

MEDICIÓN ASTROMÉTRICA DE LA DEFLEXIÓN DE LA LUZ ESTELAR



MODERN EDDINGTON EXPERIMENT 2027

La luz de las estrellas revela
la curvatura del espacio-tiempo

CÁDIZ · TUNEZ / 2027

GAIA + CMOS + MEE2024

1.75''

PREDICCIÓN DE EINSTEIN

< 0.05''

OBJETIVO DE INCERTIDUMBRE

GAIA + CMOS

CALIBRACIÓN ASTROMÉTRICA

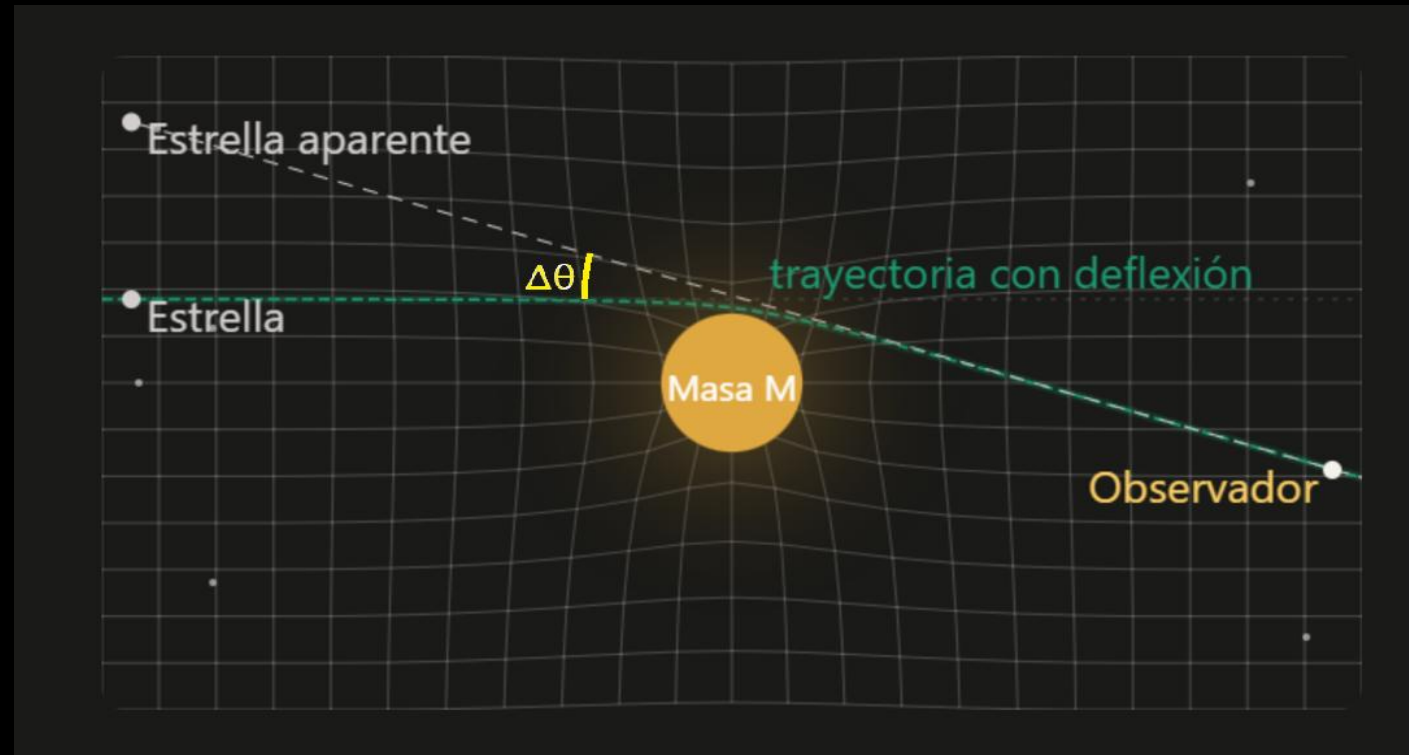


Objetivo: Validación de la Relatividad General

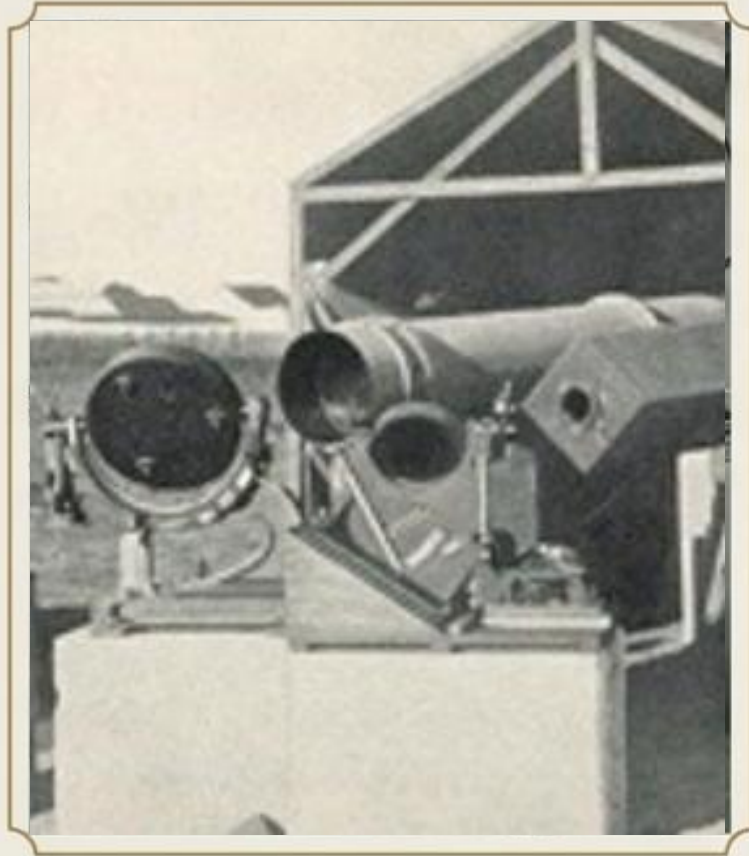
La misión es medir la deflexión gravitacional de la luz estelar (1.75 segundos de arco en el limbo solar) con una incertidumbre menor a 0.05".

- Superar la precisión histórica de 1919 y los hitos recientes de 2017 (Donald Bruns).
- Confirmar la Ley de Deflexión de Einstein utilizando tecnología de sensores modernos.
- Ley de deflexión gravitacional de Einstein
$$\Delta\theta = \frac{4 G M_{\odot}}{R_{\odot} c^2} \left(\frac{1}{R} \right) = L \left(\frac{1}{R} \right) = 1.75'' \left(\frac{1}{R} \right)$$

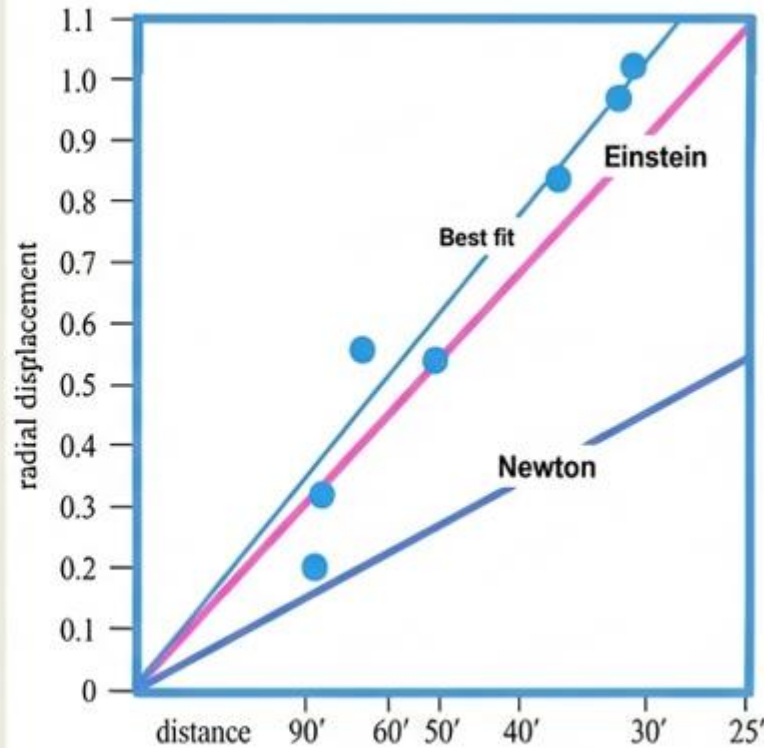
La cuadrícula deformada representa el espacio-tiempo curvo.
La línea verde es la trayectoria real de la luz.



1919: La Confirmación Histórica



El Equipo: Lentes astrográficas de 13 pulgadas. Equipos grandes, estáticos y difíciles de calibrar.



El Resultado: A pesar de la escasez de datos, la medición se acercó a la predicción de Einstein.

La Expedición: Eddington y Dyson viajaron a Príncipe (África) y a Sobral (Brasil).

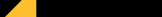
Solo 7 estrellas utilizables en 2 placas de calidad.

Este resultado catapultó a Einstein a la fama mundial, aunque los datos eran escasos.

Nueva metodología (MEE)

Propuesta de Donald G. Bruns (2017)

Medidas de las posiciones de las estrellas en la imagen del eclipse



COMPARAR

**Coordenadas de catálogos
corregidas a la fecha**

[illegible]

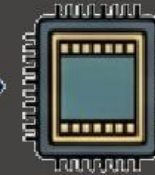
La Revolución Tecnológica en Astrometría

Then

Now (2017)



Placas de Vidrio
(Deformación y granulación)



Cámaras CMOS
(Geometría fija y alta sensibilidad)

Then

Now (2017)



Microdensitómetros
analógicos



Software de Centroide y procesamiento de imágenes
(Precisión de 0.01 píxeles)

Then

Now (2017)



Mediciones manuales
(meses de diferencia)



Catálogos Satelitales
(Gaia/URAT1 con precisión de microsegundos)

Motivación

1. Investigación previa
Tras un par de años trabajando en el tema, contactamos con Donald G. Bruns para aclarar determinados aspectos sobre su metodología.
2. Conexión
Nos pone en contacto con el grupo MEE2027.
3. Comunidad internacional
Se trata de un grupo internacional que ya habían intentado el 'Modern Eddington Experiment' con anterioridad.

MEE2027

DEL AUTOESTUDIO
A LA COLABORACIÓN

Modern Eddington Experiment

- 1.** **Coordinación 2024**
Se crea un grupo de correo en groups.io para coordinar la metodología a seguir y realizar el experimento en distintas localizaciones.
- 2.** **Software común**
Se desarrolla un software para el análisis de imágenes y procesamiento de los datos.
- 3.** **Resultados**
Dos publicaciones recogen el experimento, sus resultados y conclusiones.

PUBLICACIONES

Dittrich W., Berry R., Bruns D, and Carrell K, “Modern Eddington Experiment 2024 (MEE2024)”, Bulletin of the AAS, March 2024.

Dittrich W. et al. “Modern Eddington Experiment 2024: Results and Conclusions”, Bulletin of the AAS, February 2025.

2024

UN MÉTODO COMPARTIDO

Grupo MEE2027

Objetivo 2027

Actualmente este grupo sigue trabajando para repetir el experimento en 2027

<https://groups.io/g/MEE2027>

Red internacional

EEUU, Inglaterra, Portugal, Francia, India, España

Comunidad diversa

Incluye tanto gente del entorno aficionado como del entorno profesional y universitario (incluyendo estudiantes)

Observación distribuida

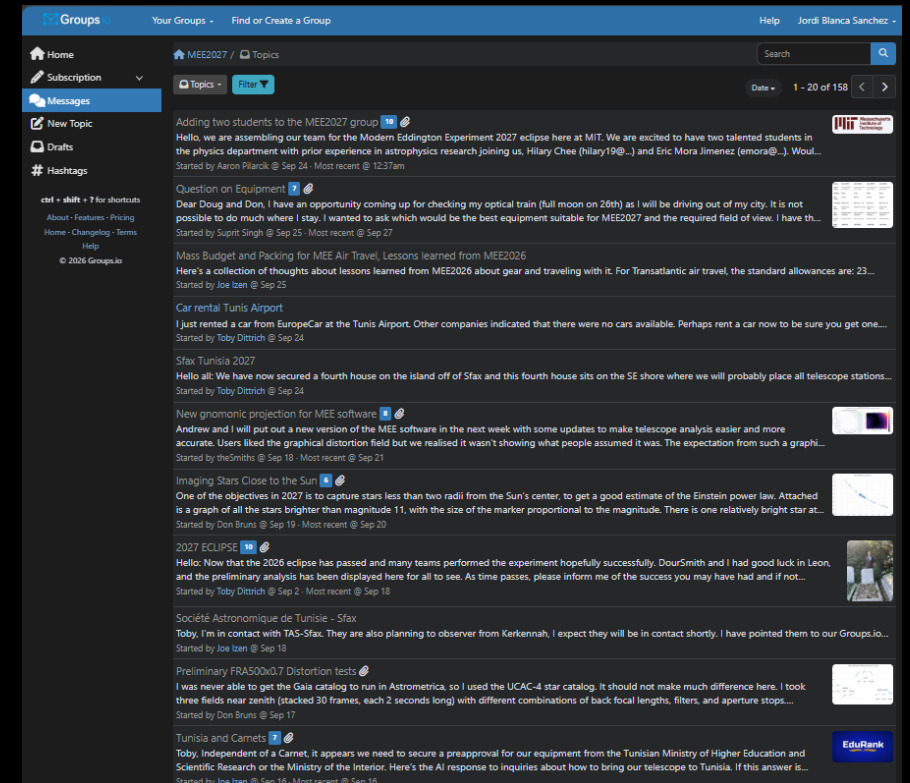
Distintas ubicaciones para la adquisición de datos en el eclipse

Análisis común

Un único software para el análisis de los datos

Colaboración activa

Intercambio activo de información en plataforma groups.io con meetings periódicos.



Ámbitos de participación

1. Adquisición de imágenes

DE CALIBRACIÓN

- Cenitales: en las noches anteriores o posteriores al eclipse
- Izquierda y derecha: durante el eclipse

DEL ECLIPSE

Captura del campo durante el evento

2. Procesado y análisis de datos

CENTROIDES

- Localización de centroides y 'plate solver'

CORRECCIONES

- Correcciones astronómicas

CALIBRACIÓN

- Cálculo de las constantes de placa (calibración de la medida)

RESULTADO

- Cálculo de constante de deflexión (L)

CAPTURAR · CALIBRAR · CORREGIR · MEDIR

Adquisición de las imágenes (Equipo)

	A	B	C	D	E	G	H	I	J	N	O	P
1	Year	Telescope	Focal length	True aperture	F-ratio	Camera	Pixel size	Width	Height	Image scale	Resolution *	Single frame FOV
2			mm	mm			micron	pixels	pixels	arcsec/pixel	arcsec	arcmin
3												
4	2027	Askar 65PHQ	416	65	6.4	ZWO 533MM	3.76	3008	3008	1.864	2.48	93.46 x 93.46
5												
6	2027	Askar 65PHQ	312	65	4.8	ZWO 294MM	2.315	8288	5644	1.530	2.48	211.41 x 143.97
7												
10	2027	Askar SQA85	408	85	4.8	ZWO 2600MM	3.76	6248	4176	1.901	1.89	197.94 x 132.30
11												
12	2027	Askar FRA400	400	72	5.6	ZWO 533MM	3.76	3008	3008	1.939	2.24	97.20 x 97.20
13												
14	2027	Askar FRA400	400	72	5.6	ZWO 2600MM	3.76	6248	4176	1.939	2.24	201.90 x 134.95
15												
16	2027	Askar FRA500	500	90	5.6	ZWO 2600MM	3.76	6248	4176	1.551	1.79	161.52 x 107.96
17												
18	2027	Askar FRA500	350	90	3.9	ZWO 2600MM	3.76	6248	4176	2.216	1.79	230.75 x 154.22
19												
20	2027	Askar FRA400	280	72	3.9	ZWO 2600MM	3.76	6248	4176	2.770	2.24	288.43 x 192.78
21												
22	2027	Askar FRA600	600	108	5.6	ZWO 2600MM	3.76	6248	4176	1.293	1.49	134.60 x 89.96
23												
24	2027	Askar FRA600	420	108	3.9	ZWO 2600MM	3.76	6248	4176	1.847	1.49	192.29 x 128.52

Secuencia de Ejecución: Totalidad del Eclipse (2024)



El Catálogo Gaia

Contexto: Eliminación de la necesidad de placas de referencia de 6 meses.

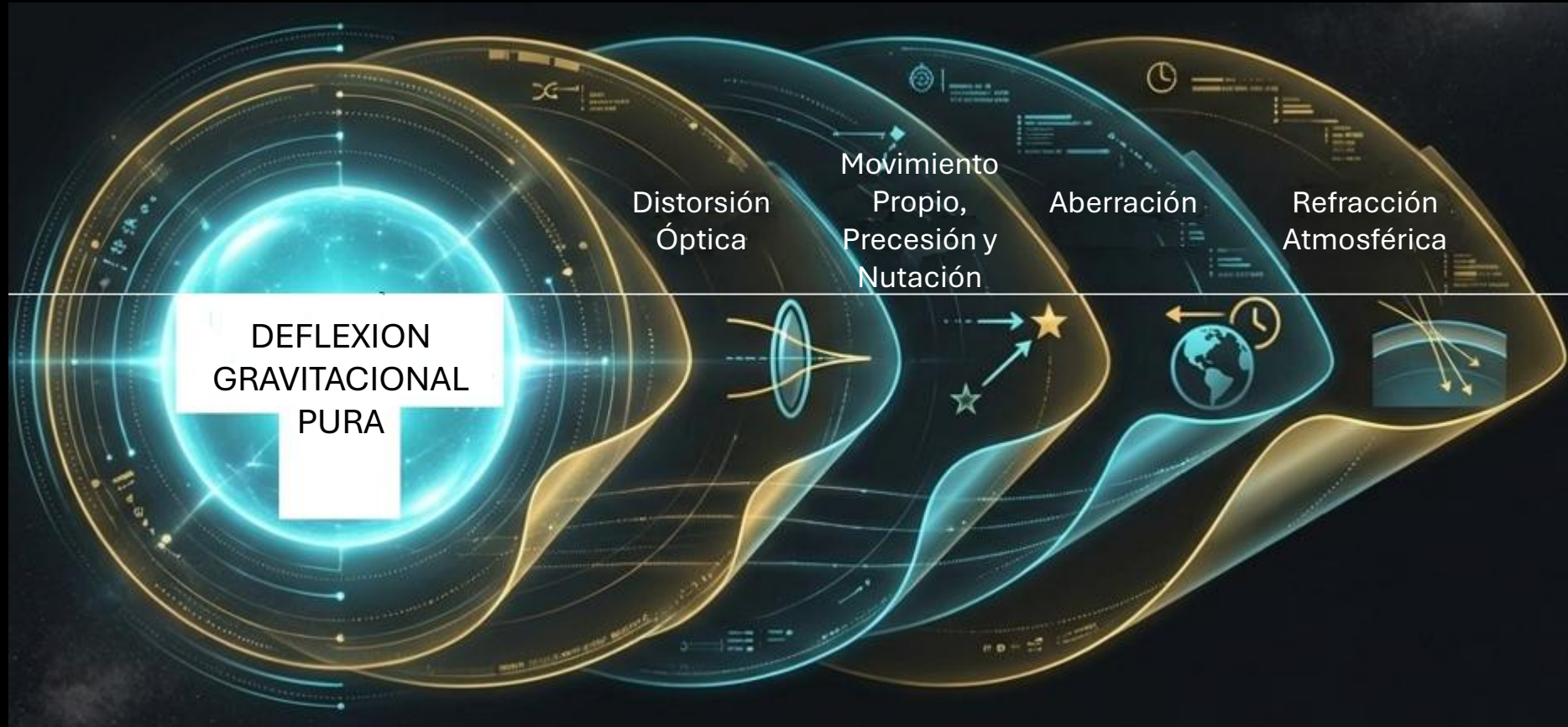
Flujo: Identificar estrellas en imagen -> Búsqueda Gaia (Radio 3") -> Obtener coordenadas J2000, paralaje y movimiento propio.



Integración: Comparación directa de centroides con Catálogo Gaia DR2/DR3.

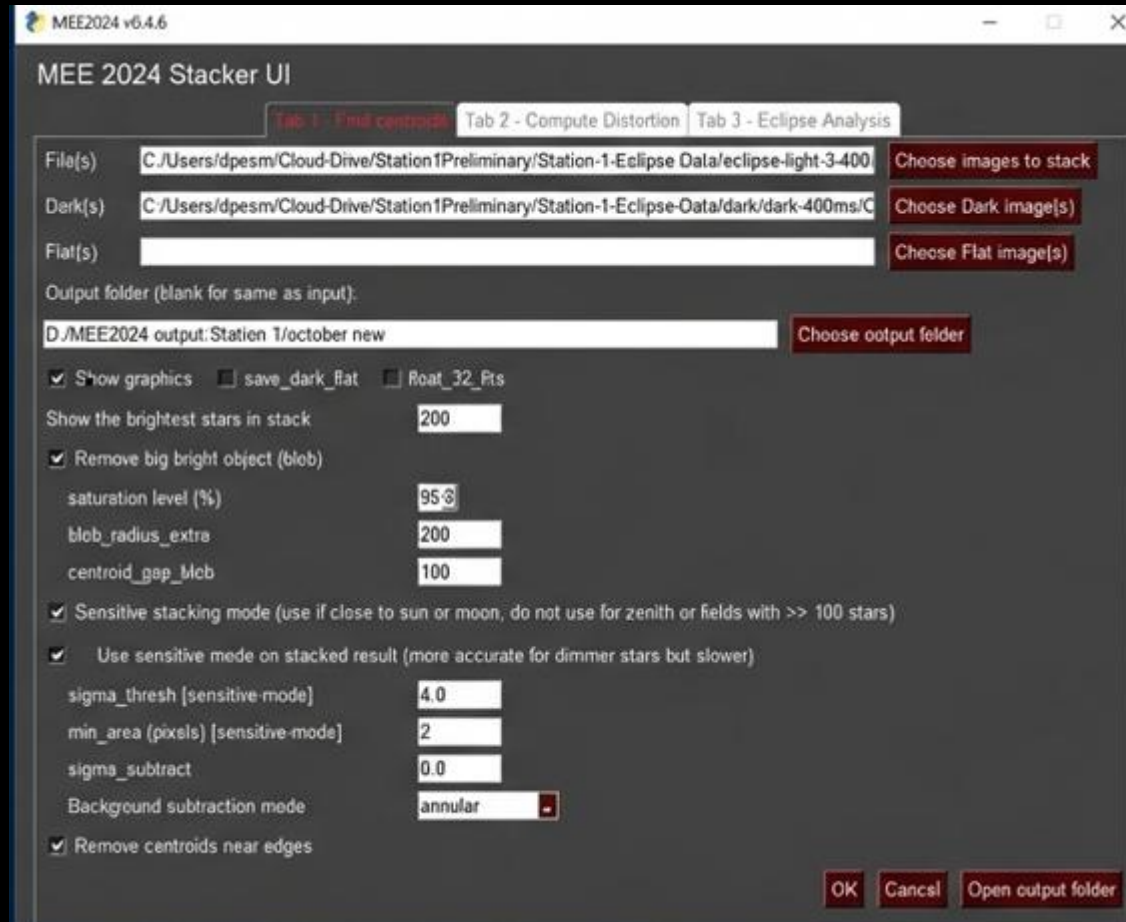
Precisión: Referencia de microsegundos de arco.

El Modelo Matemático



Para aislar la deflexión de Einstein, debemos filtrar rigurosamente todas las demás variables ópticas y físicas.

Software MEE2024: Automatizar la Astrometría



Desarrolladores y Plataforma

Desarrolladores: Andrew D. P. Smith y Douglas Smith

Plataforma: Python / GitHub (Código Abierto)

Innovación Principal:

Apilado automático de miles de imágenes.

Búsqueda de centroides robusta con alta luz de fondo.

"Blind plate solving" para identificación estelar.

Impacto:

Transforma un flujo de trabajo de meses (2018) en un proceso de horas.

Metodología de Análisis: Distorsión óptica

- 1. Detección de Centroides:**
Filtrado de ruido en condiciones de eclipse.
- 2. Catálogo Gaia:**
Extracción del catálogo Gaia de las estrellas correspondientes a los centroides.
- 3. Correcciones Físicas:**
Ajuste de precesión, nutación, aberración estelar, paralaje y refracción atmosférica.
- 4. Calibración de Distorsión:**
Uso de imágenes nocturnas para corregir errores ópticos hasta grado 7 de polinomio.



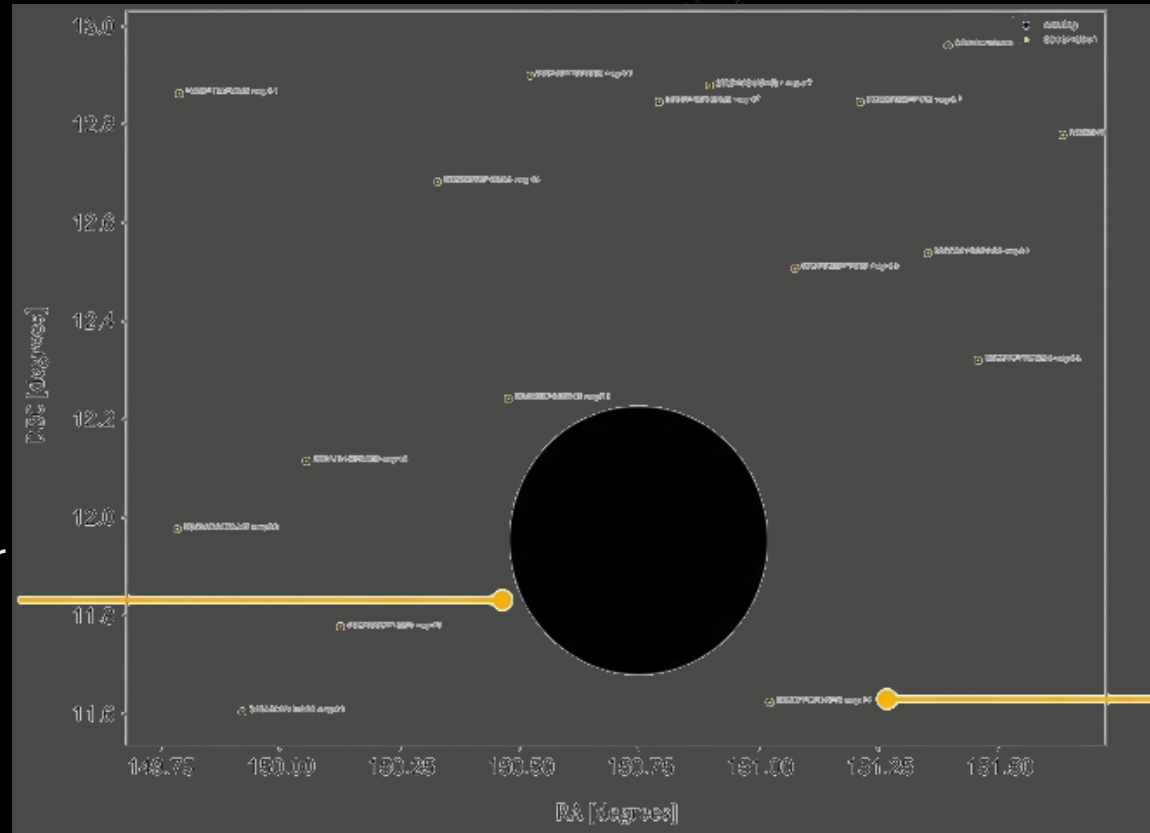
The screenshot shows the 'MEE 2024 Stacker UI' window. It has three tabs: 'Tab 1 - Find centroids', 'Tab 2 - Choose input files', and 'Tab 3 - Eclipse Analysis'. The 'Find centroids' tab is active. It contains the following fields and controls:

- File(s):** A text box with the path 'G:/Station 1 data/sentroid_data2024041622526.zip' and a 'Choose data (data zip)' button.
- Fix distort:** A text box with the path 'G:/Station 1 data/smith calibrations/distortion_data20240417225115_centroid_data2024041622526.zip' and a 'Choose distortion files' button.
- Fix order higher than:** A dropdown menu set to 'linear'.
- Output folder (blank for same as input):** A text box with the path 'D:/ectober24' and a 'Choose output folder' button.
- Show graphics:** A checked checkbox.
- Maximum star magnitude:** A text box with the value '12.0'.
- Guess Date:** A checked checkbox.
- Observation Date UTC (YYYY-MM-DD):** A text box with the value '2024-04-08'.
- Distortion fit tolerance (arcsec):** A text box with the value '2.0'.
- Distortion polynomial order:** A dropdown menu set to 'quintic'.
- Rough fit threshold (arcsec):** A text box with the value '100.0'.
- Crop circles? (input 0.0 to 1.0):** A text box with the value '0.9'.
- Discard double stars or stars with missing proper motion:** A checked checkbox.
- Corrections for aberration, parallax, and refraction:**
 - Enable aberration and parallax?** A checked checkbox.
 - Enable gravitational correction?** A checked checkbox.
 - Simultaneous deflection constant and platescale fit:** A checked checkbox.
- Observation Time UTC (hh mm ss):** A text box with the value '16:12'.
- Observation Latitude (degrees):** A text box with the value '23 50 58.3 N'.
- Observation Longitude (degrees):** A text box with the value '105 16 22.1 W'.
- Enable refraction correction?** A checked checkbox.
- (optional) Observation temp. (°C):** A text box with the value '15.0'.
- (optional) Observation pressure (millibars):** A text box with the value '760.0'.
- (optional) Observation humidity (0.0 to 1.0):** A text box with the value '6.23'.
- (optional) Observation height (m):** A text box with the value '2450.0'.
- (optional) Observation wavelength (nm):** A text box with the value '6625'.

At the bottom right, there are three buttons: 'OK', 'Cancel', and 'Open output folder'.

Cálculo de la constante de deflexión L

Disco solar
eclipsado



Estrella identificada
(Catálogo Gaia)

Metodología:

Ajuste de mínimos
cuadrados para aislar L .

Filtros aplicados:

Exclusión de estrellas
dobles y cortes radiales.

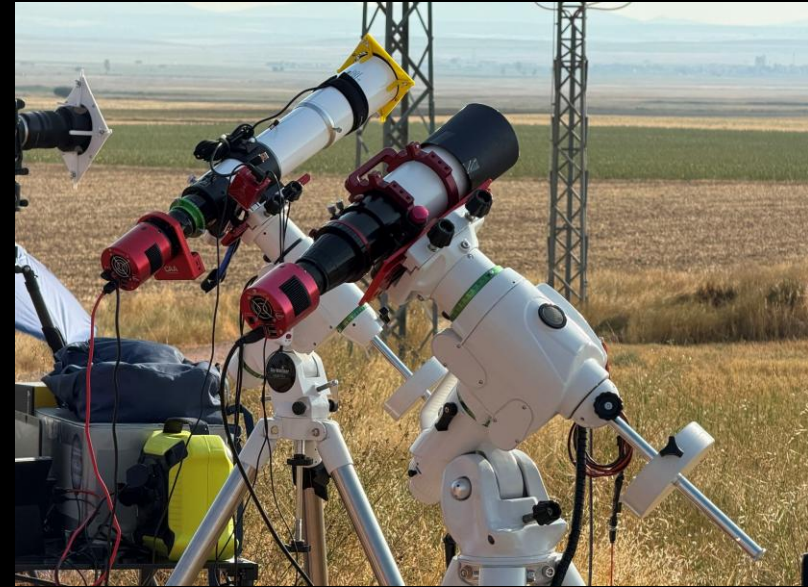
Resultados del Eclipse 2024: Confirmando a Einstein

$$L = 1.84'' \pm 0.24''$$

Consistente con la predicción de la Relatividad General (1.75'')

Datos provenientes de la Estación 1 (El Salto, Durango) a pesar de la interferencia de cirros altos.

Nuestra experiencia en el eclipse 2026 - Gallocanta



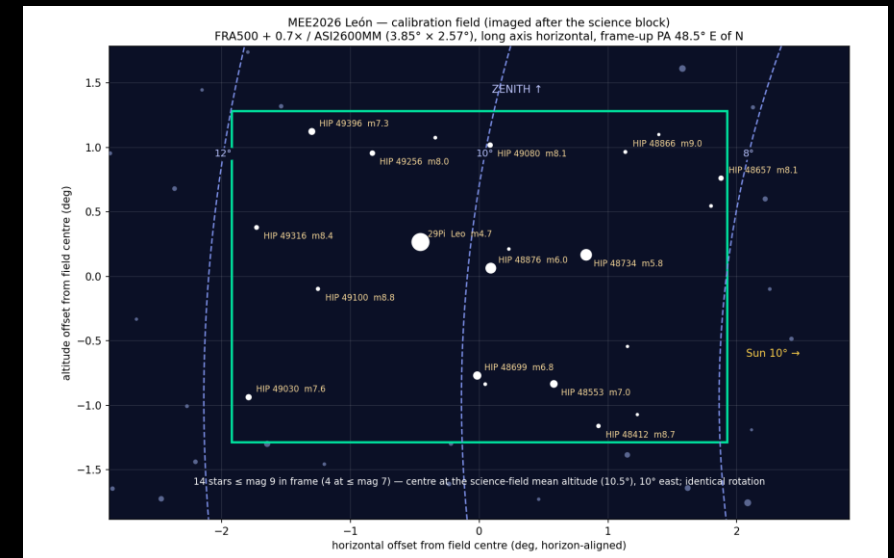
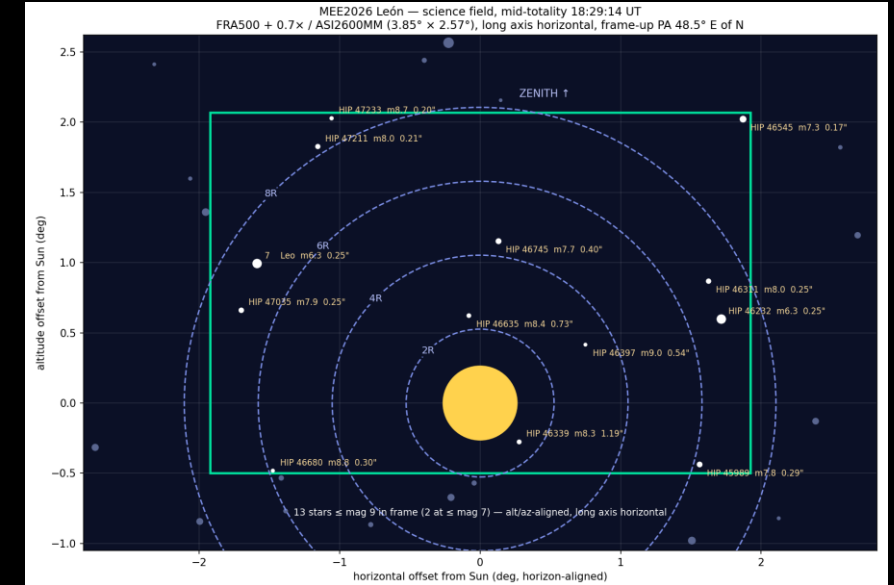
Nuestra experiencia en el eclipse 2026 - Gallocanta

Directrices operativas:

- **Seguimiento:** El seguimiento durante el eclipse debe ser sideral, no solar.
- **Calibración:** Toma imágenes de calibración exclusivamente a la izquierda del sol el día del eclipse.
- **Orientación de la cámara:** Gira la cámara respecto al tubo del telescopio para que el lado largo de la imagen se alinee con el horizonte en el momento exacto del eclipse.

Parámetros de SharpCap:

- **Calibración Cenital (noche anterior):** Series de 20 exposiciones de 1s, 2s, 5s y 10s.
- **Imágenes del día del eclipse:**
 - **Campo eclipse:** Series de 20 exposiciones de 0,1s, 0,5s y 1s.
 - **Campo de calibración:** Serie de 10 exposiciones de 3 segundos (a la izquierda del sol).
 - Los datos de calibración están centrados en la estrella HIP 48699 (aproximadamente 10° a la izquierda del centro del eclipse, cerca de π Leonis, magnitud 6.8, coordenadas aparentes: RA: 09h 57m 19s | DEC: $+7^\circ 33' 07''$).



Nuestra experiencia en el eclipse 2026 - Gallocanta

¿Por qué falló el 'Plate Solver'?

- 1.** **Puesta en estación aproximada**
El riesgo de incendios impidió acceder al emplazamiento original (Gallocanta) para la puesta en estación nocturna. Al día siguiente, se improvisó una puesta en estación aproximada.
- 2.** **Alineación incorrecta**
Al no poder hacer la alineación con las estrellas la noche anterior, el telescopio no apuntaba, con la precisión necesaria, a las coordenadas absolutas.
- 3.** **Script de captura**
El script enviaba el telescopio a coordenadas absolutas (estrella HIP 48699) en lugar de usar movimientos relativos. Al tener una referencia errónea, el telescopio apuntó mal (fue a la derecha en lugar de a la izquierda).
- 4.** **Consecuencia**
Las imágenes de calibración no capturaron el campo estelar esperado, haciendo imposible el 'plate solver' para alinear y procesar las observaciones del eclipse.

Eclipse 2027

Túnez

El grupo MEE2027 de **EEUU** ha organizado la observación desde **Túnez** (lugar de mayor duración).

Cádiz

La agrupación de Barcelona, Aster, hará el experimento desde el **Real Instituto y Observatorio de la Armada en Cádiz**.

Red internacional

El grupo MEE2027 busca la participación de más grupos a nivel internacional.

Coordinación nacional

El grupo de Aster MEE2027, en colaboración con la FAAE, trabaja a nivel nacional en la ampliación a otros grupos interesados.

2027

TÚNEZ · CÁDIZ

**UNA OBSERVACIÓN
COORDINADA EN RED**

Conclusiones

- 1.** **Proyecto internacional**
Participación en proyecto de ámbito internacional. Objetivo: Calcular el coeficiente de deflexión.
- 2.** **Experimento accesible**
Es posible realizar el experimento de Eddington con recursos al alcance del aficionado astronómico.
- 3.** **Herramientas**
MEE2024 demostró que el software y los sensores CMOS están listos para obtener un valor de la deflexión con un margen de error que se aproxime al 1% y localizar estrellas por debajo de los 2 radios solares.
- 4.** **Preparación operativa**
Los eclipses son eventos de alto estrés. La práctica y los planes de contingencia (como saber forzar la sincronización) son esenciales, especialmente para el equipo que viaje a Cádiz.

Contacto: p.eddington@aster.cat

