

NA PROCURA DE BURACOS NEGROS DE MASA PLANETARIA NO UNIVERSO PRIMITIVO

A [materia escura](#) constitúe o 85 % da materia total do Universo, pero é completamente invisíbel para nós. Porén, podemos medir os seus efectos en diversos obxectos celestes: percorre cada galaxia e [impide que as estrelas saian disparadas das súas órbitas](#); [cambia a dirección dos raios de luz procedentes de galaxias afastadas](#); [guía a formación das estruturas a grande escala do Universo](#) e mesmo deixou pegadas no [fondo cósmico de microondas](#), a fotografía máis distante e antiga do Universo, tomada cando só tiña 380.000 anos.

Durante moito tempo, os cosmólogos sospeitaron que a materia escura está composta por un novo tipo de partícula que apenas interactúa coa materia ordinaria. Pero tras anos de procura sen atopar rastro ningún dela, outras posibilidades comezaron a parecer máis atractivas. Unha delas, que no seu día se considerou pouco probábel, volveu ser obxecto de atención despois de que [LIGO](#) e [Virgo](#) detectasen por primeira vez.

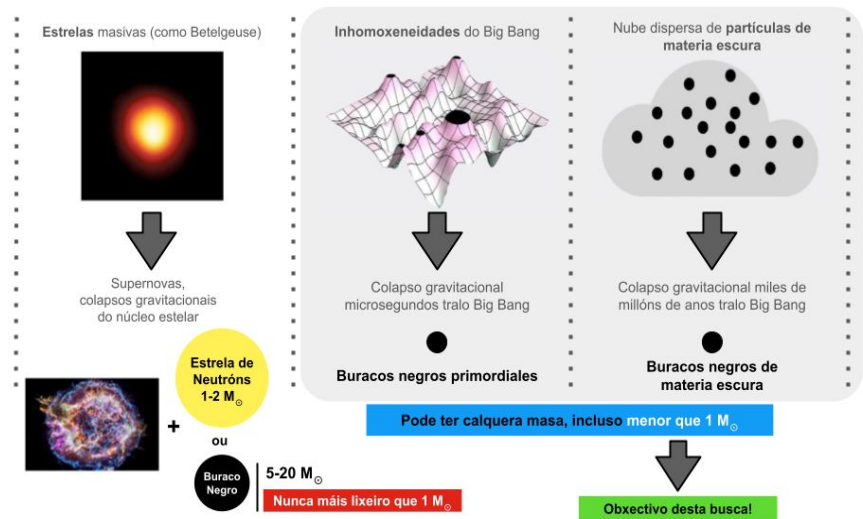


Figura 1: Ilustración que mostra as diferentes formas nas que se poden formar os buracos negros.

Alguns dos [buracos negros](#) observados polos detectores teñen propiedades un tanto inesperadas, como xiros relativamente baixos e masas inusuais. Estas pistas

Panel esquerdo: Os buracos negros procedentes de estrelas masivas moribundas fórmanse a través de explosións de supernova e nunca son máis lixeiros cunha [masa solar](#), escrita na imaxe como M_{\odot} . *Panel central:* Os buracos negros primordiais poden terse formado xusto despois do big bang a partir de pequenas fluctuacións de densidade e, en principio, poderían ter calquera masa, mesmo moito máis lixeira ca do Sol. *Panel dereito:* Os buracos negros de materia escura poderían xurdir moito máis tarde se as nubes de partículas exóticas de materia escura colapsasen baixo a gravidade. A procura realizada neste traballo céntrase en buracos negros de baixa masa, como os que se mostran nos paneis central e dereito.

levaron a científicas e científicos a preguntarse se algúns buracos negros poderían terse formado non a partir de estrelas moribundas, senón a partir de densas acumulacións de materia nas primeiras fraccións de segundo após o [Big Bang](#) (véxase a figura 1). Se existen, estes antigos buracos negros, chamados buracos negros primordiais (PBH, polas súas siglas en inglés), poderían constituír parte —ou mesmo a totalidade— da misteriosa materia escura. Con cada nova detección de ondas gravitacionais, o debate sobre esta posibilidade intensifícase.

Os detectores de ondas gravitacionais [LIGO](#), [Virgo](#), e [KAGRA](#) foron deseñados para buscar [ondas gravitacionais](#) procedentes da fusión de buracos negros e [estrelas de neutróns](#), [púlsares](#) asimétricos que xiran rapidamente, [estrelas en explosión](#) e combinacións de todas estas fontes. Porén, estes detectores son tan [sensibles](#) que tamén poderían observar PBH en espiral a centos de [quilopársecs](#) de distancia, con masas planetarias, que poden ser detectados polos nosos instrumentos durante períodos de horas ou días. Estas duracións son moito máis longas cas fusións dos buracos negros máis pesados que se detectan habitualmente na actualidade.

Eiquí buscamos sistemas binarios en [espiral](#) de obxectos ultra compactos con masa planetaria que emiten ondas gravitacionais a medida que se acoplan.

PARA MÁIS INFORMACIÓN:

Visita as nosas www.ligo.org
páxinas web: www.virgo-gw.eu
gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/



Estes sinais duran polo menos horas nas frecuencias ás que son sensibles os nosos detectores, o que significa que as análises de [filtrado adaptado](#) teñen dificultades para facer fronte á inmensa cantidade de potencia computacional necesaria para buscar sinais tan duradeiros en comparación. Por iso, empregamos un método novo que se basea en atopar diferentes trazas nas [representacións de tempo-frecuencia](#) dos datos do detector, cada unha das cales correspondería de maneira única a sistemas con diferentes [masas chirp](#). Esta é un dos principais parámetros que rexen a forma de onda da fusión en espiral e permítenos distinguir entre diferentes sistemas astrofísicos.

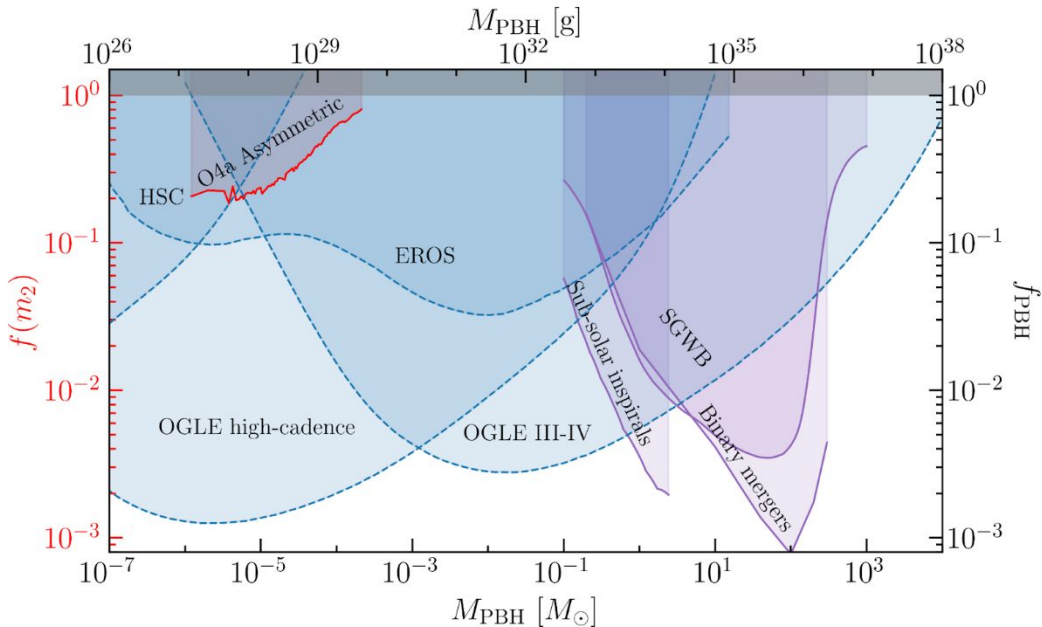


Figura 2 (Figura 4 no artigo): Os límites superiores á fracción de materia oscura que poderían constituir os buracos negros primordiales (PBH), en función da súa masa, móstranse en vermello. Os eixes horizontais indican a masa dos PBH en gramos e masas solares, mentres que o eixo vertical dereito mostra a fracción de materia oscura correspondente, f_{PBH} , empregada para a comparación con outras restricións experimentais. Estes límites existentes adoitan supoñer que todos os PBH teñen a mesma masa. Por contra, os nosos límites (en vermello) aplicanse á abundancia de PBH con masas determinadas (eixo vertical esquerdo), nas que supoñemos que os PBH constitúen toda a materia oscura. Cada curva reflicte supostos específicos sobre os mecanismos de formación dos PBH e a súa distribución de masas. Os nosos resultados limitan esta fracción por debaixo da unidade para masas entre $[10^{-7}, 10^4]$ masas solares, complementando os límites de microlente existentes de [HSC](#), [EROS](#) e [OGLE](#), aínda que estes asumen que toda a materia oscura está composta por PBH e só son válidos para formas específicas nas que se forman os PBH.

O noso traballo utiliza datos da 1ª parte da 4ª [campaña de observación](#) de [Advanced LIGO](#), [Advanced Virgo](#) e [KAGRA](#) (O4a) para determinar se houbo algún obxecto ultracompacto en espiral na nosa galaxia durante a recompilación de datos. Aínda que non detectamos ningunha sinal, como se mostra na **figura 2**, podemos establecer **límites superiores** a (1) a distancia á que poderíamos ter visto tales espirais, (2) a frecuencia coa que se producirían estas espirais e (3) a fracción de materia oscura que podería estar composta por PBH.

A nosa procura produciu as primeiras restricións mediante ondas gravitacionais sobre a fracción de materia oscura que podería deberse a PBH no réxime de masa planetaria. Aínda que menos sensíbel cas procuras dirixidas a buracos negros illados, o noso estudo investiga os PBH que se forman en sistemas binarios, o que fornece restricións complementarias sobre a súa posible abundancia en moitas masas.

GLOSARIO

LIGO: Observatorio de Ondas Gravitacionais por Interferometría Láser (LIGO) é un par de detectores de ondas gravitacionais con sede nos Estados Unidos. Un está situado preto de Livingston, Luisiana, e o outro preto de Hanford, Washington. Ambos detectores son interferómetros láser a grande escala, con dous brazos perpendiculares de 4 km de longo, que tentan medir calquera cambio na lonxitude relativa dos brazos causado polo paso dunha onda gravitacional.

Virgo: detector de ondas gravitacionais situado preto de Pisa, Italia. Tamén é un interferómetro láser, pero con brazos de 3 km de lonxitude.

KAGRA: detector subterráneo de ondas gravitacionais situado preto de Toyama, Xapón. Tamén é un interferómetro láser, pero con brazos de 3 km de lonxitude e espellos arrefriados crioxenicamente.

Púlsar: de «fonte de radio pulsante», unha estrela compacta xiratoria altamente magnetizada que emite feixes de radiación electromagnética desde os seus polos magnéticos.

Sensibilidade: descrición da capacidade dun detector para detectar un sinal. Os detectores cun nivel de ruído máis baixo son capaces de detectar sinais máis débiles e, polo tanto, dise que teñen unha sensibilidade máis alta (ou maior).

Campaña de observación: período durante o cal os detectores de ondas gravitacionais recompilan datos para observacións astrofísicas.

Límite superior: valor máximo que pode acadar unha magnitude e seguir sendo coherente cos datos. A miúdo asociamos un grao de confianza do 95 % co límite superior, é dicir, dados os datos, cremos que hai un 95 % de probabilidade de que o valor real da magnitude de interese sexa inferior a este límite.

Buracos negros primordiais: buracos negros que poden terse formado nos inicios do Universo, unha fracción de segundo despois do big-bang, a partir de rexións de materia excepcionalmente densas.

PARA MÁIS INFORMACIÓN:

Visita as nosas www.ligo.org
páxinas web: www.virgo-gw.eu
gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/

Le a versión preliminar gratuita do artigo científico completo [eiqui](#) ou en [arxiv](#). Os datos do Gravitational-Wave Open Science Center para GWTC-4.0 están dispoñibles [eiqui](#).

Artigo traducido por Raúl Rodríguez e revisado por Sofía Bussières.