

Agujeros negros y existencia al centro de galaxias

Víctor Osores Escalona

5 de octubre de 2011

Índice

1. Introducción	2
2. Ideas básicas	3
3. Algo de relatividad	3
3.1. Curvatura del espacio	3
3.2. ¿Que ocurre con el tiempo en la cercanía de cuerpos masivos?	3
4. Agujeros negros	5
4.1. ¿Qué es un agujero negro?	5
4.2. Efectos gravitatorios sobre la luz	6
4.3. ¿Cómo se forman los agujeros negros?	6
4.4. Clasificación de los agujeros negros	7
4.5. ¿Cómo los encontramos?	7
5. Agujeros al centro de las galaxias	8
5.1. Descubrimientos importantes	8
5.2. Agujeros negros primordiales	11
5.2.1. ¿Que es un agujero negro primordial?	11
5.2.2. Publicación Dr. Ezequiel Treister	11

1. Introducción

En este trabajo se pretende presentar una visión humilde acerca de la formación, evolución, características, y clasificación de los agujeros negros. La teoría nos entrega información acerca de la existencia, de agujeros blanco, de gusano, y agujeros negros, es decir teóricamente existen. Hasta hace un tiempo se pensaba que este tipo de estructuras era simplemente una mera interpretación de ecuaciones, esto es, eran soluciones matemáticas sin interpretación física, sin embargo hoy los estudios y observación muestran con claridad la existencia de agujeros negros. Gracias a que estamos seguros de la existencia de agujeros negros, los científicos se adentran en la búsqueda de agujeros blancos y agujeros de gusano pues quizá no sean sólo fantasía. Lo que en aquellos tiempos era sólo parte de la imaginación o sólo ciencia ficción se derrumbó con el descubrimiento del agujero negro, los cuales suelen estar al centro de las galaxias.

2. Ideas básicas

Masa, cantidad de materia que compone un objeto.

Gravedad, fuerza de atracción de un objeto que depende de su masa y de la distancia que nos separa del mismo. Cuanto más masivo sea un objeto, o cuanto más cerca nos encontremos de él, tanto mayor será su fuerza de gravedad.

Velocidad de escape, velocidad necesaria para que una masa **m** escape del campo gravitacional de un cuerpo.

$$v_e = \sqrt{\frac{2G_N M}{R}} \quad (1)$$

Horizonte de sucesos, superficie en donde la gravedad es tan fuerte que ni siquiera la luz puede escapar. Punto de no retorno. El radio del horizonte (Radio de Schwarzschild) es proporcional a la masa del agujero negro y nos permite estimar el tamaño del agujero negro.

Disco de acreción, disco de materia que se forma al caer gran cantidad de material dentro de un agujero negro. Se encuentra fuera del horizonte de eventos del agujero negro. La fricción y otras fuerzas calientan el disco de tal forma que comienza a emitir luz.

3. Algo de relatividad

En esta sección veremos algunos puntos importantes, tales como curvatura del espacio y variación del tiempo en la cercanía de cuerpos masivos. Albert Einstein postula la teoría de la relatividad a principio del siglo XX.

3.1. Cuervatura del espacio

La teoría de la relatividad general nos dice que el espacio se curva alrededor de un cuerpo de masa considerable, luego podríamos pensar que si un rayo de luz pasa cerca de un cuerpo masivo este debiera desviarse más de lo usual, respondiendo a esta interrogante Albert Einstein obtuvo y entregó una medida del desvío α .

$$\alpha = \frac{4GM}{rc^2} \quad (2)$$

G , constante de gravitación universal.

M , masa del cuerpo.

r , radio del cuerpo.

Que nos proporciona un ángulo de desviación que presenta un rayo de luz que pasa por las cercanías del Sol. Esto queda completamente demostrado mediante la observación de eclipses.

3.2. ¿Que ocurre con el tiempo en la cercanía de cuerpos masivos?

Otra consecuencia directa de la teoría de la relatividad general de Einstein, nos muestra que el tiempo transcurre más lento en las cercanías de un cuerpo de masa considerable,

debido a la acción gravitatoria. Einstein en su libro "El significado de la relatividad" deduce la siguiente fórmula.

$$t = t_0 \sqrt{1 - \frac{2G}{c^2} \int \frac{\rho}{r} dV} \quad (3)$$

Donde, r , distancia desde el centro del astro hasta el punto que deseamos analizar.

t , tiempo transcurrido a una distancia r del cuerpo masivo productor del campo gravitatorio.

t_0 , tiempo transcurrido en las lejanías del campo gravitatorio.

G , constante de gravitación universal. ρ , densidad del astro.

V , volumen del astro.

c , velocidad de la luz.

Y $\int \frac{\rho}{r} dV = \frac{M}{r}$.

Por otro lado sabemos que,

$$v_e = \sqrt{\frac{2GM}{r}} \Rightarrow \frac{2GM}{r} = v_e^2 \quad \text{Donde } v_e \text{ es la velocidad de escape del cuerpo} \quad (4)$$

Finalmente obtenemos,

$$t = t_0 \sqrt{1 - \frac{v_e^2}{c^2}} \quad (5)$$

De aquí se deduce que a medida que un cuerpo se acerca a un astro el tiempo transcurre más despacio para éste cuerpo, luego imaginemos que ocurre con el tiempo, si nos encontramos con un agujero negro, cuya $v_e = c$, obtenemos lo siguiente.

$$t = t_0 \sqrt{1 - \frac{c^2}{c^2}} = t_0 \sqrt{1 - 1} = 0 \quad (6)$$

Luego podemos decir que el tiempo se detiene en la frontera del horizonte de sucesos de un agujero negro.

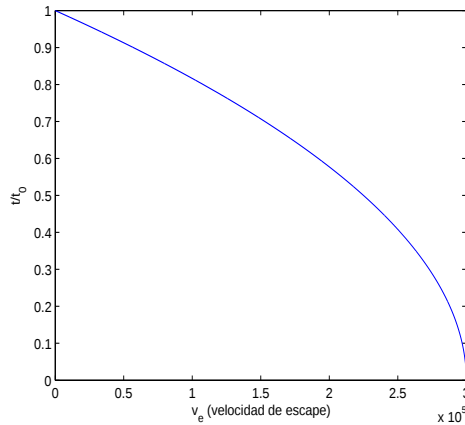


Figura 1: Muestra cómo se hace más lento el tiempo al acercarse a cuerpos con determinadas v_e

4. Agujeros negros

Podríamos imaginarnos el espacio como una sábana tomada de cada uno de sus extremos, posteriormente poner sobre él una bola de billar ¿Qué ocurrirá? Claramente nuestro espacio se curvará, según la teoría de la relatividad general algo análogo produce una estrella en el espacio, a mayor masa, mayor será la curvatura generada, todo esto debido a la gravedad.

4.1. ¿Qué es un agujero negro?

En lo primero que pensamos cuando intentamos responder esta pregunta, es en algo así como un remolino en el espacio que succiona todo a su paso, del cual nada puede escapar una vez succionado. Un agujero negro es mucho más que esto, es una región finita del espacio-tiempo provocada por una gran concentración de masa en su interior, muy denso, produciendo de esta manera un campo gravitacional tan grande que ni siquiera la luz puede escapar. Tal efecto gravitacional curva tanto el espacio hasta que lo "rompe", esta ruptura u agujero es llamado singularidad. Es posible distinguir también el denominado horizonte de eventos el cual en realidad no es más que una superficie imaginaria de forma esférica que rodea a un agujero negro, en la cual la velocidad de escape necesaria para alejarse del mismo coincide con la velocidad de la luz. Y como sabemos que nada se mueve más rápido que la luz entonces nada escaparía una vez dentro del horizonte de eventos.

El radio de Schwarzschild nos permite estimar el tamaño del agujero negro.

$$R_s = \frac{2GM}{c^2} \quad (7)$$

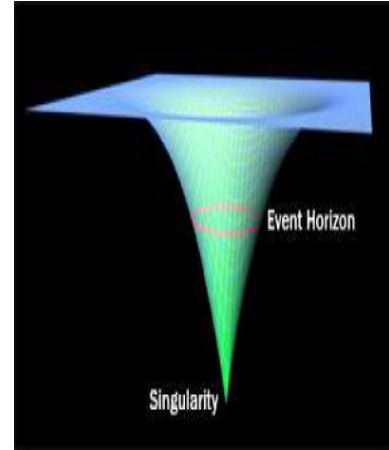


Figura 2: Agujero negro

Algunos radio de Schwarzschild para determinadas masas.

Objeto	Masa	R_s
Sol	$2 \cdot 10^{30} kg = 1 M_s$	$3 km$
Tierra	$6 \cdot 10^{24} kg = 3 \cdot 10^{-6} M_s$	$9 mm$
Ser humano	$100 kg = 5 \cdot 10^{-29} M_s$	$1,5 \cdot 10^{-22} mm$
Agujero negro supermasivo	$\sim 10^9 M_s$	$\sim \text{órbita de Saturno}$
Agujero negro primordial	$10^{12} kg = 10^{-18} M_s$	$\sim \text{núcleo de átomo}$

4.2. Efectos gravitatorios sobre la luz

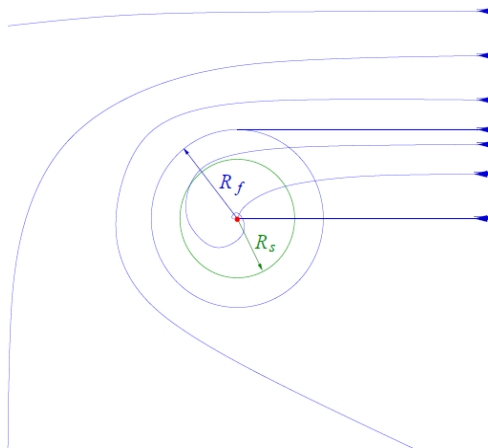


Figura 3: Partículas de luz

En ésta imagen podemos distinguir dos distancias importantes desde el centro del agujero negro, el radio de Schwarzschild y un radio en el cual las partículas de luz comienzan a orbitar respecto del centro del agujero negro. Como podemos ver, fuera de R_f , las partículas de luz son desviadas significativamente, todo esto debido a la curvatura en el espacio que produce el agujero negro, a medida que nos acercamos a R_f , las partículas cambian su trayectoria a tal punto que comienzan a orbitar, esto es muy importante pues es en parte gracias a esto que podemos observar tal evento.

Finalmente si las trayectorias de la luz caen al interior de R_s ya no habrá vuelta atrás.

4.3. ¿Cómo se forman los agujeros negros?

La teoría más aceptada acerca de la formación de agujeros negros, es aquella que hace alusión a la muerte de las estrellas con masas superiores a diez veces la masa de nuestro sol. Durante unos mil millones de años estrellas de este tamaño generarán calor en su núcleo transformando hidrogeno en helio, la energía entregada por tal reacción creará las condiciones necesarias para que la estrella soporte su gravedad, una vez la estrella haya consumido todo el combustible, nada impedirá que ésta comience a contraerse por obra de su gravedad, el campo gravitatorio de su superficie comenzará a hacerse cada vez más fuerte y con ello la velocidad de escape ascenderá a la velocidad de la luz. A partir de ese momento nada podrá escapar de este campo gravitatorio pues según la teoría especial de la relatividad nada puede desplazarse a una velocidad superior a la de la luz. Este tipo de agujero negro recibe en nombre de "común".

Algunas estrellas, las más masivas, se apagan en silencio, abriendo un agujero negro, un hueco en el espacio que da a regiones donde las leyes de la física resultan absurdas.

(FÉLIX MIRABEL)

Existe otro tipo de agujeros negros, los denominados agujeros negros súper masivos, su masa puede llegar a ser millones o quizá miles de millones de veces la masa del sol, estos monstruos se ocultan en el centro de las galaxias, y es altamente probable que se hayan formado al mismo tiempo que esta, pero no es claro el cómo ocurrió, posiblemente por el colapso de una estrella gigante que posteriormente acumuló material.

Según los astrónomos los agujeros negros súper masivos estarían presente en casi todas las galaxias incluida la Vía Láctea.

Otra teoría acerca de la formación de éste tipo de agujero negro nos dice que estos se forman al momento en que chocan dos estrellas de neutrones (núcleos densos) que orbitan conjuntamente hasta que se fusionan produciendo una breve descarga de rayos gamma, estas descargas marcan el nacimiento de agujeros negros.

4.4. Clasificación de los agujeros negros

Agujeros negros primordiales: Son aquellos que supuestamente fueron creados temprano en la historia del universo. Hasta hace muy poco no había pruebas concretas de la existencia de este tipo de agujeros negros.

Agujeros negros Súper masivos: Masa de varios millones de soles, se cree que los hay al centro de gran parte de galaxias.

Agujeros negros de masa estelar: Se forman cuando una estrella de masa de 2,5 veces mayor que la masa del sol, se convierte en supernova e implosiona, formando una singularidad.

Mini-agujeros negros: Son objetos pequeños y tienden a evaporarse en períodos relativamente cortos.

4.5. ¿Cómo los encontramos?

Ciertamente un agujero negro es realmente negro, pues el efecto gravitacional impide el escape de materia y energía, lo cual dificulta el poder verlos o encontrarlos con facilidad. Sin embargo muchos astrónomos han descubierto muchos agujeros negros debido a sus efectos sobre las estrellas, el polvo presente en su disco de acreción, etc. Podríamos decir que logramos encontrarlos gracias al gran número de pistas que van dejando en su paso.

Efectos sobre las estrellas: La idea principal en este punto es ver el comportamiento de las estrellas que orbitan un determinado agujero negro, esto, porque mientras mayor es el agujero negro, mayor es la velocidad con que la estrella orbita, es por ello que las velocidades de las estrellas pueden revelar la existencia, y no sólo esto, sino también la masa del agujero negro.

Muchos agujeros negros súper masivos forman parte de un sistema binario, es decir existe un cuerpo que emite luz. Un sistema binario que contiene un agujero negro y

una estrella las velocidades orbitales son mucho mayores que las velocidades orbitales de un sistema binario que consta de estrellas normales. Midiendo las velocidades orbitales de ambos cuerpos y la distancia que los separa es posible encontrar la masa total del sistema, posteriormente mediante algunas técnicas los astrónomos miden la masa del objeto luminoso, y la restan a la masa total del sistema obteniendo así la masa del objeto oscuro, lo cual indica si es o no un agujero negro u otro tipo de objeto.

Disco de acreción: Es sabido que muchos agujeros negros presentan a su alrededor discos de gas súper caliente, en agujeros negros súper masivos este disco está formado por grandes nubes de gas presente en el núcleo de las galaxias, al entrar en espiral al agujero negro el gas se acelera cada vez más, aumentando su temperatura a tal punto que el gas comienza a irradiar rayos x, los cuales son detectados por telescopios en el espacio. Luego podemos medir velocidades de del gas y proporcionar de esta manera una buena medida de la masa del agujero negro.

Esta es la técnica más usada pero debido a su imprecisión sólo nos muestra la posible existencia de agujeros negros. Es gracias a esta técnica que nos atrevemos a decir que parte de las galaxias tienen un agujero negro súper masivo en su interior.

5. Agujeros al centro de las galaxias

Según la información disponible los astrónomos dicen que solo en nuestra galaxia probablemente existan millones de agujeros negros. El agujero negro más cercano lo encontramos a unos 1600 años luz, y gracias a la tecnología y técnicas hoy podemos afirmar que nuestra galaxia posee un agujero negro súper masivo en su centro, ubicado a 30.000 años luz, cuya existencia se confirmó en el año 2000.

5.1. Descubrimientos importantes

En 1995 un equipo de investigadores de la UCLA (Universidad de California, Los Ángeles) al mando de Andrea Ghez, mediante simulación por ordenadores, consideró la posibilidad de que existan agujeros negros en el núcleo de las galaxias.

En octubre del año 2002, un grupo del Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik, observó durante 16 años estrellas que orbitaban una fuente de emisión de rayos x en el centro de nuestra galaxia, denominado *Sagitario A**, obtuvieron pruebas de que se trataba de un objeto muy masivo y compacto. Las observaciones realizadas por este equipo mostró que la masa del objeto es aproximadamente 3,7 millones de masa solar concentrada en un radio no mayor de 45 *ua*. Evidenciaban la existencia de un agujero súper masivo al centro de la Vía Láctea.

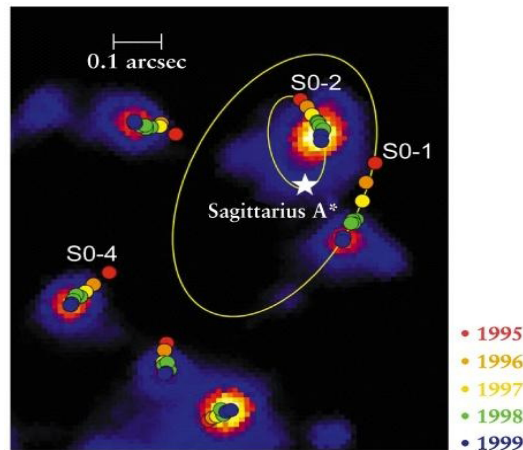


Figura 4: Este diagrama muestra los movimientos de varias estrellas en torno a SgrA*

En el 2004 astrónomos descubrieron $Q0906 + 6930$, un agujero negro súper masivo en el centro de una galaxia a unos 12.700 millones de años luz.

En el 2007 se descubrió $IC10X - 1$ un agujero de masa estelar, se encuentra en la galaxia enana IC 10 situada a una distancia de 1,8 millones de años luz de la Tierra, posee una masa de entre 24 y 33 masas solares.

En abril de 2008, la revista Nature publicó un estudio realizado en la Universidad de Turku el cual mostraba el descubrimiento de un sistema binario llamado $OJ287$, en la constelación de Cáncer. Constituido por un agujero negro menor que orbita en torno a otro mayor, cuya masa total es 18.000 millones de masas solar.

Y así innumerables descubrimientos han enriquecido lo que sabemos de los agujeros negros, gracias a estos descubrimiento conocemos el comportamiento y las características de este tipo de eventos.

El 28 de marzo del 2011, NASA's Swift's Burst Alert Telescope descubrió una serie de poderosas explosiones de rayos x, lo primero que apareció en sus mentes fue que habían encontrado un nuevo agujero negro, cercano al agujero negro súper masivo del centro de una galaxia a casi 4 mil millones de años luz de distancia. Hoy día saben que se trata de la destrucción de una estrella que se sumerge en el interior del agujero negro.

En junio del 2011 el Observatorio Geodésico Integrado Transportable (TIGO), participo en mediciones que permitieron localizar el agujero un agujero negro supermasivo más cercano a nuestra galaxia, se logró captar una imagen gracias a las observaciones conjuntas de radios telescopios usando interferometría, cada instrumento observó simultáneamente la misma fuente de radiación, luego gracias a toda la información conjunta se obtiene la imagen con la máxima resolución posible hasta hoy, esto fue posible gracias a esta técnica (interferometría) la cual logra que todos los receptores actúen como único radiotelescopio con diámetro similar al planeta tierra.

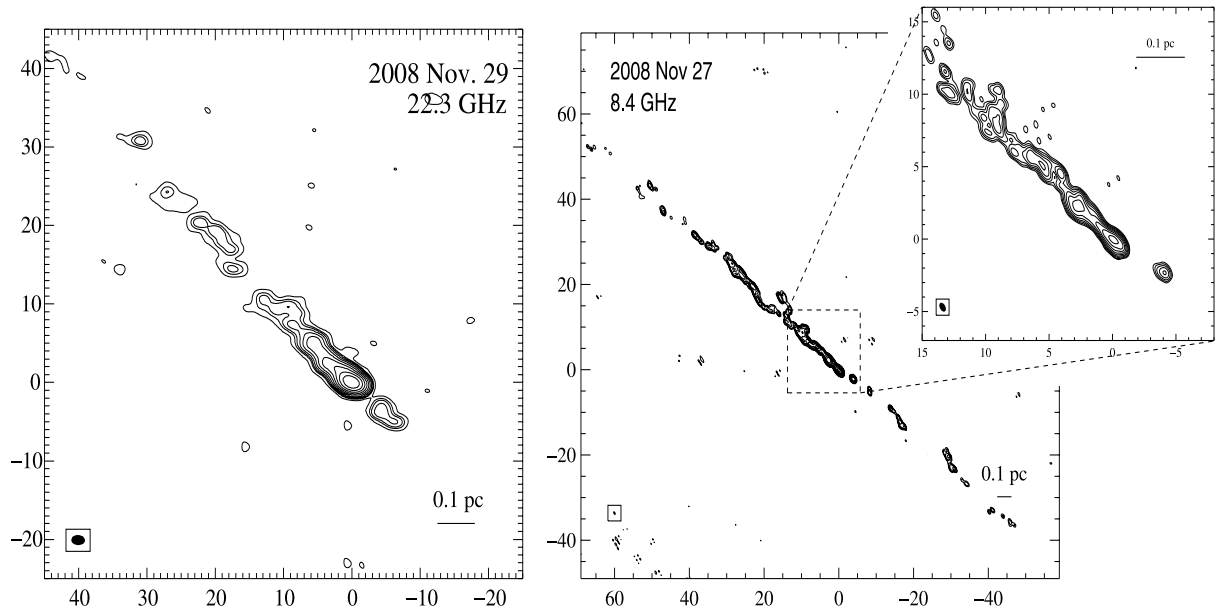


Figura 5: Datos obtenidos en el 2008

Este agujero negro supermasivo posee una masa aproximada de 55 millones la de nuestro sol, está ubicado en la galaxia Centauro solo a 12 millones de años luz de la tierra.

A finales de agosto del 2011 la NASA publica que se ha encontrado un par de agujeros negros supermasivos cercanos al centro de la galaxia espiral NGC 3393 todo esto fue posible gracias a NASA's Chandra X-ray Observatory. Este observó una difusa emisión de rayos X cercana al centro de la galaxia. Este tipo de evento se convierte en el más cercano a la tierra en esta categoría, y los encontramos a solo 160 millones de años luz.

Estos agujeros negros están separados el uno del otro por tan solo 490 años luz y se cree que este fenómeno forma parte de la fusión de dos galaxias de tamaños distintos.

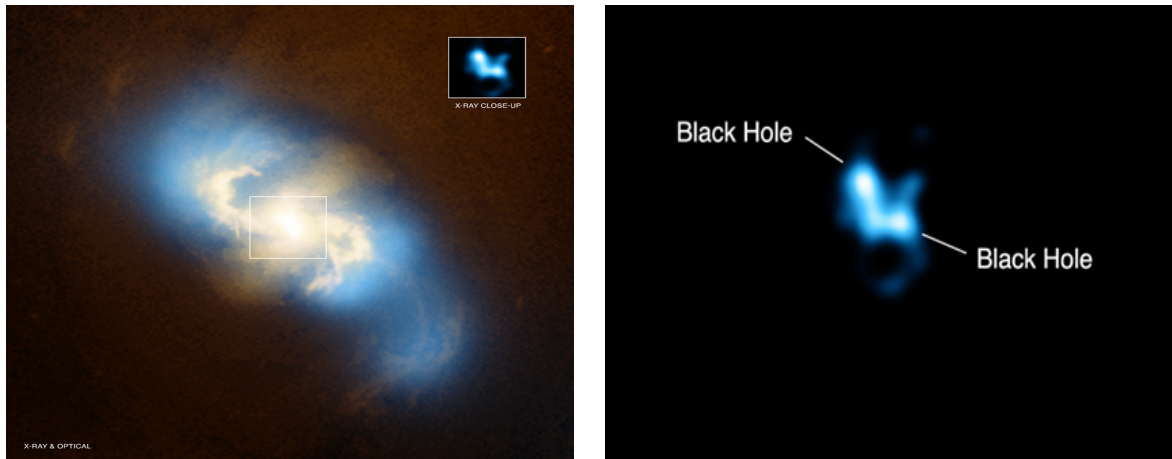


Figura 6: Par de agujeros supermasivos al centro de la galaxia NGC 3393

5.2. Agujeros negros primordiales

5.2.1. ¿Que es un agujero negro primordial?

Es un agujero negro que no se formó con la muerte de una estrella debido al colapso gravitatorio sino más bien se formó al comienzo del universo.

5.2.2. Publicación Dr. Ezequiel Treister

Inmediatamente después que ocurre el Big Bang las condiciones, ya sean la temperatura, la presión, fueron bastante elevadas, creando de esta manera un nido ideal para el nacimiento de agujeros negros estables que perduran hasta hoy.

Hasta hace un tiempo esta afirmación, no era más que una teoría la cual no había podido ser demostrada, no fue hasta en junio del 2011 gracias a el Dr. Ezequiel Treister, actual docente de la Universidad de Concepción, Chile que nos brinda fundamentos concretos de que así ha de ser.



Figura 7: Agujeros supermasivos en galaxias lejanas

En el documento publicado en la revista nature titulado "El crecimiento de agujeros negros en el universo temprano es autorregulado y en gran parte oculto de la vista", el Dr. Ezequiel Treister comenta que la formación de agujeros negros supermasivos en el universo temprano no pueden ser observado directamente, sin embargo conocer este tipo de información es primordial para explicar la evolución de las galaxias. La técnica usada para obtener datos consistía en juntar objetos indetectables individualmente pero que en conjunto son detectables por los receptores de rayos x.

Este descubrimiento se basó en observaciones hechas a un número de 200 galaxias cuya luz se emitió hace 950-800 millones de años. Las galaxias observadas fueron las más distantes conocidas, detectadas por la cámara Wide Field a bordo del telescopio espacial Hubble.

Se observaron estas galaxias en conjunto pues eran masivas pero aún poco visibles pues están compuestas por densas nubes de polvo y gas, pero se esperaba que ellas alberguen agujeros negros supermasivos.

Los resultados obtenidos implican que los agujeros negros están presentes desde los primeros tiempos y que crecen en conjunto con la galaxia que los contiene.

Las primeras observaciones comenzaron poco después del lanzamiento del telescopio espacial Chandra, hoy se estima que hay al menos unos 30 millones de estos objetos en el universo temprano.

Hasta ahora no teníamos idea qué estaban haciendo los agujeros negros masivos en las galaxias lejanas o incluso si existían...Ahora sabemos que existen y que están creciendo a toda velocidad.

(EZEQUIEL TREISTER)

Referencias

- [1] Stephen Hawking, *Agujeros Negros y Pequeños Universos y otros Ensayos*
- [2] [http : //www.nasa.gov/topics/universe/index.html](http://www.nasa.gov/topics/universe/index.html), *NASA's Chandra Finds Massive Black Holes Common in Early Universe*, 2011
- [3] [http : //www.nasa.gov/topics/universe/index.html](http://www.nasa.gov/topics/universe/index.html), *NASA's Swift Sees Star Gobbled Up by Black Hole*, 2011
- [4] [http : //www.nasa.gov/mission_pages/chandra/multimedia/photo - H - 11 - 278.html](http://www.nasa.gov/mission_pages/chandra/multimedia/photo-H-11-278.html), *Spiral Galaxy NGC 3393*, 2011
- [5] Albert Einstein, *El significado de la relatividad*