

GWTC-5.0: ACTUALIZACIÓN DEL CATÁLOGO CON OBSERVACIONES DE LA SEGUNDA PARTE DEL CUARTO CICLO DE OBSERVACIÓN LIGO-VIRGO-KAGRA

En mayo de 2026, las colaboraciones [LIGO-Virgo-KAGRA](#) (LVK) publicaron los datos [interferométricos](#) de [deformación](#) de la segunda parte de la cuarta serie de observaciones (O4b), que abarcó desde abril de 2024 hasta enero de 2025 — un período de aproximadamente nueve meses de búsqueda de [ondas gravitacionales](#) (GWs, por sus siglas en inglés) de fusión de [objetos compactos](#) como [estrellas de neutrones](#) y [agujeros negros](#). En estos datos, hemos descubierto 161 nuevas señales de onda gravitacional confiables (OG), todas las cuales son consistentes con el origen de la fusión de agujeros negros. (A diferencia del lanzamiento anterior del catálogo, no se identificaron nuevos eventos que contengan estrellas de neutrones durante O4b.) Junto con la publicación de los datos de las cepas, publicamos la versión 5.0 del [Catálogo de Transitorios de Ondas Gravitacionales](#) (GWTC-5.0), que contiene listas de las señales candidatas de OG y mediciones de sus propiedades. GWTC-5.0 también incluye análisis refinados de algunos candidatos previamente publicados. Un conjunto de documentos acompaña al catálogo. Aquí, resumimos los primeros tres de estos artículos que se centran en la producción y los resultados del GWTC-5.0 mismo.

INTRODUCCIÓN

El primer artículo, titulado "GWTC-5.0: Una introducción a la Versión 5.0 del Catálogo de Transitorios de Ondas Gravitacionales", sirve como una visión general del catálogo. Incluye información sobre la nomenclatura, detalles de la publicación del catálogo y un esquema de los documentos complementarios que lo acompañarán. El periódico está destinado a ayudar a orientar a los nuevos lectores al catálogo sin exigirles que lean todas las versiones anteriores de los manuscritos.

El juego de los nombres

Nombramos nuestros eventos de OG usando la fecha y hora en que los detectamos, en [Tiempo Universal Coordinado](#) (UTC). Por ejemplo, el evento

GW200105_162426 se detectó el 5 de enero de 2020 a las 16:24:26 UTC. (Algunos eventos, como [GW150914](#) o [GW250114](#), son lo suficientemente excepcionales como para que dejemos de lado la marca de tiempo para mejorar la legibilidad cuando escribimos sobre ellos.) Añadimos el prefijo GW a todas las señales candidatas que detectamos, incluso si existe la posibilidad de que no sean de origen astrofísico. Esto es consistente con cómo se presentaron los eventos en la actualización más reciente del catálogo ([GWTC-4.0](#)), pero es notablemente diferente de cómo se trataron los candidatos en versiones anteriores del catálogo. Dicho esto, para ser incluidos en el catálogo, los eventos deben tener una alta probabilidad (al menos 50%) de ser astrofísicos en origen y deben pasar todas nuestras comprobaciones de calidad de datos.

Solo puede haber uno(catálogo)

En consonancia con las actualizaciones pasadas de GWTC, el contenido de GWTC-5.0 es acumulativo. Esto significa que cada nuevo catálogo incluye no solo nuevos candidatos identificados en datos previamente inéditos (O4b esta vez), sino también todos los candidatos de cada una de las pasadas. Esto significa que GWTC-5.0 reemplaza todos los lanzamientos de catálogo anteriores. Además, GWTC-5.0 también incluye resultados de búsqueda actualizados y propiedades fuente estimadas para eventos adicionales de la primera parte de O4 (O4a). Ese subconjunto del catálogo se llama GWTC-4.1, en consonancia con la convención de nomenclatura introducida junto a la versión anterior del catálogo, donde los números de versión menores (el .0 y .1) se incrementan siempre que haya una modificación en los resultados previamente publicados. En cualquier momento dado, el catálogo con mayor número es la publicación LVK de referencia.

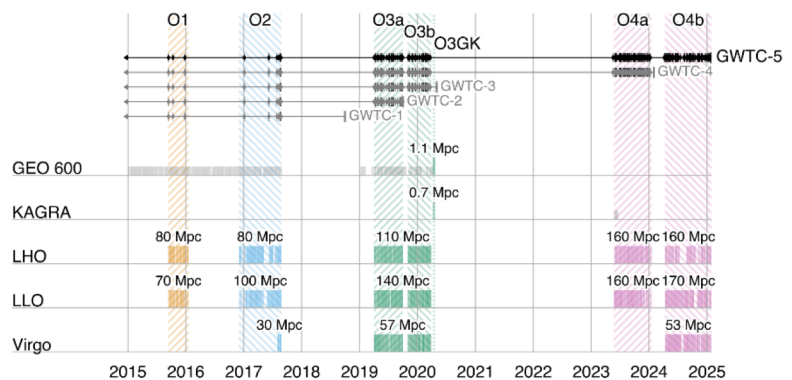


Figura 1: Una línea de tiempo de los recorridos de observación que muestra los períodos de toma de datos para los observatorios de OG [GEO 600](#), [KAGRA](#), [LIGO-Hanford](#) (LHO), [LIGO-Livingston](#) (LLO) y [Virgo](#). Los números por encima de los bloques coloreados corresponden a la distancia aproximada (en [megaparsecs](#), Mpc) en la que el detector puede ver una [fusión binaria estándar de estrellas de neutrones](#), proporcionando una medida de su sensibilidad. A lo largo de la parte superior, proporcionamos marcadores para cuando se han detectado eventos, así como barras horizontales que muestran el rango de datos en cada catálogo.

ENCUENTRA MÁS:

Visita www.ligo.org
 nuestro www.virgo-gw.eu
 sitio web: gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/



Esto significa que GWTC-5.0 contiene todos los candidatos transitorios confiables de GW desde el primer ciclo de observación (O1, a partir de septiembre de 2015) hasta la segunda parte del cuarto ciclo de observación (O4b) y todo lo demás. En el camino, nuestros detectores se han vuelto progresivamente más sensibles. Puedes ver el historial de mejoras en la sensibilidad en la línea de tiempo de la secuencia de observación que se muestra en la **Figura 1**.

También puede observarse en la **figura 1** que el detector de Virgo se unió al ensayo O4 durante el ensayo O4b con sensibilidades comparables a las demostradas durante el tercer ensayo de observación. Esto es notable no solo porque aumenta la sensibilidad general de la red de detectores, sino también porque mejora enormemente la capacidad de la red para localizar la ubicación de cada evento en el cielo — veremos un ejemplo sorprendente de esto en la sección de resultados.

Explorando el universo un hipervolumen a la vez

La resolución angular mejorada en el cielo, junto con la sensibilidad de distancia mejorada, significa que O4b representa la búsqueda GW más sensible hasta la fecha. Solemos cuantificar esto determinando el volumen de 4 dimensiones (en tiempo y espacio) que los detectores han observado. En línea con los lanzamientos de catálogo anteriores, llamamos a esto un 'hipervolumen' porque es un volumen en cuatro dimensiones. Simulamos cómo deberían ser las señales de GW en nuestros detectores, si ocurrieran a varias distancias astrofísicas y ubicaciones en todo el cielo. Luego probamos si nuestro software de análisis puede encontrar con éxito las señales simuladas cuando las insertamos artificialmente en nuestros datos. Una vez que corrijamos el porcentaje de tiempo que nuestros detectores están en línea —es decir, su [ciclo de trabajo](#)— podremos llegar a una estimación realista del hipervolumen en el universo cercano desde el cual podamos detectar de manera confiable la emisión de OG.

En la **figura 2**, trazamos una actualización de este hipervolumen con respecto al número acumulado de detecciones. ¡Esto muestra cuántas señales se detectaron en cada serie de observaciones y visualiza que, en O4b, hemos vuelto a casi duplicar el número de señales observadas!

Como prueba de la mayor sensibilidad a las búsquedas, cuando comparamos las dos primeras partes de O4 (O4a + O4b) con pruebas anteriores, encontramos que los resultados de O4 representan aproximadamente el 75% del número total de detecciones de GW hasta la fecha. (La **Figura 3** muestra otra forma de visualizar esto.)

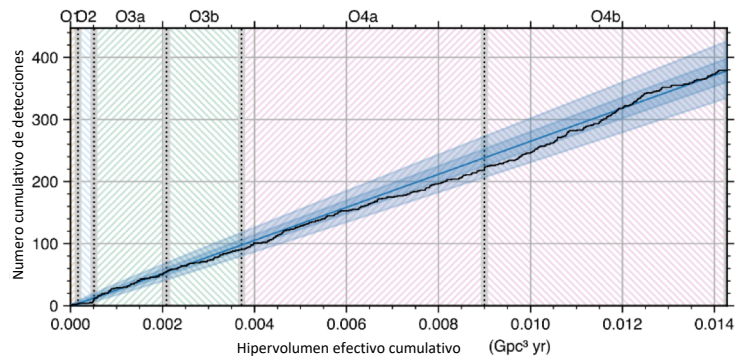


Figura 2: El número acumulado de detecciones trazado en comparación con el hipervolumen aproximado espacio-temporal observado por los detectores, mostrando tanto el aumento en el número de eventos de OG que hemos detectado como cuánto hemos explorado el universo local. La línea negra sigue los eventos que hemos detectado, y las bandas azules sombreadas a su alrededor muestran la incertidumbre en esa medición. La incertidumbre proviene del hecho de que incluso los eventos que tienen una alta probabilidad de ser astrofísicos en origen tienen una posibilidad (por pequeña que sea) de ser otra cosa. Esta incertidumbre se acumula a medida que observamos más y más eventos, dándonos una medida estadística de cómo entendemos nuestro recuento total.

MÉTODOS

El segundo trabajo, titulado "GWTC-5.0: Métodos para la identificación y caracterización de transitorios de onda gravitacional", proporciona los detalles de la metodología utilizada para producir GWTC-5.0. El comienzo del artículo cubre las técnicas utilizadas para modelizar las señales GW que estamos buscando, y el software de análisis que utilizamos para buscarlos en los datos. Luego describe cómo manejamos las fluctuaciones de ruido que pueden afectar la calidad de nuestros datos. El artículo concluye con una visión general de las herramientas que utilizamos para estimar los parámetros astrofísicos de cada sistema (como las masas de los objetos compactos que se han fusionado), verificar la consistencia de nuestros resultados y gestionar las complejas estructuras de datos necesarias para completar todo este ambicioso trabajo.

La práctica hace al maestro

La mayor parte de la metodología básica en GWTC-5.0 sigue siendo básicamente la misma que en el análisis de GWTC-4.0 de los eventos O4a. Pero también hemos identificado y corregido varios pequeños errores, incluyendo uno que afecta cómo calibramos nuestros datos, y otro que afecta las técnicas que utilizamos para estimar las propiedades astrofísicas de cada evento. En todos los casos, los efectos de estos errores se encuentran bien dentro de las incertidumbres estadísticas de eventos individuales, y ninguna de las conclusiones científicas de versiones anteriores del catálogo se ve afectada.

Recordar nuestras raíces mientras seguimos creciendo

Siguiendo las convenciones de actualizaciones anteriores del catálogo, el artículo metodológico también contiene descripciones históricas de los algoritmos utilizados desde la primera ejecución observacional. Esto es esencial porque el GWTC es un catálogo acumulativo - incluye todos los resultados anteriores, incluso si no los hemos reanalizado.

Como resultado, si alguien quiere entender un evento desde la primera ejecución de observación (digamos, por ejemplo, la primera detección, [GW150914](#)) mientras navega por el catálogo GWTC-5.0, necesitaría el contexto completo de las herramientas de análisis que se usaron en ese momento. El objetivo es asegurar que los lectores que son nuevos en el catálogo no tengan que consultar versiones anteriores de los artículos del catálogo para estar completamente al día con su estado actual.

Junto con este contexto histórico, también nos esforzamos por incorporar nuevas técnicas potentes para seguir mejorando y refinando nuestros análisis con cada lanzamiento de catálogo posterior. Para GWTC-5.0, hemos añadido análisis mejorados con [aprendizaje automático](#) como una forma de validación cruzada para mejorar la confianza en nuestros resultados. Estos nuevos enfoques entrenan redes neuronales en grandes bibliotecas de señales simuladas para que, una vez entrenadas, puedan estimar las propiedades de una nueva señal en una pequeña fracción del tiempo requerido hasta ahora por nuestros métodos tradicionales de análisis. Un paso de reponderación posterior corrige cualquier pequeña discrepancia entre la rápida aproximación de la red neuronal y un cálculo más riguroso.

RESULTADOS

El tercer artículo, titulado "GWTC-5.0: Observaciones de la Segunda Parte del Cuarto Ciclo de Observación LIGO-Virgo-KAGRA y Actualizaciones del Catálogo de Ondas Transitorias Gravitacionales", proporciona un resumen de los resultados astrofísicos para los nuevos candidatos añadidos en GWTC-5.0. Se centra en las propiedades centrales de cada evento (incluyendo parámetros como masa, [giro](#) y distancia, entre otros). Se incluirán análisis adicionales que cubran interpretaciones más amplias de los resultados en varios documentos complementarios que aparecerán junto con la publicación de datos GWTC-5.0 o poco después.

El camino a los 400

Hemos encontrado 161 nuevos candidatos que ocurrieron durante O4b y que probablemente sean de origen astrofísico. Todos estos eventos parecen ser fusiones binarias de agujeros negros basadas en lo que pudimos inferir sobre sus masas a partir de las señales de OG que detectamos. A diferencia de los conjuntos de datos anteriores de la versión anterior del catálogo, no hubo nuevos eventos que involucraran estrellas de neutrones durante O4b.

Los nuevos eventos llevan el número total de candidatos dentro del GWTC a 390 (ver **Figura 4**). De los 161 nuevos candidatos, también ofrecemos un análisis de seguimiento detallado sobre los 104 eventos más significativos. Indicamos la importancia a través de la '[tasa de falsas alarmas](#)' -una medida de con qué frecuencia esperaríamos que fluctuaciones de ruido aleatorias produzcan algo que se asemeje a una señal GW. Realizamos análisis de seguimiento en eventos con una tasa de falsas alarmas menor a una por año.

Eventos excepcionales

Varios eventos excepcionalmente novedosos —algunos de los cuales han sido anunciados previamente— están incluidos en el catálogo. Entre estos se encuentran [GW250114](#), la señal de GW más fuerte registrada hasta la fecha; [GW241011](#) y [GW241110](#), que proporcionaron evidencia convincente para la existencia de fusiones de agujeros negros 'jerárquicas'; y [GW240925](#), que fue uno de los dos eventos utilizados en la primera aplicación informativa de calibración astrofísica. Cada uno de estos resultados ha recibido su propio lanzamiento dedicado, pero vale la pena destacarlos en el catálogo como observaciones notables. Resumimos cada uno de estos eventos excepcionales en el panel al final, con enlaces a sus propios resúmenes científicos dedicados proporcionados para el lector curioso.

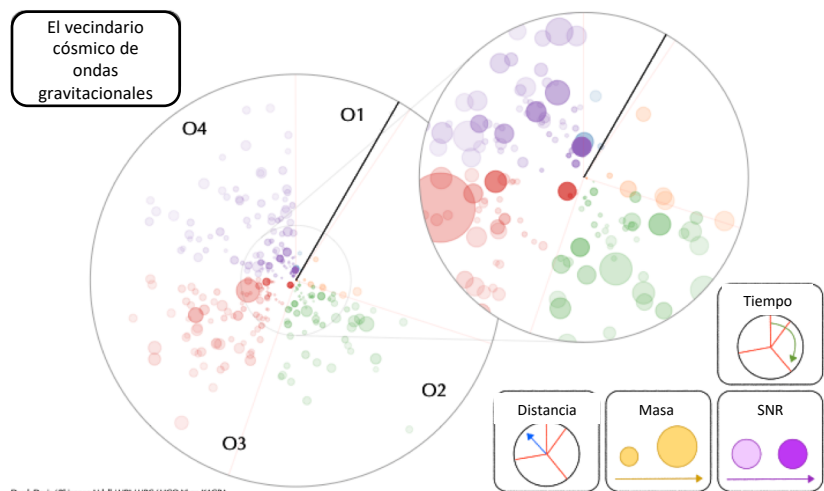


Figura 3: Aunque la cuarta ronda de observación representa menos de la mitad del tiempo total dedicado a la observación, representa aproximadamente el 75% de todas las detecciones de OG hasta la fecha. En este gráfico, cada evento de OG está representado por un círculo. El tamaño de cada círculo representa la masa total de la fusión. La oscuridad de cada círculo en sombra representa lo 'fuerte' que fue el evento en nuestro detector (medido por la relación señal-ruido, o SNR). La distancia de cada círculo desde el centro del gráfico representa cuán lejos de la Tierra se produjo la fusión. Cada rebanada del pastel representa uno de los recorridos de observación (O1 a O4, hasta O4b), con el tiempo de cada evento progresando en sentido horario alrededor de cada rebanada.

¡(La localización en) el cielo es el límite!

GWTC-5.0 también establece un nuevo récord para la astronomía de precisión de OG con localizaciones enormemente mejoradas para varios eventos. Para entender por qué esto es notable, primero necesitamos entender cómo los detectores de OG localizan la ubicación de los eventos. Un solo detector de OG por sí mismo puede decirte si ocurrió un evento de OG, pero no necesariamente te dice dónde en el cielo ocurrió.

EVENTOS EXCEPCIONALES

GW250114 - el evento de OGs más ruidoso hasta la fecha

GW250114 es una señal de OG fuerte y sin precedentes procedente de la coalescencia binaria de un agujero negro. Medimos la 'intensidad' de los eventos de OGs a través de la relación señal-ruido (SNR), es decir, la intensidad de la señal dividida por el tamaño típico de las fluctuaciones del ruido en el detector. El anterior registrador, [GW230814](#), tenía un SNR de 42.4. [GW250114](#) se observó con un SNR de 76.9 (casi el doble de alto), lo que nos permitió realizar rigurosas [pruebas de relatividad general](#) y confirmar la validez de la Ley del Área de Hawking. En particular, los dos agujeros negros que se fusionaron (que tenían masas de aproximadamente 34 y 32 veces la [masa de nuestro Sol](#)) son casi idénticos a los ~36 y ~29 agujeros negros de masa solar de GW150914, la primera detección de OGs. Es más, estos eventos ocurrieron aproximadamente a la misma distancia de la Tierra —1,3 y 1,4 mil millones de años luz, para GW250114 y GW150914, respectivamente. La enorme mejora en el SNR se debió casi enteramente a mejoras en los propios detectores, no a nada particularmente único sobre la fuente.

GW241011 y GW241110 - evidencia de fusiones jerárquicas

Cuando dos agujeros negros nacen de un par de estrellas que pasaron sus vidas juntas, uno espera que su 'rotación' (rotación intrínseca, separada de su movimiento orbital) esté al menos en cierta medida alineada con la rotación de la órbita — similar a como la mayoría de los planetas en nuestro sistema solar giran en la misma dirección, reflejando su origen común en una sola nube de gas rotativa. Pero tanto [GW241011](#) como [GW241110](#) mostraron giros bien medidos que no se alinean de la manera que uno esperaría, junto con masas claramente desiguales. En conjunto, estos son indicios de que los sistemas probablemente se formaron en un entorno abarrotado como un cúmulo estelar denso, donde los agujeros negros pueden encontrarse y capturarse entre sí [dinámicamente](#) — y donde uno de los agujeros negros fusionados puede ser él mismo el remanente de una fusión anterior. Estos eventos son nuestra mejor evidencia hasta la fecha de tales 'fusiones jerárquicas', donde los productos de las fusiones anteriores del agujero negro continúan fusionándose nuevamente.

GW240925 - el primer uso informativo de la calibración astrofísica

La detección de OGs requiere una calibración cuidadosa y rigurosa de nuestros detectores en el momento de cada evento. En la mayoría de los casos esto es bien entendido, pero el estado de [calibración](#) puede ocasionalmente ser desconocido—por ejemplo, cuando los detectores han cambiado de estado y necesitan tiempo para 'calmarse'. El universo, por supuesto, no siempre es lo suficientemente amable como para esperar. En el caso de [GW240925](#), eso es exactamente lo que ocurrió. El evento en sí era engañosamente típico, la fusión de dos agujeros negros aproximadamente 9 y 7 veces la masa de nuestro sol, pero ocurrió en un momento en que el detector LIGO Hanford estaba mal calibrado. Afortunadamente, la señal en sí era bastante fuerte (SNR de 31.9), y como las OGs procedentes de la fusión de agujeros negros están bien entendidas, pudimos comparar nuestros datos mal calibrados con modelos teóricos de cómo deberían aparecer las OGs en el detector. Esto nos permitió usar la señal en sí para hacer ingeniería inversa a la calibración del detector. Esto marcó la primera vez que los eventos astronómicos fueron utilizados directamente para calibrar nuestros detectores. (Un evento compañero que también hizo uso de la calibración astrofísica, GW250207, se publicó junto con GW240925. Sin embargo, como ocurrió después de la conclusión de O4b, no aparece en GWTC-5.0 y, en cambio, se incluirá en una futura actualización del catálogo).

¡A GWTC-5.0 y más allá!

GWTC-5.0 marca otro hito significativo en nuestra exploración del universo de OG. En poco más de una década desde la [primera detección de GW150914](#), hemos pasado de una sola señal confirmada a un catálogo de casi 400. Con cada una de nuestras observaciones ampliamos lo que sabemos sobre las poblaciones de agujeros negros y estrellas de neutrones escondidas en el cosmos.

ENCUENTRA MÁS:

Visita nuestro sitio Web:

www.ligo.org
www.virgo-gw.eu
gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/ (KAGRA)

Lea preimpresiones gratuitas de los artículos científicos del GWTC-5.0:

- Artículo introductorio: <https://dcc.ligo.org/LIGO-P2500701/public/>
- o en arxiv: <https://arxiv.org/abs/2605.27223>
- Documento metodológico: <https://dcc.ligo.org/LIGO-P2600166/public/>
- o en arxiv: <https://arxiv.org/abs/2605.27224>
- Documento de resultados: <https://dcc.ligo.org/LIGO-P2600152/public/>
- o en arxiv: <https://arxiv.org/abs/2605.27225>

Publicación de datos del Gravitational-Wave Open Science Centre para

GWTC-5.0: <https://gwosc.org/GWTC-5.0/>

(En el mejor de los casos, puede decirte dónde no estaba descartando las pocas direcciones en las que el detector es efectivamente ciego.) Pero cuando dos detectores capturan la misma señal, podemos comparar la hora exacta en que apareció la señal en cada detector y usar eso —junto con el hecho de que las OG viajan a la velocidad de la luz— para triangular de dónde podría haber venido la señal de una manera muy similar a como tu teléfono utiliza el tiempo de las señales de GPS para indicar dónde estás en la Tierra. Cuando hay tres (o más) detectores observando, podemos realizar esta triangulación varias veces (una por cada par único de detectores), mejorando significativamente nuestra capacidad para determinar dónde ocurrió el evento en el cielo.

En O4a, solo los dos detectores LIGO estaban en línea y observando activamente, lo que limitó fundamentalmente nuestra capacidad para localizar eventos de OGs. Pero Virgo se unió a la búsqueda de observación para O4b, lo que nos dio un tercer detector en la red. Esto mejoró enormemente nuestra precisión, y no hay mejor ejemplo de esto que GW240615_113620 —la fuente de OG localizada óptima observada hasta la fecha— con un área de solo 6 grados cuadrados —aproximadamente la zona del cielo que cubre tu pulgar cuando se extiende a la longitud del brazo. Para comparar, la mejor localización lograda en GWTC-4.0 fue de 110 grados cuadrados —casi veinte veces menos precisa— con muchos otros eventos que abarcaron miles (o incluso decenas de miles) de grados cuadrados del cielo.

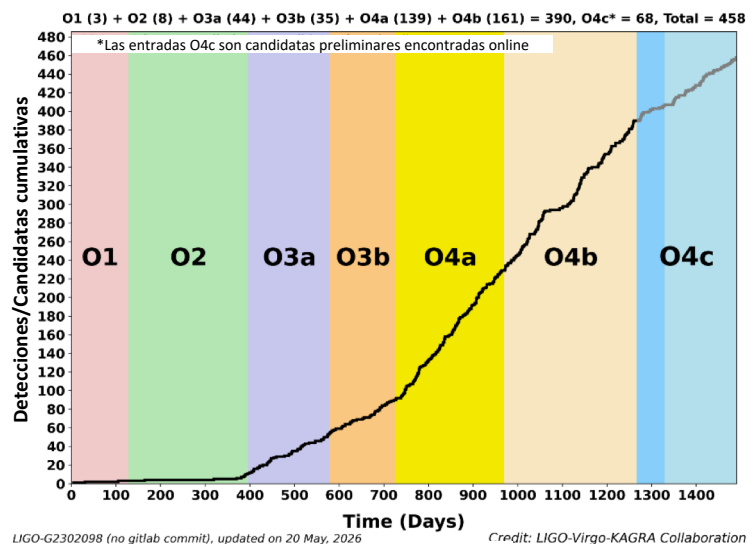


Figura 4: GWTC-4.0, más que el doble del número total de candidatos reportados, desde aproximadamente 90 (GWTC-3.0) hasta más de 200 (GWTC-4.0). Con un total de 390 eventos hasta el final de O4b en GWTC-5.0, ¡casi hemos duplicado el tamaño del catálogo otra vez! Los candidatos de detección restantes de la tercera y última porción de O4 (O4c) serán analizados y lanzados en una versión posterior del catálogo.