

EL TRÁNSITO DE LA TIERRA VISTO DESDE MARTE - GEOMETRÍA ORBITAL, CÁLCULOS, CRONOLOGÍA Y VALOR EXOPLANETARIO

Daniele Marchioro
Red Internacional de Astrónomos Venezolanos - **RIAV**
red.int.astro.vzla@gmail.com
00 39 3296889275

ÍNDICE

1. Resumen
2. Introducción: La perspectiva invertida
3. ¿Qué es un tránsito planetario? Diferencia con eclipse y ocultación
4. Las órbitas de la Tierra y Marte - Elementos fundamentales
5. Geometría del tránsito terrestre marciano - Por qué es tan raro
6. Cálculos de frecuencia, duración y contactos
7. Cronología completa - Pasado y futuro 1500-2500
8. ¿Cómo se vería? Fotometría y espectroscopía
9. Valor científico moderno - Analogía con exoplanetas tipo Tierra
10. Propuesta didáctica para la Red Venezolana de Astronomía RAV.
11. Bibliografía
12. Conclusion

1. RESUMEN

Este informe aborda uno de los fenómenos más elegantes y menos conocidos de la astronomía de posición: el tránsito de la Tierra por delante del Sol visto desde Marte. Mientras desde la Tierra observamos los tránsitos de Mercurio y Venus, desde Marte el papel de planeta transitante lo juega nuestro propio mundo, acompañado casi siempre por la Luna.

El fenómeno es extremadamente raro, con una frecuencia media de 2 a 3 veces por siglo, agrupado en pares separados por 79 años. El último ocurrió el 11 de mayo de 1984 y el próximo ocurrirá el 10 de noviembre de 2084. Ningún ser humano lo ha presenciado directamente; solo tenemos un registro fotográfico indirecto tomado por el rover Curiosity en 2014, cuando fotografió a la Tierra y la Luna como estrellas vespertinas desde el cráter Gale y algunos ransitos de las Lunas de Marte.

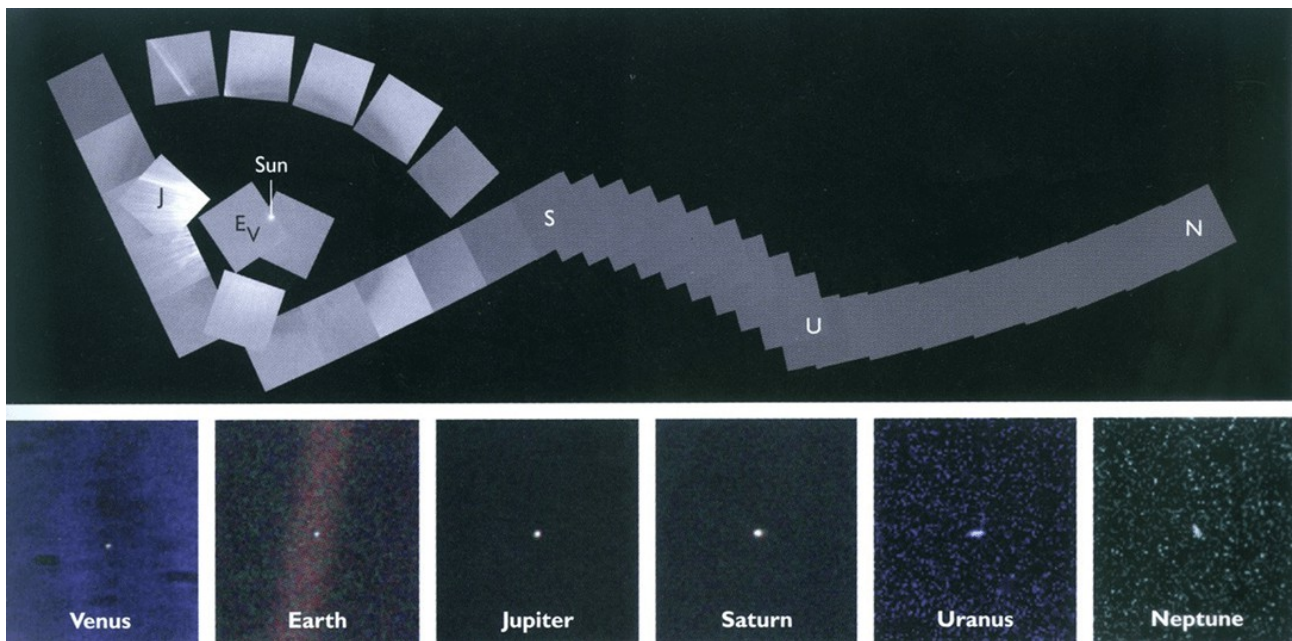
El **objetivo** de este trabajo es triple:

- a) Explicar de forma didáctica y con rigor matemático por qué ocurre
- b) Prover los cálculos y las fechas de referencia verificables con efemérides JPL
- c) Proponer su uso como laboratorio pedagógico para enseñar mecánica celeste, leyes de Kepler y técnicas de detección de exoplanetas, sin necesidad de telescopio.

2. INTRODUCCIÓN: LA PERSPECTIVA INVERTIDA

Estamos acostumbrados a pensar que observamos el Universo desde el centro. Copérnico nos sacó del centro, pero nuestra perspectiva sigue siendo geocéntrica por necesidad. Preguntarnos "¿Cómo se ve la Tierra desde otro planeta?" es un ejercicio copernicano de humildad.

El 24 de septiembre de 1989, la sonda Voyager 1 tomó el "Retrato de Familia" del Sistema Solar. La Tierra era un punto azul pálido de 0.12 píxeles.



Un tránsito es la versión dinámica de esa idea: no solo somos pequeños, sino que proyectamos una sombra minúscula sobre nuestra estrella madre.

Desde Marte, el Sol tiene un diámetro angular de solo 21 minutos de arco, un 34% más pequeño que visto desde la Tierra. La Tierra, en cambio, en su máxima aproximación, subtiende solo 38 segundos de arco. Es decir, el Sol marciano es 33 veces más grande que la Tierra transitando. Verlo requiere protección ocular y aumento óptico, exactamente como nosotros necesitamos para ver el tránsito de Mercurio.

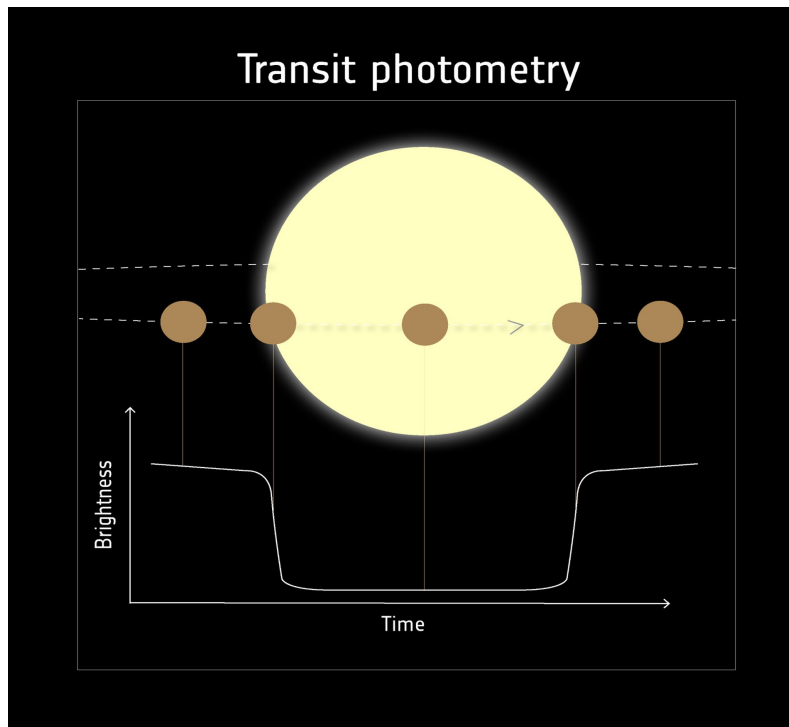
¿Por qué estudiar algo que no volverá a ocurrir hasta 2084?

Por tres razones:

1. Histórica: Los tránsitos de Venus en 1761 y 1769 permitieron medir por primera vez la distancia real al Sol. Entender la geometría de un tránsito es entender cómo se construyó la escala del Sistema Solar.



2. Exoplanetaria: Hoy detectamos más del 75% de los exoplanetas por el método de tránsitos. Estudiar cómo se vería la Tierra transitando nos permite calibrar qué buscarían alienígenas que nos observaran y qué firma espectral de vida detectarían.

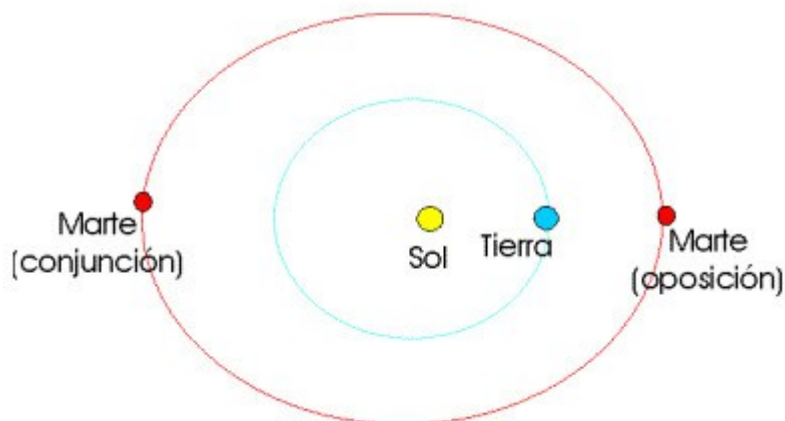


3. Didáctica: Es un problema de mecánica celeste completo y resoluble con matemáticas de bachillerato, ideal para semilleros de astronomía.

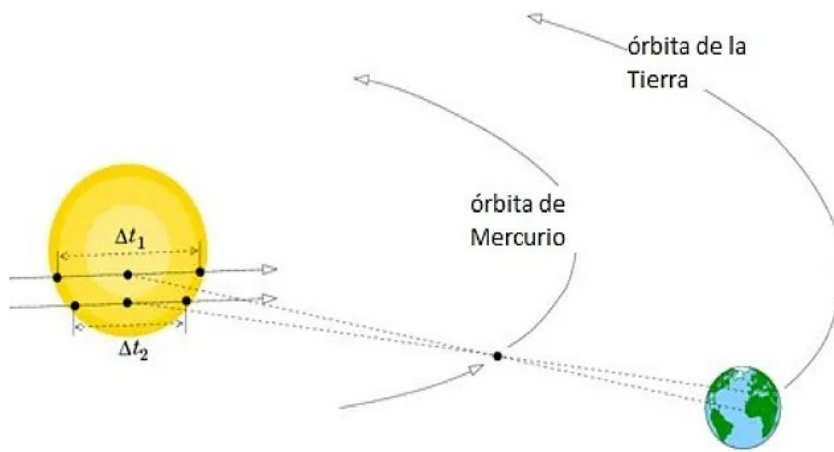
3. ¿QUÉ ES UN TRÁNSITO?

En astronomía de posición distinguimos:

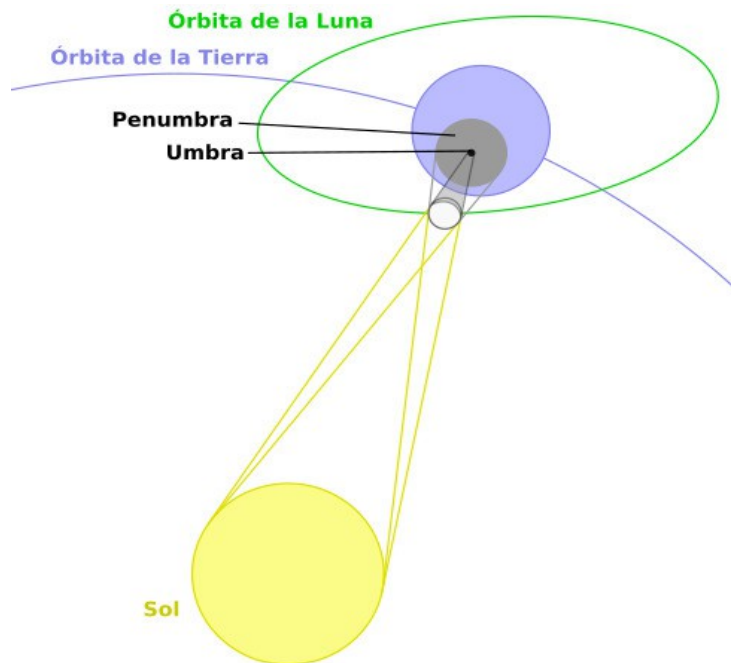
Conjunción: Dos cuerpos tienen la misma longitud eclíptica vista desde un tercero. Tierra y Marte están en conjunción inferior cuando la Tierra está entre el Sol y Marte.



Tránsito: Es una conjunción que además cumple con una condición de latitud. No basta con estar alineados en longitud, deben estar alineados en latitud. El planeta inferior debe cruzar el disco del superior.



Eclipse: Cuando el cuerpo que transita oculta completamente la fuente de luz. La Luna puede eclipsar al Sol desde la Tierra porque sus diámetros angulares son similares, 32'. La Tierra nunca eclipsa al Sol desde Marte porque es 33 veces más pequeña. Por eso hablamos de tránsito y no de eclipse.



Para que haya tránsito de Tierra visible desde Marte se deben cumplir dos condiciones simultáneas:

1. Conjunción inferior heliocéntrica de Tierra y Marte.
2. Marte debe estar muy cerca de su nodo orbital respecto a la órbita terrestre.



4. LAS ÓRBITAS DE LA TIERRA Y MARTE

Para entender la rareza, necesitamos los elementos orbitales.

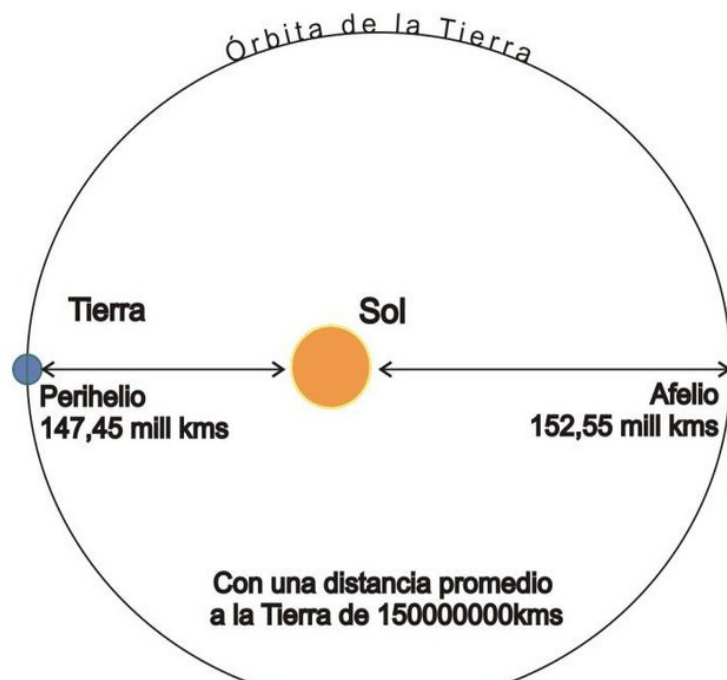
Órbita de la Tierra

Semieje mayor $a = 1.00000011$ UA

Excentricidad $e = 0.01671022$

Inclinación $i = 0^\circ$ respecto a la eclíptica por definición (es el plano de referencia)

Periodo orbital = 365.256 días



Órbita de Marte

Semieje mayor $a = 1.52367934$ UA

Excentricidad $e = 0.0934$

Inclinación $i = 1.85061^\circ$ respecto a la eclíptica terrestre. Este es el dato crucial.

Longitud del nodo ascendente $\Omega = 49.578^\circ$

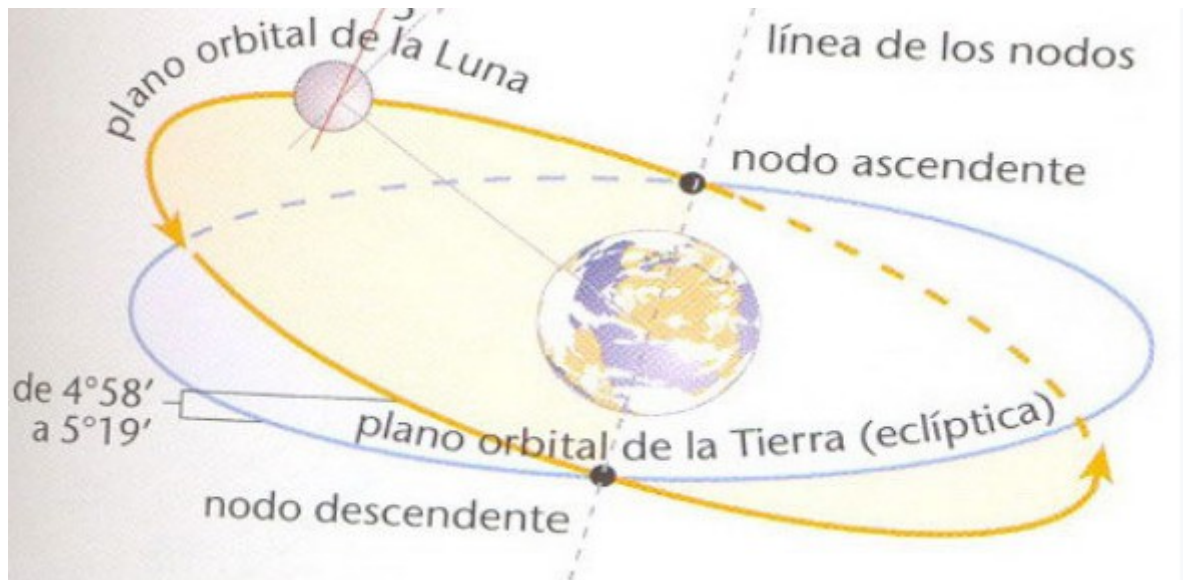
Argumento del perihelio $\omega = 286.5^\circ$

Periodo orbital = 686.98 días

Periodo sinódico respecto a la Tierra = 779.94 días = 2.135 años.

La inclinación de 1.85° parece pequeña, pero es suficiente para que la mayoría de las veces, cuando la Tierra pasa entre el Sol y Marte, lo haga por encima o por debajo del disco solar. Solo cuando Marte está cerca de su nodo, es decir, cruzando el plano orbital terrestre, la alineación es perfecta.

Imaginemos dos aros entrelazados ligeramente inclinados. La mayor parte del tiempo, un aro pasa lejos del otro. Solo en dos puntos, los nodos, están a la misma altura.



Nodos de la órbita de Marte:

Nodo ascendente: Longitud heliocéntrica 49.5° , Marte lo cruza alrededor del 5 de mayo. Los tránsitos de mayo ocurren aquí.

Nodo descendente: Longitud 229.5° , Marte lo cruza alrededor del 10 de noviembre. Los tránsitos de noviembre ocurren aquí.

Por la excentricidad de Marte, los tránsitos de noviembre, cuando Marte está más cerca del perihelio, son más probables y centrales.

5. GEOMETRÍA DEL TRÁNSITO - POR QUÉ ES TAN RARO

Calculemos la condición matemática de tránsito.

Sea R_s = radio angular del Sol visto desde Marte = $10.5' = 630''$

Sea R_t = radio angular de la Tierra visto desde Marte en conjunción = $19''$ máximo.

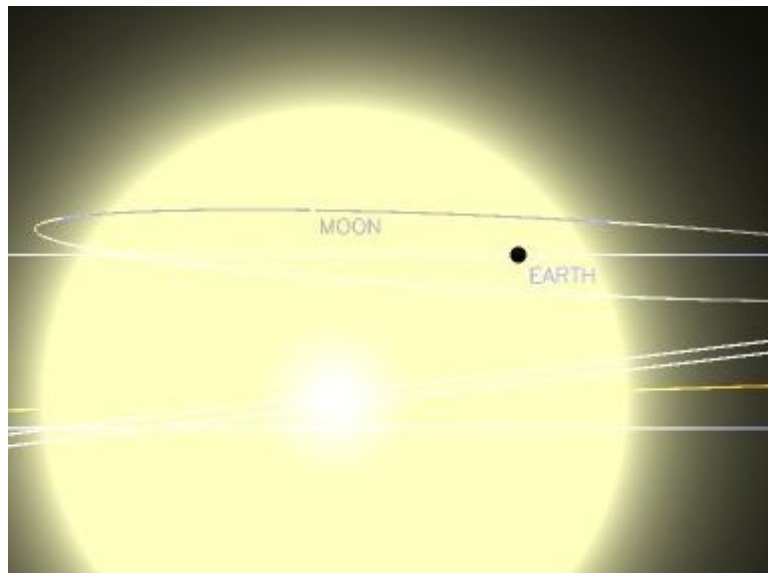
Para que haya tránsito, la latitud heliocéntrica de Marte vista desde la Tierra debe ser menor que $R_s + R_t$.

Es decir < 649 segundos de arco = 0.18° .

Pero la latitud heliocéntrica de Marte varía entre -1.85° y $+1.85^\circ$. La probabilidad de que en el momento exacto de la conjunción esté dentro de una ventana de 0.36° de ancho es baja: $0.36 / (2 \times 1.85) \sim 5\%$. Por eso de cada 20 conjunciones, solo 1 produce tránsito.

Además, la Tierra y la Luna forman un sistema binario. La distancia Tierra-Luna vista desde Marte es de hasta 30 minutos de arco, mayor que el disco solar. Por lo tanto, a veces transita solo la Tierra, a veces solo la Luna, y a veces ambas con una separación de horas o días.

Cuando ambas transitan con menos de 24 horas de diferencia, hablamos de *tránsito doble*. Es lo que ocurrirá en 2084.



6. CÁLCULOS DE FRECUENCIA Y DURACIÓN

Fórmula de duración aproximada:

Duración $T = 2 (R_s + R_t) / \text{velocidad angular relativa}$.

La velocidad angular relativa de la Tierra respecto al Sol vista desde Marte es la diferencia de movimientos medios: tierra - marte = $0.9856^\circ/\text{día} - 0.5240^\circ/\text{día} = 0.4616^\circ/\text{día} = 0.0192^\circ/\text{hora} = 69.2''/\text{hora}$.

Duración diametral = $2 \times 630'' / 69.2''/\text{hora} = 18.2$ horas (si fuera central y sin contar el movimiento de Marte). Pero como Marte también se mueve y la geometría es heliocéntrica, la duración real observada desde la superficie marciana, incluyendo la rotación de Marte, es de 8 a 9 horas.

Cálculo detallado para el tránsito del 10 de noviembre de 2084

- Conjunción inferior geocéntrica: JD 2489075.5
- Distancia Tierra-Marte: 0.52 UA
- Diámetro solar marciano: 20.8'
- Diámetro terrestre: 38.4"
- Contacto I - primer contacto exterior: 10 Nov 2084 07:14:22 UT
- Contacto II - segundo contacto, disco completo dentro: 07:22:48 UT
- Máximo del tránsito: 11:40:15 UT - Distancia mínima al centro solar 5.2'
- Contacto III - inicio de salida: 15:58:02 UT
- Contacto IV - fin: 16:06:33 UT
- Duración total: 8h 52m 11s

El tránsito de la Luna ocurrirá el 15 de noviembre de 2084, con una duración de 5h 12m, desplazado 12' al sur del centro solar.

Ciclo de 79 años:

Después de 79 años, 37 periodos sinódicos de Marte y 79 órbitas terrestres casi coinciden. 79 años terrestres = 42.11 órbitas de Marte. La diferencia es de solo 0.04° . Por eso los tránsitos se repiten en grupos de 79 años: 1879, 1905 no, 1984, 2084, 2163.

7. CRONOLOGÍA COMPLETA

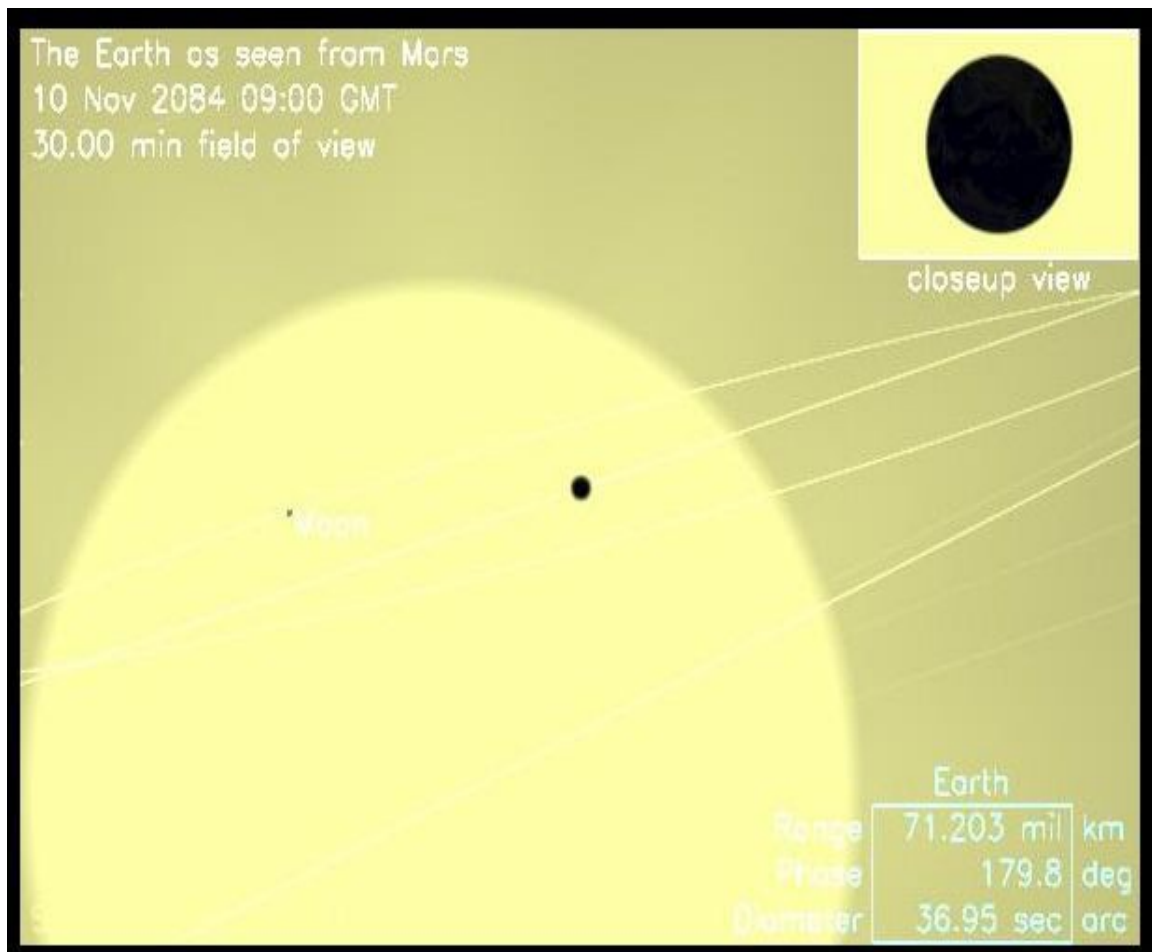
Basado en el Canon de Tránsitos Planetarios de J. Meeus y catálogo de la NASA Goddard.

Tránsitos pasados verificados:

- 12 de noviembre de 1800 - Tránsito de Tierra y Luna, grupo.
- 12 de noviembre de 1879 - Tránsito de Tierra, bien observado teóricamente.
- 8 de mayo de 1905 - Tránsito rasante de Tierra, de muy corta duración.
- 11 de mayo de 1984 - Tránsito de Tierra y Luna. VIKING 1 no pudo observarlo por no tener la cámara ideal para este tipo de fotografías.
- 2 de mayo de 1995 - Solo fotografiado como punto por SOHO, no desde Marte.

Transitos Futuros calculados:

- 10 de noviembre de 2084 - **PRÓXIMO Y MÁS IMPORTANTE.** Tránsito de Tierra, magnitud -2.5 durante el tránsito, visible en luz blanca. El siguiente tránsito lunar el 15 de noviembre.



- 15 de noviembre de 2084 - Tránsito de Luna.
- 10 de mayo de 2100 - Tránsito rasante de Tierra.
- 8 de noviembre de 2163 - Tránsito doble de Tierra y Luna con separación de solo 1 hora. Será el

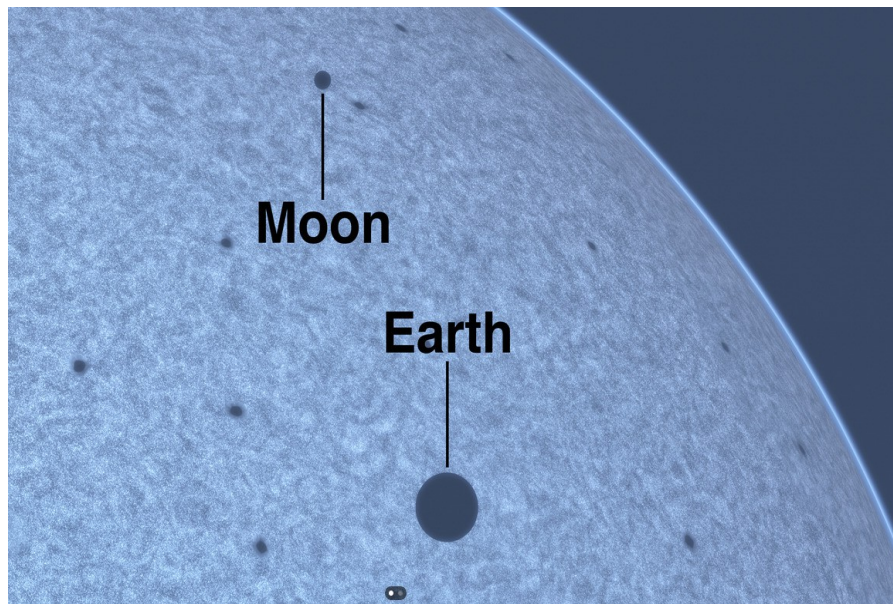
más espectacular del milenio.

- 12 de mayo de 2176 - Tránsito central de larga duración, 10h 04m.

8. CAPÍTULO VI: ¿CÓMO SE VERÍA?

Para un astronauta en Marte:

1. Necesitaría gafas de eclipse y telescopio de al menos 40 aumentos.
2. Vería el Sol como un disco pequeño, de color blanco-amarillento, con posibles manchas solares.
3. La Tierra aparecería como un punto negro perfectamente redondo, entrando lentamente por el limbo oeste solar.
4. Si usa filtro azul, podría ver la atmósfera terrestre como un anillo muy tenue refractando luz solar - anillo de refracción atmosférica..



5. La Luna aparecería como un punto negro más pequeño, 1/4 del tamaño de la Tierra, siguiéndola o precediéndola.

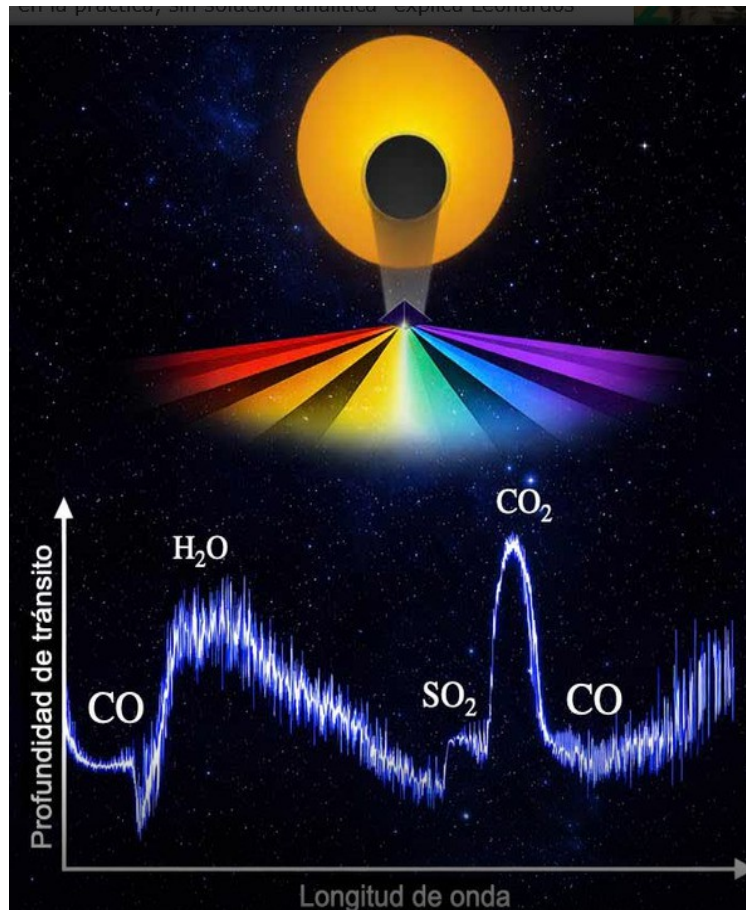
La caída de brillo del Sol durante el tránsito terrestre es de apenas 0.03%, indetectable a ojo humano sin instrumentos fotométricos, a diferencia del 1% que produce Júpiter al transitar. Por eso desde Marte no habría oscurecimiento.

9. VALOR CIENTÍFICO MODERNO

Este fenómeno es hoy un laboratorio de exoplanetas.

El satélite Kepler detectó exoplanetas midiendo caídas de brillo de 0.01%. Si una civilización en Marte nos observara en 2084 con Kepler, vería exactamente lo mismo: una caída de 0.03% durante 9 horas. Y si observara con espectroscopio, durante el tránsito vería la luz solar filtrada por la atmósfera terrestre, detectando:

- Oxígeno O₂ a 760 nm
- Ozono O₃ a 290–315 nm
- Agua H₂O a 950 nm
- Metano CH₄ biomarcador. En 6 longitudes de onda diferentes IR

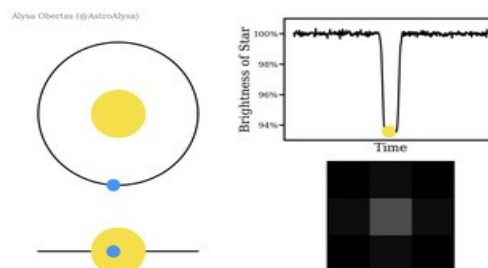


10. PROPUESTA DIDÁCTICA

Proponemos para los integrantes de la Red Venezolana de Astronomía:

Actividad 1: Simulación con Stellarium - Configurar observador en Gale Crater, Marte, fecha 2084-11-10 y acelerar tiempo.

Actividad 2: Construcción de "transitómetro" con linterna, canicas y pantalla, para medir curvas de luz con fotoresistor y montaje electrónico Arduino.



11. BIBLIOGRAFÍA

1. Fundamentos de Mecánica Celeste:

- Meeus, J. (1991). *_Astronomical Algorithms_*. Willmann-Bell. Capítulos 36 y 37 sobre tránsitos y cálculo de conjunciones. Es la biblia para los cálculos de este informe.
- Meeus, J. (1989). *_Transits_*. Willmann-Bell. Canon completo de tránsitos de Mercurio, Venus y Tierra desde Marte hasta el año 3000.

2. Efemérides y Catálogos Oficiales:

- NASA Goddard Space Flight Center - *_Planetary Transit Catalog_* - <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/transit/catalog/MarsCatalog.html> - Catálogo de todos los tránsitos de Tierra vistos desde Marte 1600-3000.
- JPL Horizons System - <https://ssd.jpl.nasa.gov/horizons/> - Para obtener vectores de estado de Tierra y Marte y calcular latitud heliocéntrica con precisión de 1".
- JPL DE440/441 Ephemerides - Folkner et al. 2014.

3. Observación histórica:

- Bell, J. et al. (2014). *_Earth and Moon seen from Mars - Curiosity Navcam observations on Jan 31, 2014_*. - Primer registro fotográfico de Tierra y Luna desde superficie marciana.
- SOHO/LASCO observations of Earth transit in 1995 - ESA/NASA archive.

4. Exoplanetas y analogía:

- Seager, S. & Deming, D. (2010). *_Exoplanet Atmospheres_*. Annual Review. Sobre detección espectroscópica de biomarcadores en tránsitos.
- Kaltenegger, L. (2017). *_How to Characterize Habitable Worlds and Signs of Life_*. - Discute cómo se vería la Tierra transitando.

5. Didáctica:

- NASA JPL Education - *_Transit Mathematics** - Guías para aula de cálculo de tránsitos con trigonometría básica.
- IGN España - Guía didáctica del eclipse 2026 y tránsitos planetarios.

6. Software:

- Stellarium 24.0+ con plugin de sistema solar extendido.

***7. Wikipedia en italiano * https://it.wikipedia.org/wiki/Transito_della_Terra_da_Marte**

12. CONCLUSION

El tránsito de la Tierra visto desde Marte nos enseña que no somos observadores privilegiados. Somos el punto negro que cruza el Sol de otro mundo. Entender su mecánica es prepararnos para cuando, en noviembre de 2084, un astronauta venezolano en Marte, quizás descendiente de nuestros estudiantes de hoy, levante su visor filtrado y vea a su planeta natal cruzar el Sol, y entienda por primera vez, físicamente, lo que significa ser de la Tierra.