos por teorías alternativas á Relatividade Xeral, e para poñer a proba hipóteses alternativas para a fonte do sinal (a parte de buracos negros). Ningunha destas probas puido contradicir a interpretación de que GW190521 provén da fusión de dous buracos negros, producida de modo acorde ca física descrita pola Relatividade Xeral de Einstein.

## Resumo

GW190521 é unha observación de ondas gravitacionais de récord que leva máis aló o noso coñecemento acerca de cómo se forman os buracos negros, e dános un novo modo de estudar a gravidade no seu réxime máis extremo. Tamén apunta á existencia dunha poboación de fusións de buracos negros de alta masa que podería ser descuberta durante [futuras campañas de observación de LIGO e Virgo](#).

Observar os buracos negros de masa estelar máis masivos axudaranos a ter unha idea máis clara dos procesos que dan lugar a buracos negros e dos entornos nos que éstos residen. Polo de agora, GW190521 ostenta o título da fusión de buracos negros máis masiva xamais observada, pero non debería dormirse nos lauréis. LIGO e Virgo seguirán explorando os ceos na búsqueda de ondas gravitacionais, e farano cada vez con maior sensibilidade, especialmente nas baixas frecuencias nas que moitos máis buracos negros pesados deberían emitir.

Ademáis, xa temos planificada a construción de novos detectores como [Einstein Telescope](#) e [Cosmic Explorer](#) na Terra, e [LISA](#) no espazo. Os récords están para batilos!



**Figura 3.** Panel que mostra as masas dos buracos negros compoñentes (representados con cadrados negros) de GW190521 en comparación cás das outras fusións de buracos negros detectados durante os dous primeiros períodos de observación, O1 e O2, de LIGO e Virgo. Para cada evento, a masa do buraco negro resultante da fusión móstrase cun triángulo vermello. En todos os casos, a lonxitude da barra vertical indica a incertidumbre na estimación da masa. O feito de que as masas de GW190521 son todo un récord queda máis que claro. (Adaptación da Figura 10 do noso artigo sobre as [implicacións astrofísicas de GW150914](#))

## PARA SABER MÁIS:

Visita as nosas webs: [www.ligo.org](http://www.ligo.org), [www.virgo-gw.eu](http://www.virgo-gw.eu)

Le as notas de prensa de LIGO e Virgo sobre o descubrimento de GW190521:

[www.ligo.org/detections/GW190521/pr-english.pdf](http://www.ligo.org/detections/GW190521/pr-english.pdf)

<http://www.virgo-gw.eu/GW190521>

Le o artigo científico gratuito completo sobre GW190521:

<https://dcc.ligo.org/P2000020/public>

Le o artigo científico sobre as implicacións astrofísicas de GW190521:

<https://dcc.ligo.org/P2000021/public>

Os datos de GW190521 están disponibles no Gravitational-Wave Open Science Center: [aquí](#).