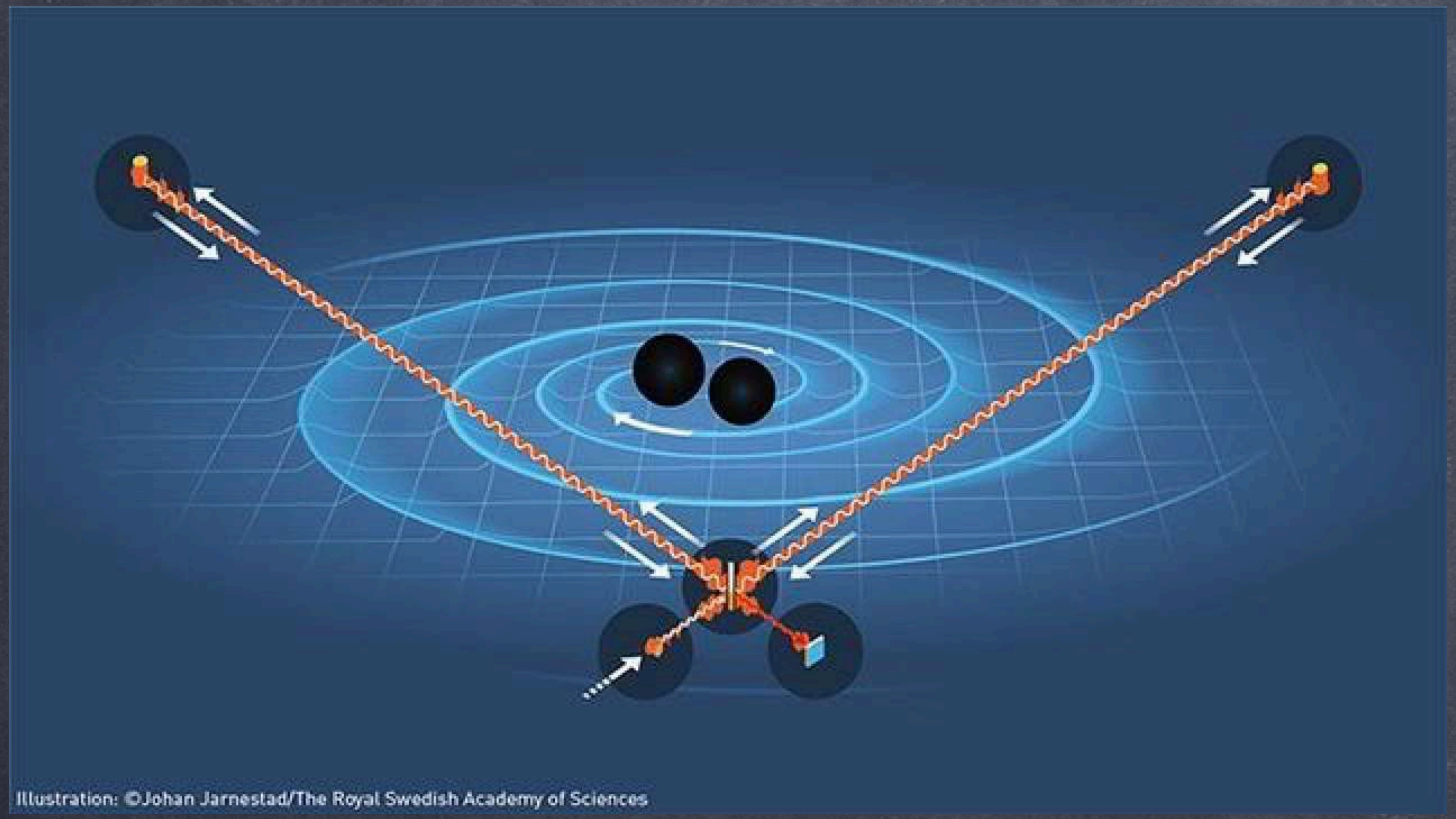
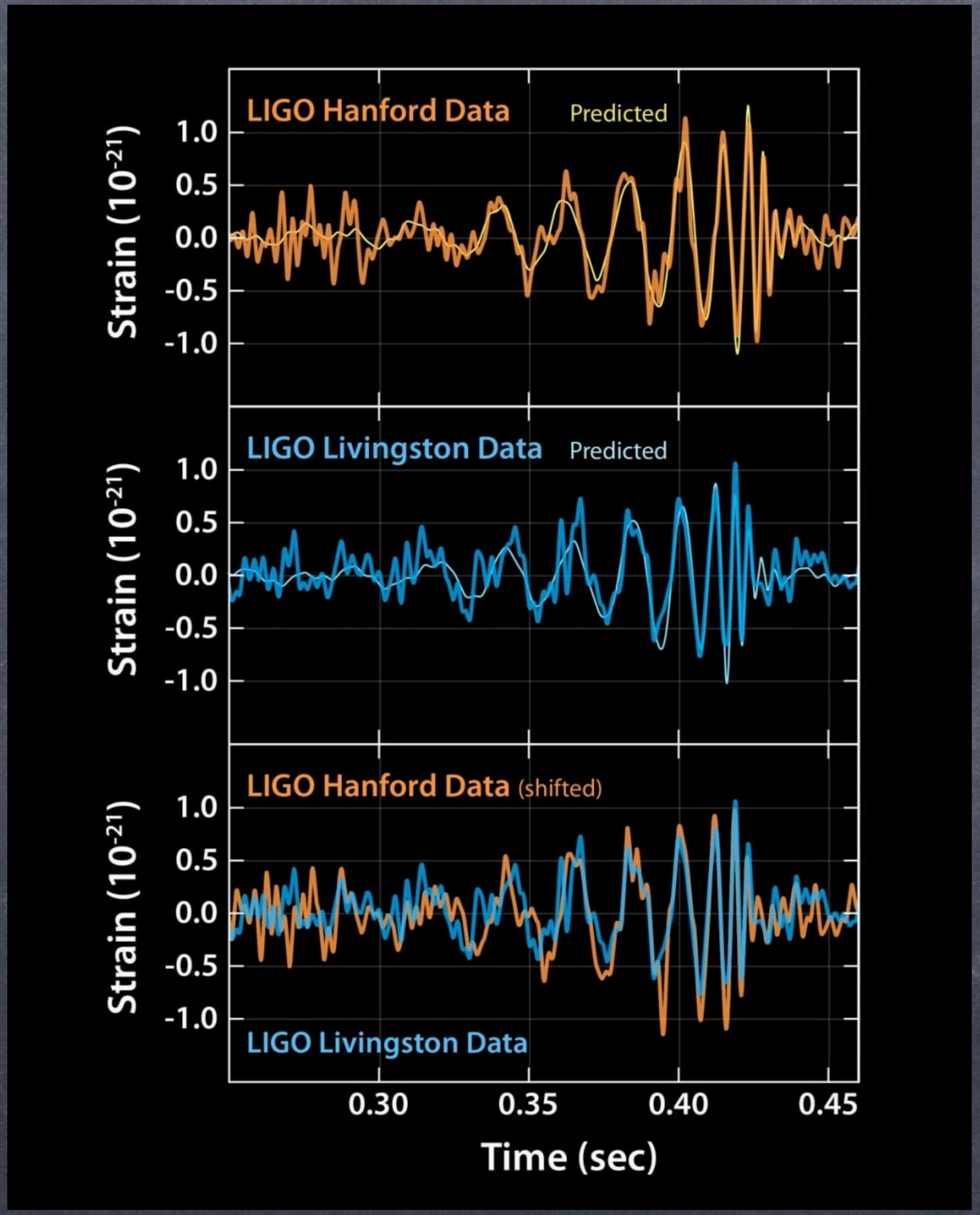
Sombra de Agujeros Negros

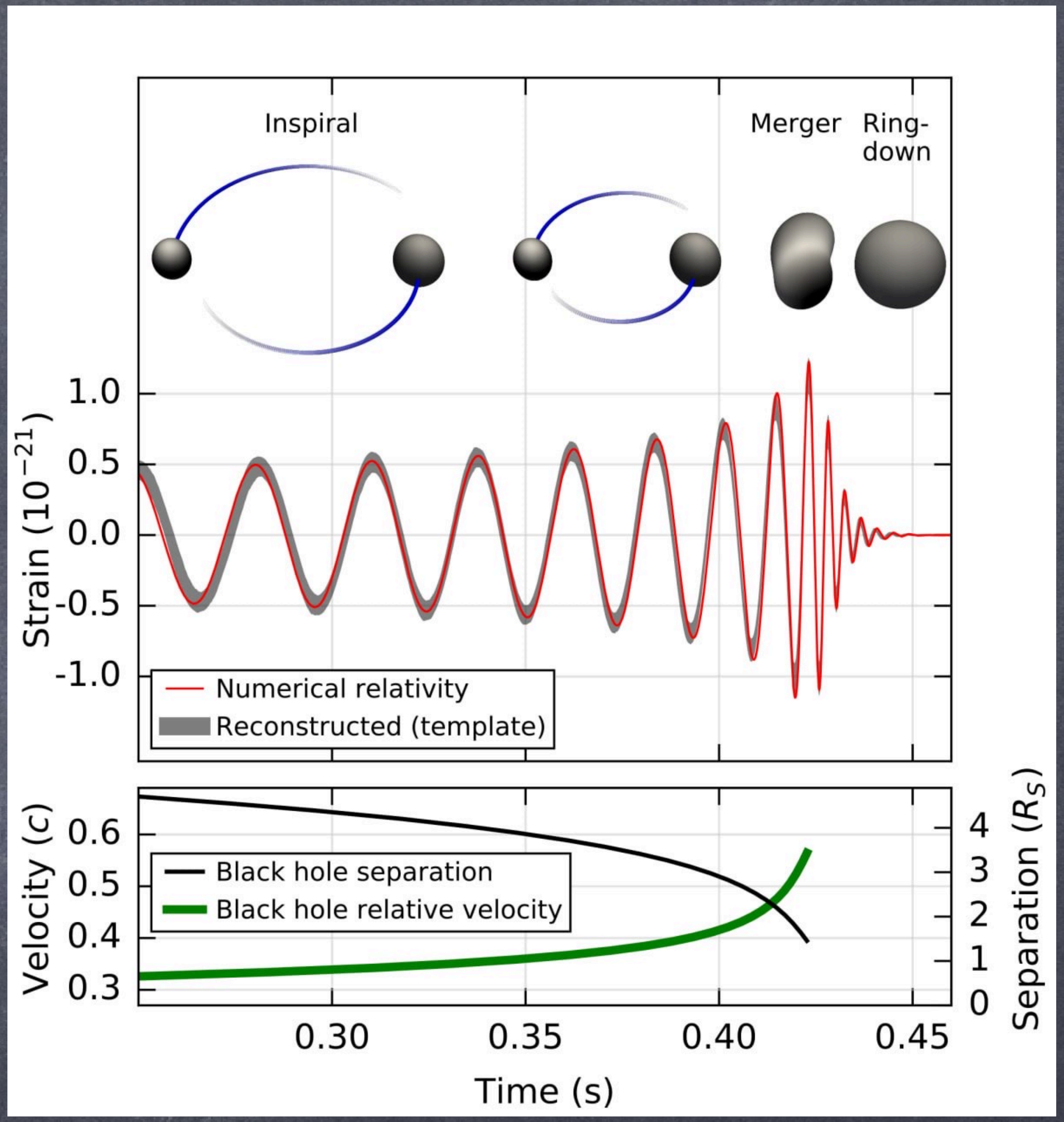
Gustavo Gutierrez-Cano

MEXICOPAS 2023

Primera evidencia directa



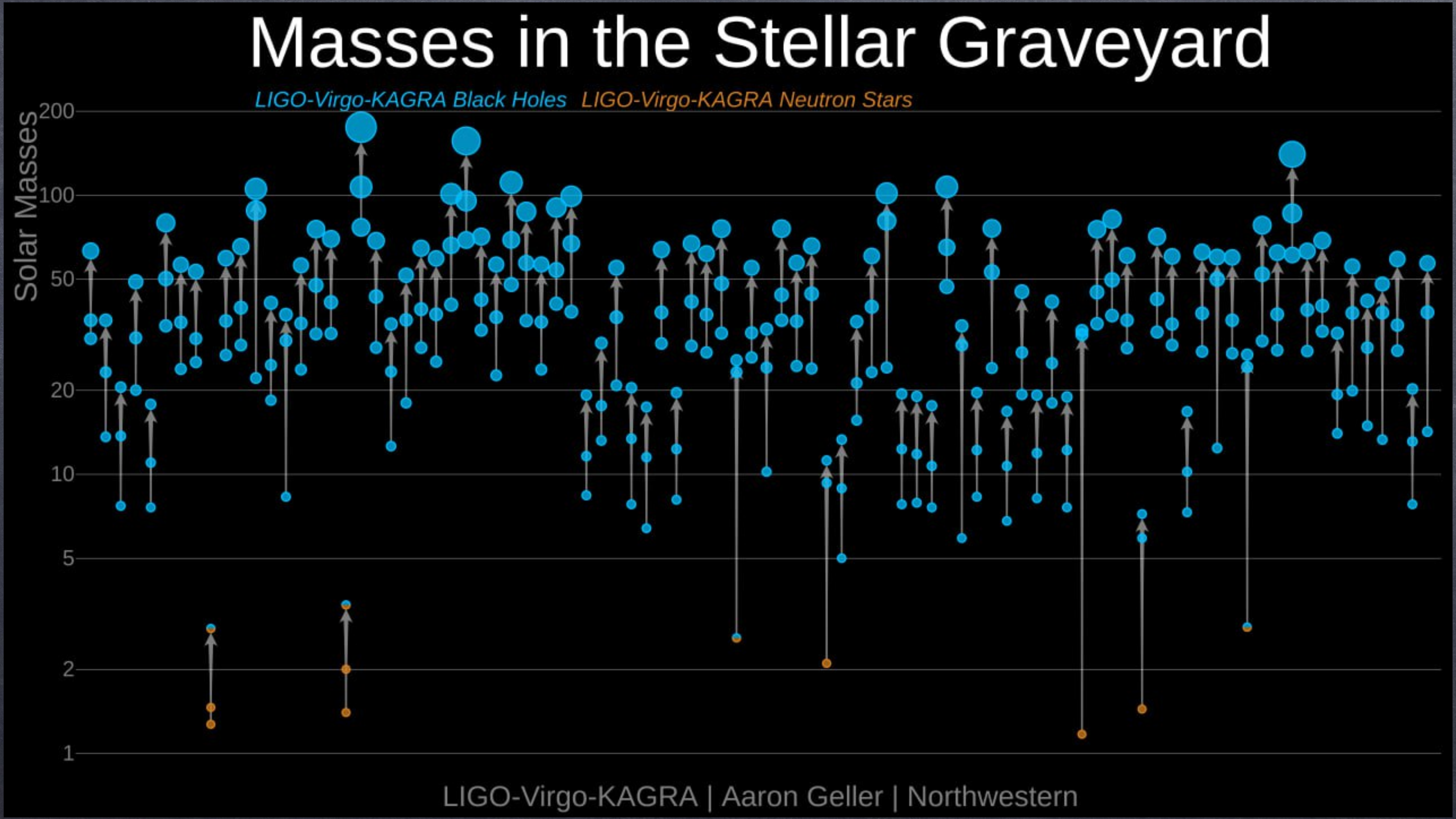




R. Abbott, et. al. (2015)

R. Abbott, et. al. (2015)

Más evidencias...

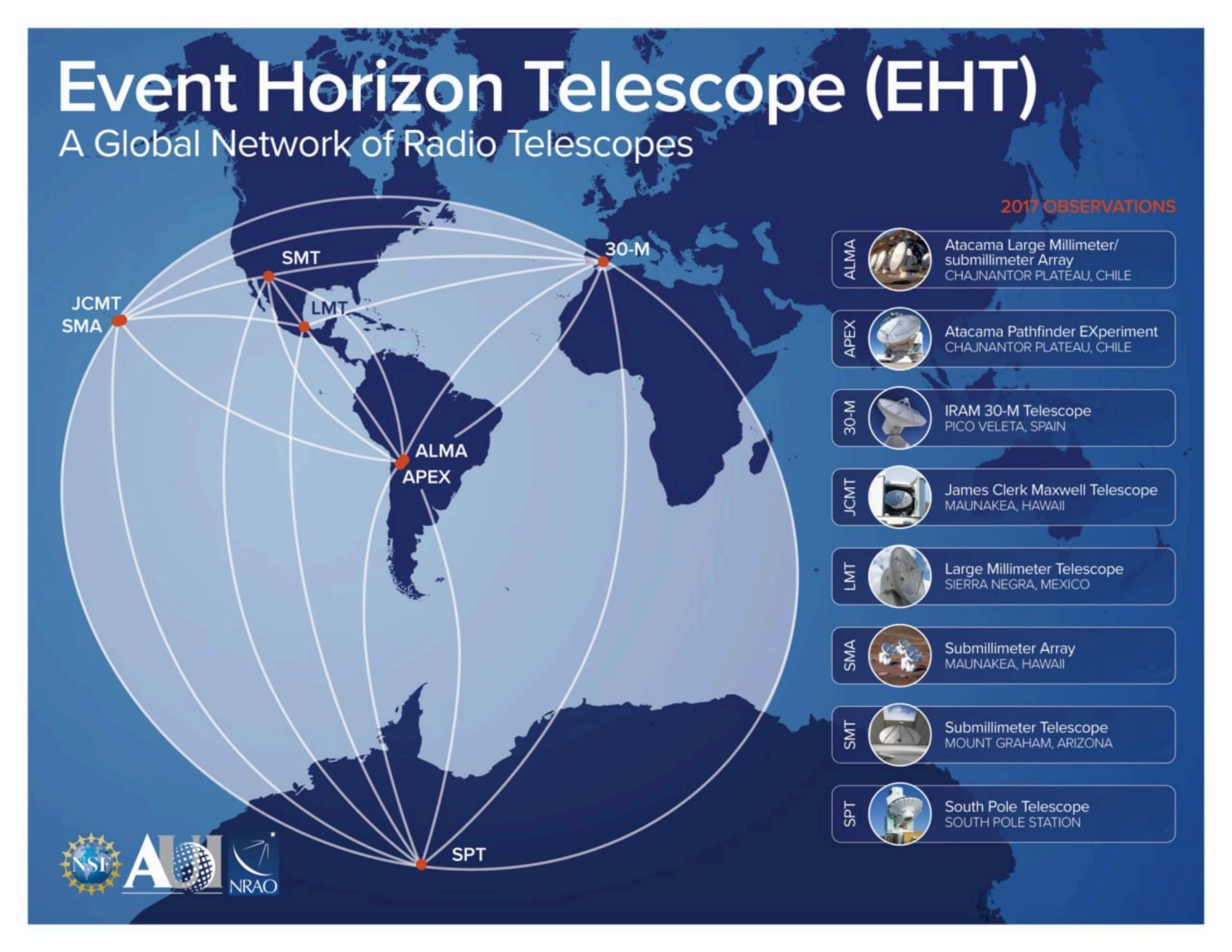


Las primeras simulaciones

J. Luminet, (1979)

O. James, et. al. (2015)

Event Horizon Telescope

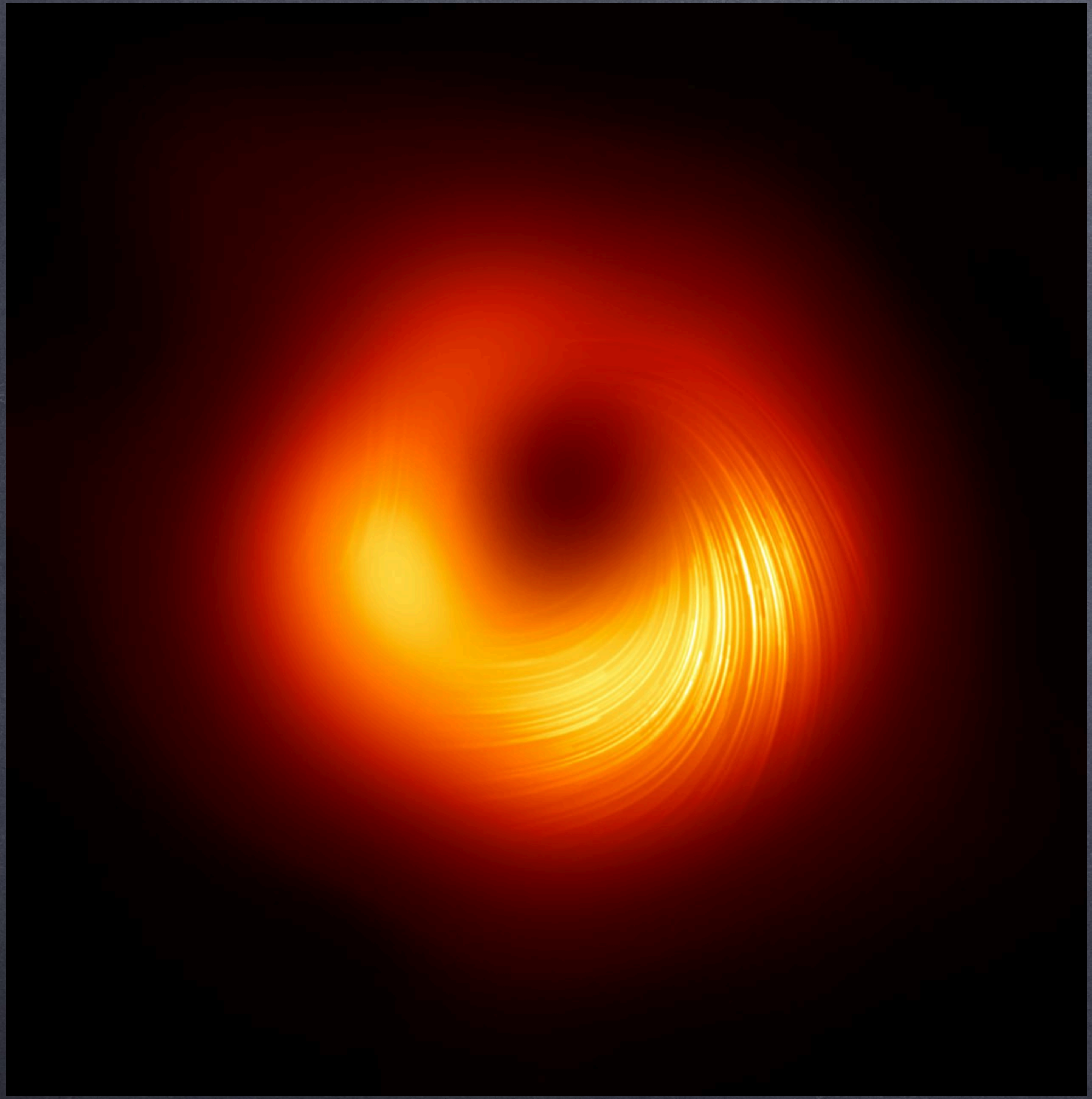


Resolución: $25\mu as$.

Observaciones: 5, 6, 10 y 11 de abril de 2017.

Credit: NRAO/AUI/NSF

Fotografía de M87*. Abril 10, 2019



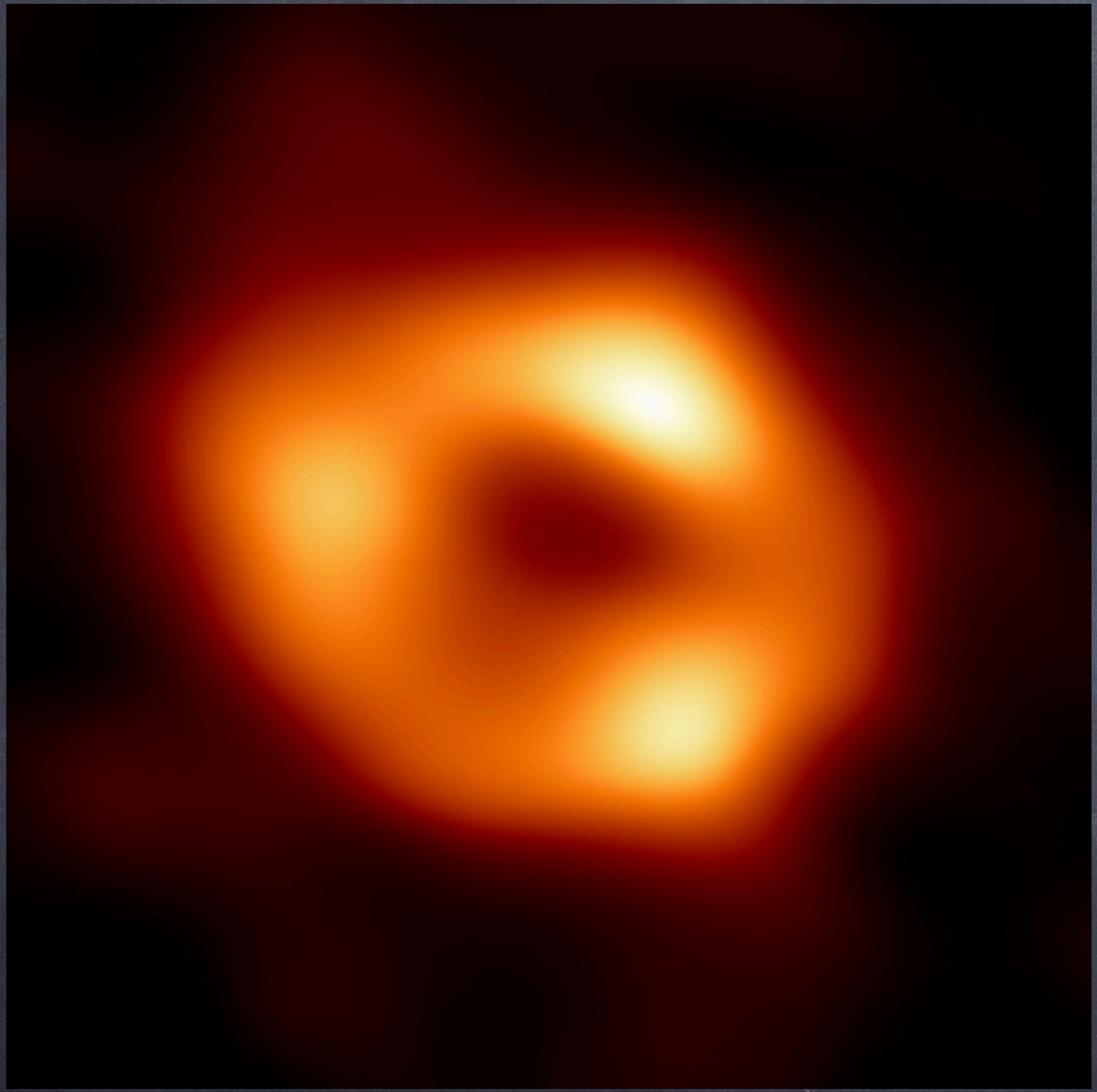
Credit: EHT Collaboration

Masa: 6.5 miles de millones de masas solares.

Radio de la sombra: 19 mil millones de kilómetros.

Distancia: 53 millones de años luz.

Fotografía de Sgr A*. Mayo 12, 2022



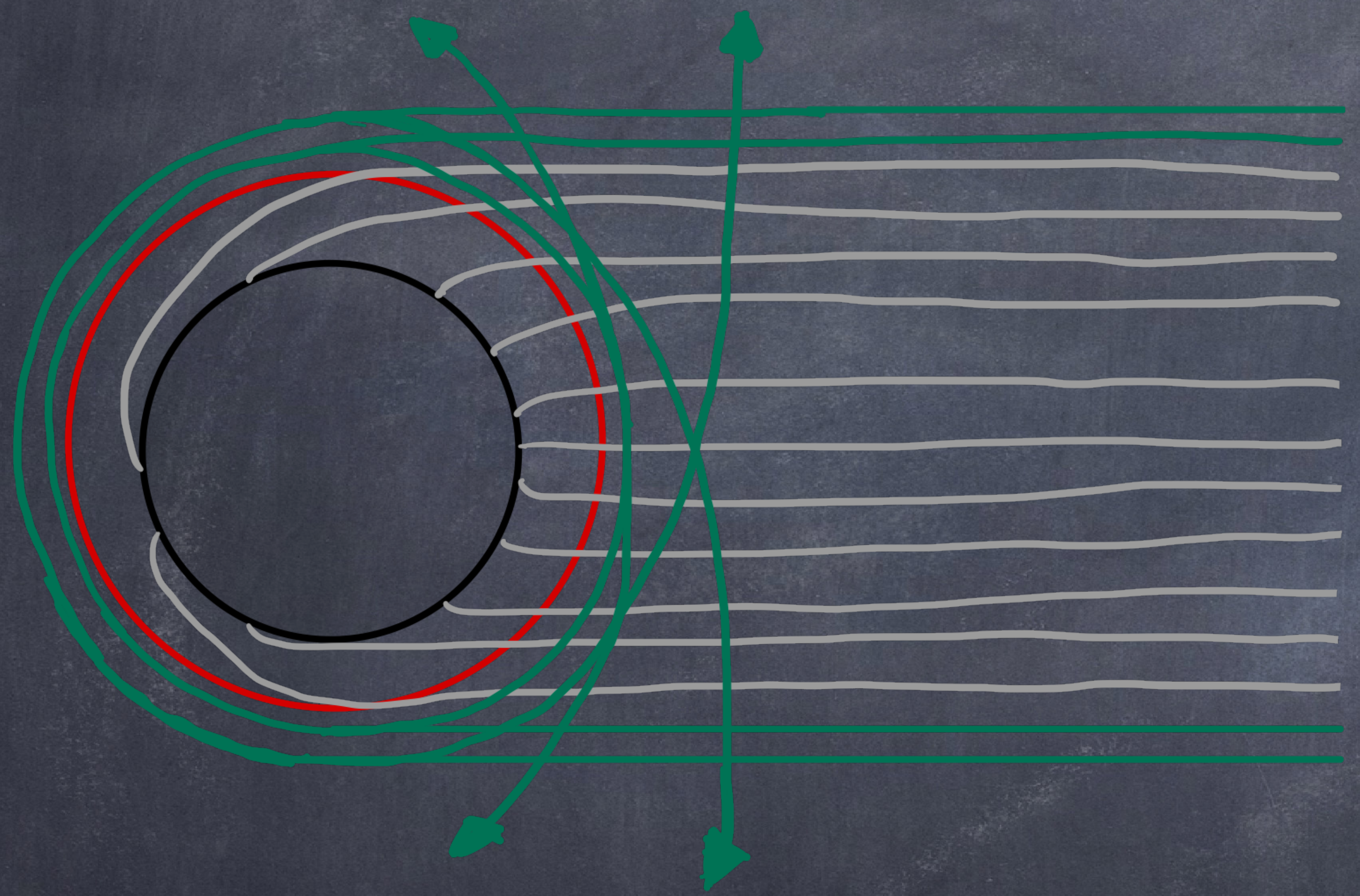
Credit: EHT Collaboration

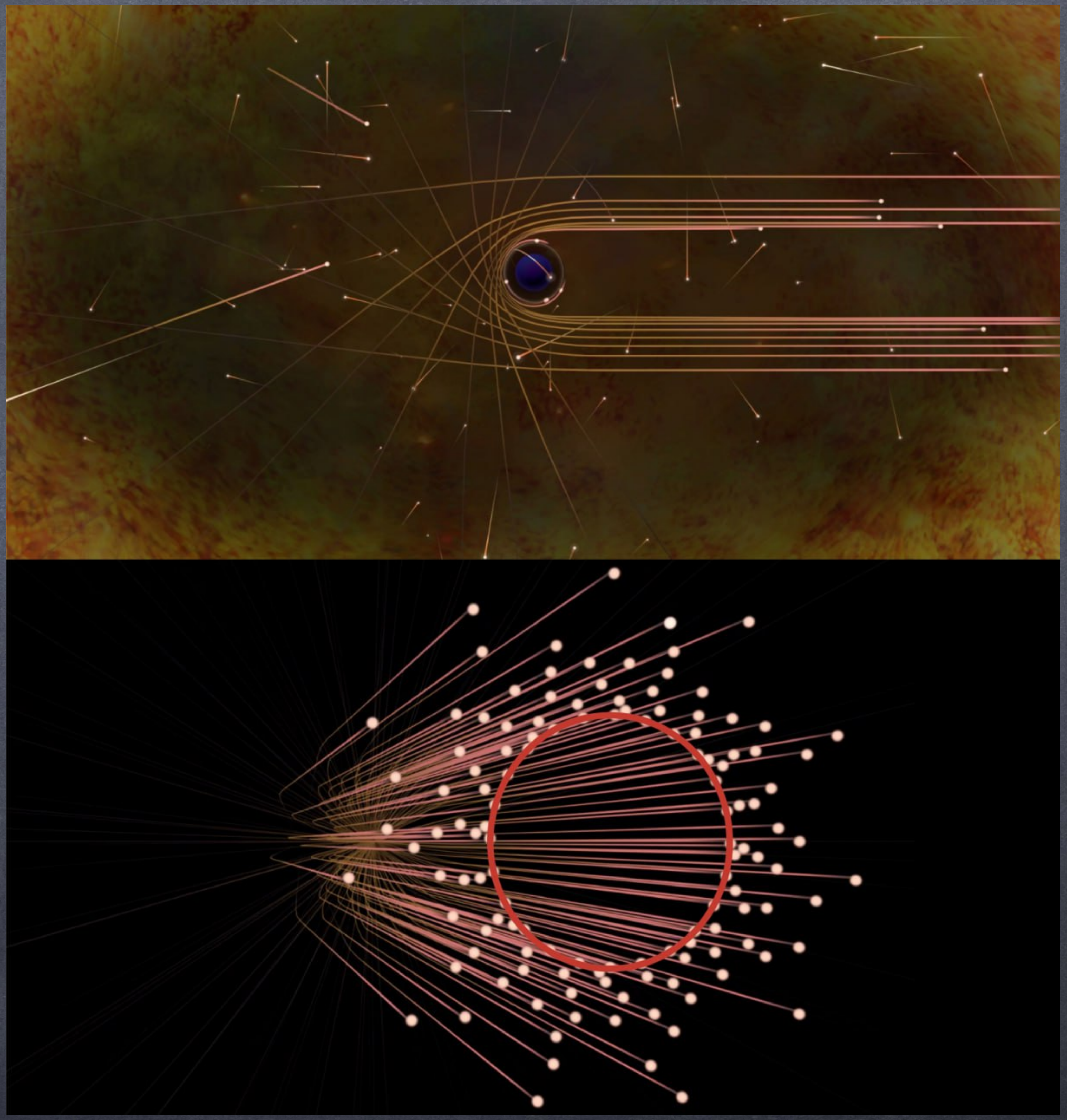
Masa: 4.15 millones de masas solares.

Radio de la sombra: 12.3 millones de kilómetros.

Distancia: 25900 años luz.

¿Qué es la sombra?





Credit: Nicolle R./NSF

¿Cómo se determina la sombra?

Solución de Agujero Negro

Parámetro de Impacto

Mov. de Partículas de Prueba (Fotones)

Coordenadas Celestiales

Movimiento de Partículas de Prueba

Consideremos una solución estática con simetría esférica

$$ds^2 = -\frac{K(r)}{r^2}dt^2 + \frac{r^2}{K(r)}dr^2 + r^2 d\theta^2 + r^2 \sin^2\theta d\phi^2$$

Plano ecuatorial $\theta = \pi/2$, planteamos el lagrangiano de la partícula de prueba $\mathscr{L} = \frac{1}{2} g_{\mu\nu}\dot{x}^\mu \dot{x}^\nu$,

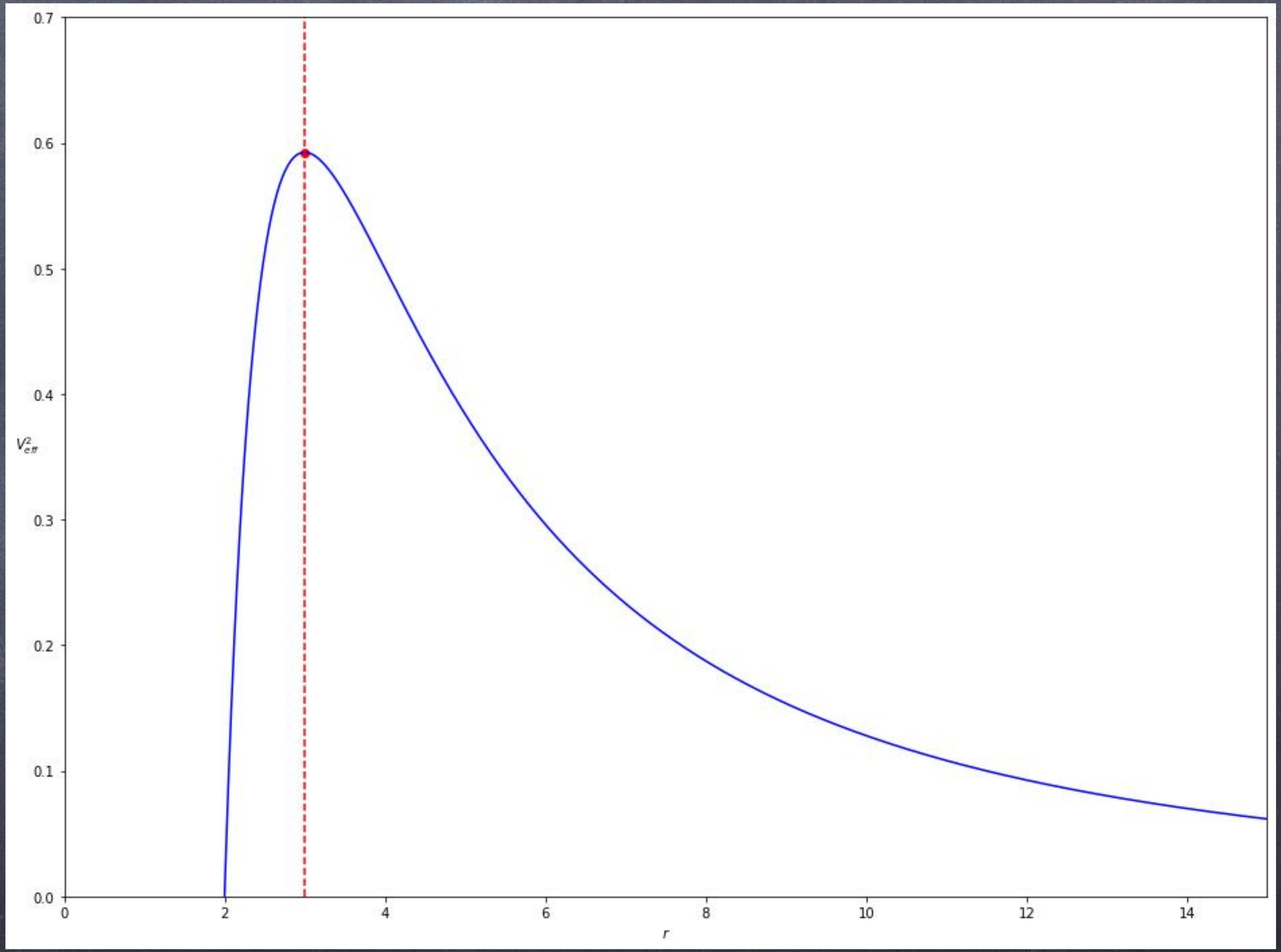
$$\dot{t} = \mathscr{E}\frac{r^2}{K(r)}, \qquad \dot{\phi} = \frac{l}{r^2}$$

La ecuación geodésica se escribe como

$$\dot{r}^2 = \mathscr{E}^2 - \left(\frac{l^2}{r^2} - \delta\right)\frac{K(r)}{r^2} = \mathscr{E}^2 - V_{eff}^2(r)$$

Potencial Efectivo de fotones, $\delta = 0$

$$V_{eff}^2(r) = \frac{l^2}{r^4}K(r)$$

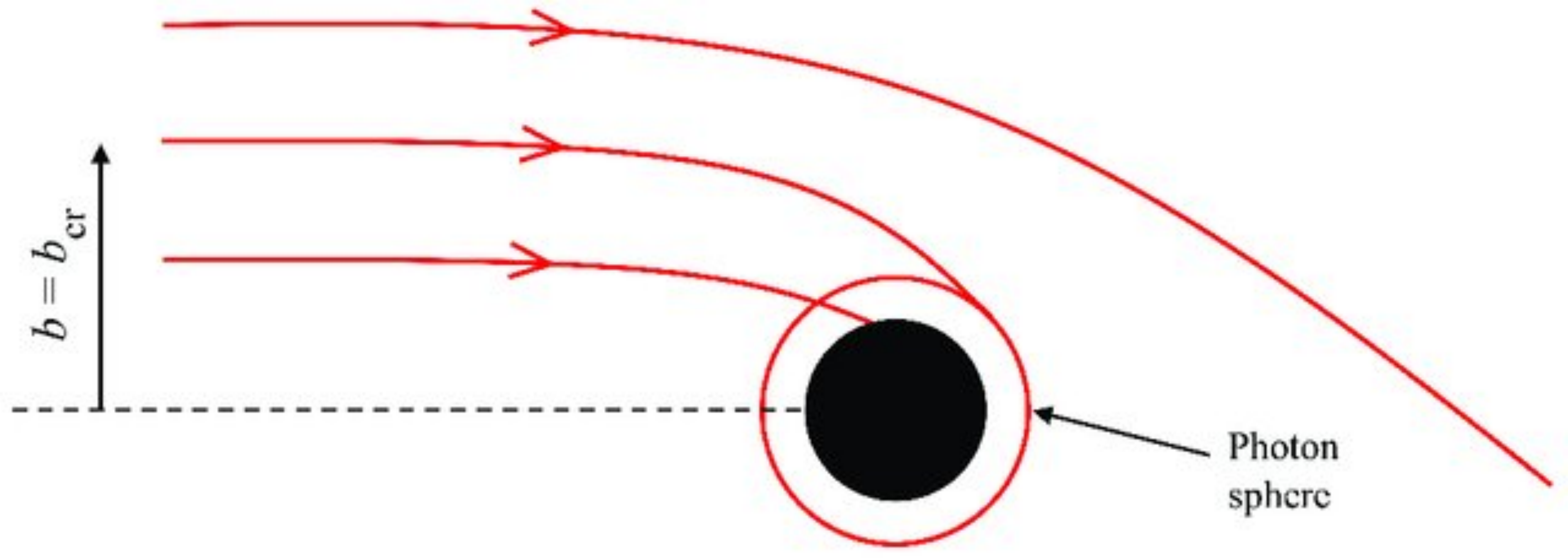


Parámetro de Impacto

El un punto de retorno se tienen las condiciones

$$\dot{r}^2 = \mathcal{E}^2 - \frac{l^2}{r_c^4}K(r_c) = 0,$$

$$b_c^2 = \frac{l^2}{\mathcal{E}^2} = \frac{r^4}{K(r_c)}.$$



G. S. Bisnovatyi-Kogan y O. Y. Tsupko (2017)

Se obtiene una sección eficaz

$$\sigma = \pi b_c^2 .$$

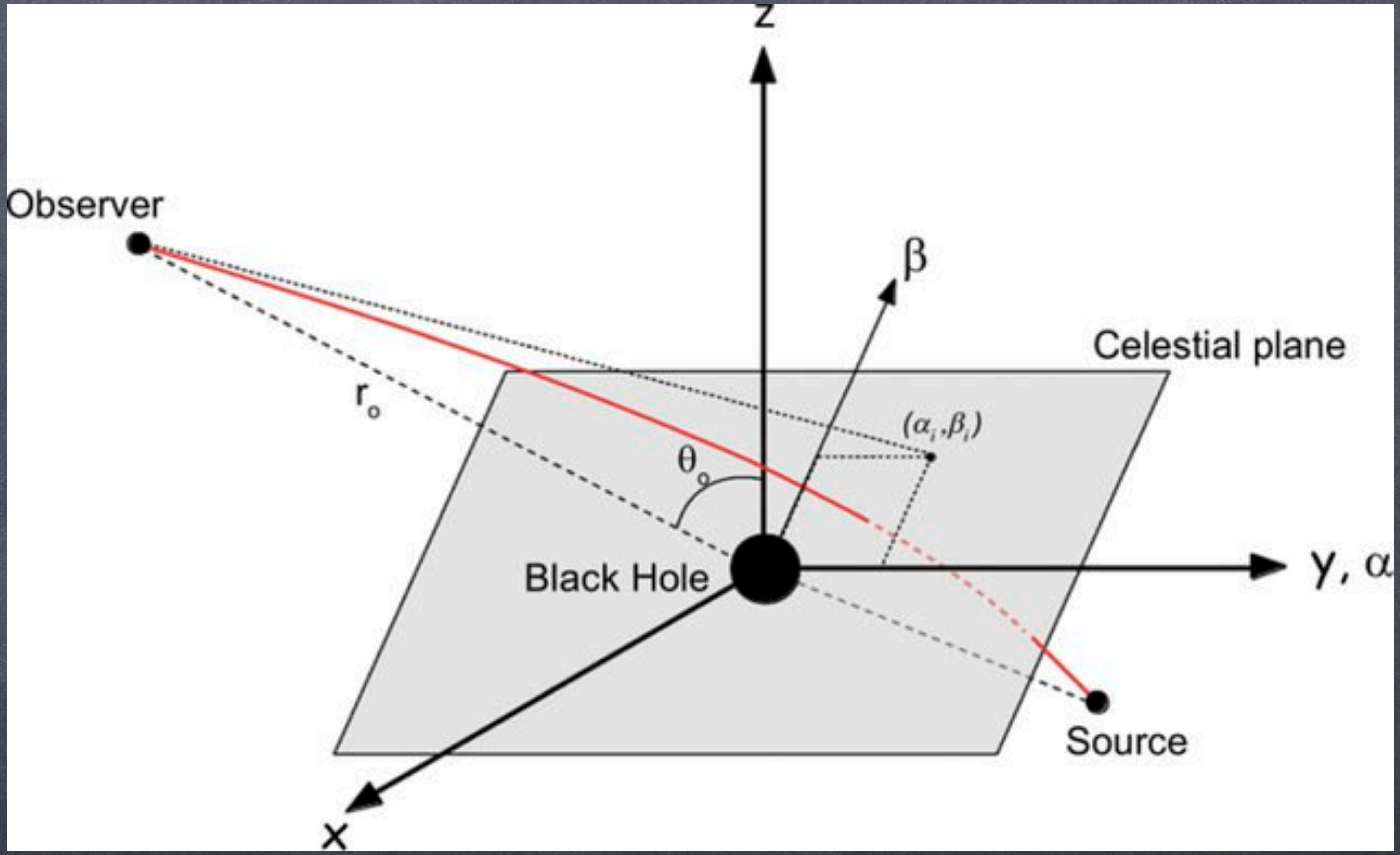
Radio de la foto-esfera

$$\frac{d}{dr}V_{eff}^2(r_c) = 0$$

Coordenadas Celestiales

$$\alpha = lim_{r_0\to\infty}\left(-r_0^2 \sin\theta_0 \frac{d\phi}{dr}\bigg|_{\theta=\theta_0}\right),$$

$$\beta = lim_{r_0\to\infty}\left(r_0^2 \frac{d\theta}{dr}\bigg|_{\theta=\theta_0}\right).$$

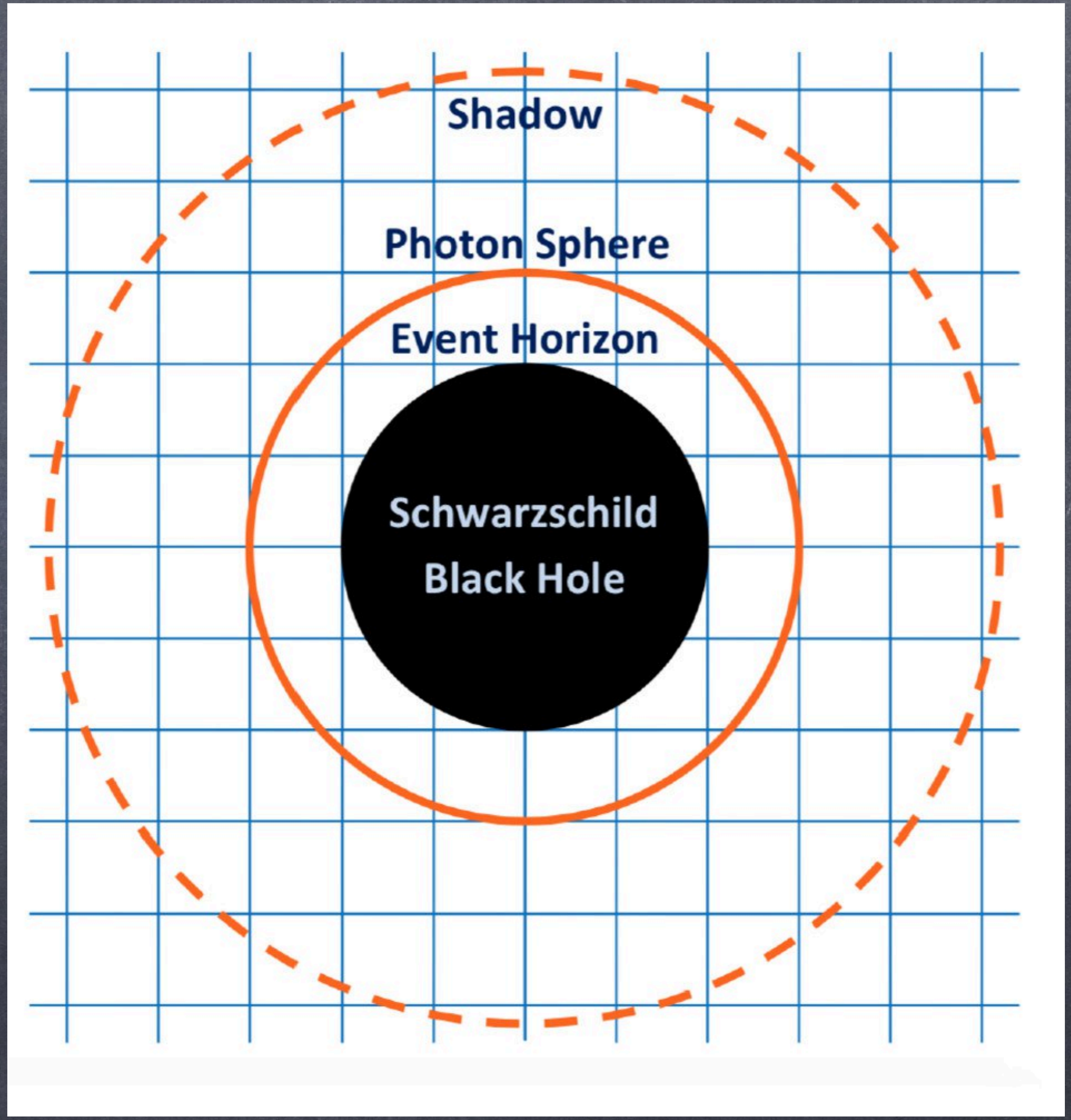


A. Das, et. al. (2022)

Forma de la sombra

Se encuentra la siguiente relación

$$\alpha^2 + \beta^2 = R_s^2 = b_c^2 \, .$$



G. S. Bisnovatyi-Dogan, et. al. (2019)

Notebook

https://colab.research.google.com

https://github.com/GurssGC/MEXICOPAS2023