

ESTUDIO EMPÍRICO DE LA CURVATURA TERRESTRE: observando la curvatura de la Tierra desde la playa de Cullera

Miguel Guerrero
rupestreguerrero@gmail.com

Imagen de la superficie curva de la Tierra, tomada desde la Estación Espacial Internacional. Se aprecia la península itálica en el centro, y la isla de Sicilia, abajo a la izquierda. (NASA-JLP)



En un mundo donde la información fluye libremente, es natural que surjan dudas y teorías alternativas sobre diversos temas, incluyendo la forma de nuestro planeta. Este artículo tiene como objetivo presentar evidencias claras y comprensibles de que la Tierra es, de hecho, esférica, dirigidas especialmente a aquellos que cuestionan esta realidad científica.

Hay varias razones por las que la pseudociencia y las creencias pseudocientíficas parecen estar ganando terreno en los últimos tiempos. Por ejemplo, el auge de las redes sociales y la facilidad de difusión de información hace que el internet permita que las ideas pseudocientíficas se propaguen rápidamente y lleguen a un público muy amplio. Los algoritmos de las redes tienden a favorecer contenidos polémicos o sensacionalistas, dando mayor visibilidad a teorías conspirativas.

También hay una pérdida de confianza en las instituciones tradicionales, y ha surgido un cierto populismo que cuestiona a las instituciones y autoridades establecidas, incluyendo la ciencia oficial. Esto lleva a algunas personas a buscar explicaciones alternativas. La simplificación de ideas complejas hace que las pseudociencias ofrezcan explicaciones simples e intuitivas para fenómenos complejos, lo cual resulta atractivo para mucha gente. Además, la apropiación de la autoridad científica hace que las pseudociencias imiten el lenguaje y apariencia de la ciencia real para ganar credibilidad, aprovechando el prestigio de la ciencia. Y por supuesto, también hay intereses económicos y comerciales detrás de la promoción de ciertas pseudociencias que apelan a las emociones y deseos de las personas, ofreciendo esperanza o explicaciones reconfortantes.

La falta de comprensión de la ciencia es un factor importante en la proliferación

de las pseudociencias, porque muchas personas carecen de una base sólida en conceptos científicos fundamentales, lo que dificulta la comprensión de explicaciones científicas más complejas. La ciencia actual es altamente especializada y a menudo utiliza conceptos abstractos difíciles de entender sin una formación adecuada. Y sin una comprensión adecuada, es difícil diferenciar entre afirmaciones científicas legítimas y pseudocientíficas.

En la era de internet, la abundancia de información puede ser abrumadora, dificultando la distinción entre fuentes confiables y no confiables. Las personas tienden a aferrarse a sus creencias existentes, incluso frente a evidencia científica contraria. Algunos ven la ciencia como una forma de autoridad impuesta, en lugar de un método de investigación y descubrimiento. Los medios de comunicación tampoco ayudan mucho, porque a menudo simplifican en exceso los hallazgos científicos, lo que puede llevar a malentendidos.

Por otra parte, hay que tener también en cuenta que las creencias van cambiando. Las religiones van perdiendo cada vez más adeptos en el mundo occidental, lo que hace que muchos se refugien en otros tipos de creencias.

En definitiva, una combinación de factores psicológicos, sociales y tecnológicos ha creado un ambiente propicio para la proliferación de la pseudociencia en los últimos años. Contrarrestar esta tendencia requiere mejorar la educación científica y el pensamiento crítico en la sociedad.

Argumentos de los que cuestionan la esfericidad terrestre

Las personas que cuestionan la forma de la Tierra esgrimen diversos argumentos para defender su creencia de que la Tierra

es plana (Fig. 1). A simple vista, la Tierra parece plana porque no se puede observar curvatura en el horizonte, ni siquiera desde las montañas más altas. Esta percepción se mantiene incluso a la altura en que vuelan los aviones comerciales, donde es complicado apreciar la curvatura terrestre sin instrumentos especializados. Además, algunos de estos individuos se basan en interpretaciones literales de escrituras antiguas, como ciertos pasajes bíblicos o textos mitológicos, que describen una Tierra plana. Estos textos históricos pueden prevalecer sobre la evidencia científica moderna, creando un marco de referencia que refuerza sus creencias.

La desconfianza hacia las instituciones científicas también juega un papel importante en esta narrativa. Muchos creen que la NASA y otras organizaciones científicas ocultan la verdadera forma de la Tierra y manipulan imágenes para mantener una falsa realidad. Esta idea se alimenta de teorías conspirativas que proliferan en las redes sociales y otros medios, donde se cuestiona constantemente la veracidad de la información presentada por expertos. Además, algunos argumentan que la gravedad no podría funcionar en una Tierra esférica como se describe en la física moderna, mostrando una comprensión errónea de las leyes de la gravitación.

Otro argumento común es el cuestionamiento sobre por qué los aviones no necesitan ajustar constantemente su altitud si la Tierra fuera curva. Este razonamiento ignora los principios de navegación aérea y la escala relativa de la curvatura terrestre, así como el hecho de que los aviones vuelan a altitudes donde la curvatura es imperceptible para los pasajeros. Otros consideran que las fotos de la Tierra desde el espacio son falsificaciones, argumentando que las tecnologías digitales pueden crear fácilmente estas representaciones visuales.

La percepción del movimiento terrestre también genera confusión; algunos sostienen



Figura 1: Modelos de Tierras planas propuestos por terraplanistas.

que deberíamos sentir el movimiento si la Tierra realmente gira. Este argumento no tiene en cuenta los principios de movimiento relativo y cómo la atmósfera se desplaza junto con el planeta. Además, proponen modelos alternativos, como un Sol local que gira sobre una Tierra plana, para explicar fenómenos como el ciclo día-noche y las estaciones, ignorando las observaciones astronómicas que contradicen estos modelos.

Algunos individuos realizan experimentos caseros simples, como observar la línea del horizonte o medir la planitud de cuerpos de agua, interpretando erróneamente los resultados como prueba de una Tierra plana. Esta interpretación errónea se ve reforzada por una desconfianza general hacia la educación científica convencional, que muchos consideran una forma de adoctrinamiento. Esto les lleva a rechazar el conocimiento científico establecido en favor de sus propias creencias. El atractivo psicológico de pertenecer a una comunidad que posee un "conocimiento especial" puede ser un factor motivador para mantener estas creencias.

La principal causa que lleva a pensar todas estas cosas es que la Tierra se ve plana a simple vista y no hay evidencia inmediata ante nuestros ojos que nos haga considerar su esfericidad. Para contrarrestar estas ideas erróneas deberíamos mejorar la educación científica y fomentar el pensamiento crítico en la sociedad, algo que de momento no se promueve ni en las escuelas ni en los medios de comunicación.

Lamentablemente, la corrupción que salpica incluso a instituciones científicas, y la desinformación que circula por internet, que hace que cada vez es más complicado diferenciar la realidad de la falsedad, no ayudan a dismantelar estas creencias pseudocientíficas.

¿Por qué la Tierra no puede ser plana?

Es evidente que hay muchas personas que desconfían de la ciencia y sus descubrimientos. Por eso, sentimos la responsabilidad de ayudar a difundir el conocimiento científico y compartir información, en este caso sobre la forma de la Tierra. Aunque sabemos que este artículo puede no ser leído por quienes cuestionan estos conceptos, esperamos que en las redes se difundan algunas de las imágenes que aportamos seguidamente, ya que hemos incluido imágenes que muestran claramente que la Tierra es esférica. Creemos que estas imágenes pueden ser útiles, incluso para aquellos que no están familiarizados con los detalles científicos. A menudo se dice que "una imagen vale más que mil palabras", y esperamos que estas representaciones visuales ayuden a transmitir la idea de que nuestro planeta tiene forma de esfera. Al final, nuestro objetivo es fomentar una mejor comprensión de la ciencia y contribuir a un diálogo más informado sobre este tema.

Pero además de mostrar estas imágenes, creemos que es necesario insistir en que la Tierra no puede ser plana por múltiples razones científicas y observaciones empíricas que demuestran su esfericidad. La evidencia de que la Tierra es esférica es abrumadora y proviene de múltiples fuentes independientes. Desde observaciones cotidianas hasta complejos cálculos científicos, todo apunta a la misma conclusión. Tenemos observaciones cotidianas como el horizonte curvo, la desaparición de los barcos, sombras en diferentes latitudes; evidencias físicas como el

Efecto Coriolis, gravedad uniforme; evidencias astronómicas como eclipses lunares, constelaciones visibles, movimiento aparente de las estrellas; evidencias de navegación y vuelos, como vuelos circumpolares, GPS y satélites, duración diferente de los vuelos; evidencias históricas y modernas como cálculos antiguos, fotografías y vuelos espaciales, testimonio de astronautas, etc.

Se sabe que hay aspectos de la realidad que actualmente están fuera del alcance de la investigación científica, ya sea por limitaciones tecnológicas o conceptuales. En estos casos, las creencias, la filosofía o la especulación pueden llenar los vacíos donde la ciencia no puede llegar. Lo que hoy es "no perceptible" puede volverse objeto de estudio científico en el futuro, a medida que avanza nuestro conocimiento y tecnología. Hay que mantener una mente abierta y crítica, pero también es crucial basar nuestras creencias en evidencias sólidas y verificables. Invitamos a los lectores a investigar por sí mismos, a realizar experimentos simples y a cuestionar con fundamento. La ciencia no teme a las preguntas; de hecho, prospera con ellas.

¿Por qué vemos la superficie de la Tierra plana cuando en realidad es esférica?

Es muy simple, los seres humanos y los animales que habitamos el planeta Tierra somos seres muy pequeños en comparación con la Tierra. Nuestro planeta, a pesar de ser pequeño en comparación con otros planetas y con muchos otros objetos del universo, es enorme en comparación con nosotros. Esa diferencia de tamaños es la que no nos deja visualizar de forma clara la esfericidad de la Tierra, dando la impresión de que esta es plana.

Hay muchas razones por las que la Tierra nos parece plana a los seres humanos en nuestra experiencia cotidiana. Nuestro campo de visión es muy pequeño en comparación con el tamaño de la Tierra. En distancias

cortas, la curvatura es imperceptible para el ojo humano. Nuestros sentidos y percepción evolucionaron para funcionar en un entorno local, no para comprender la forma global del planeta o del universo.

La curvatura de la Tierra es muy gradual, aproximadamente 12.65 cm se ocultan a nuestros ojos a 1 km de distancia. Esta sutileza hace que la curvatura terrestre sea difícil de percibir sin instrumentos o mediciones precisas. Además, edificios, montañas y otros elementos del paisaje obstruyen nuestra visión de largas distancias, limitando nuestra capacidad de observar la curvatura. También la atmósfera puede crear espejismos y distorsiones que hacen que el horizonte parezca plano. La fuerza de gravedad se siente constante en todas partes, lo que no da pistas sobre la esfericidad de la Tierra. Sin un punto de vista externo (como desde el espacio), es difícil hacerse una idea clara de la forma esférica de la Tierra.

Observando la curvatura de la Tierra

El cálculo del tamaño de la Tierra realizado por Eratóstenes hace más de dos milenios, aunque brillante, no siempre resulta convincente para aquellos que cuestionan la esfericidad de nuestro planeta. Muchas personas, debido a un conocimiento limitado de matemáticas y física, encuentran difícil comprender o aceptar estos cálculos abstractos. En su lugar, buscan evidencias tangibles de la curvatura terrestre.

Sin embargo, observar directamente la curvatura de la Tierra presenta desafíos significativos. Incluso a la altitud de vuelo de los aviones comerciales, que suelen operar entre 9 y 12 km sobre el nivel del mar, la curvatura no es fácilmente perceptible para el ojo humano. La curvatura terrestre comienza a ser evidente a partir de los 10 km de altitud, volviéndose más evidente alrededor de los 15 km. Lo podemos comprobar en Google Earth.

Esta dificultad para percibir la curvatura a altitudes accesibles plantea un reto interesante: ¿cómo podemos demostrar la esfericidad de la Tierra de manera visual y convincente sin necesidad de alcanzar grandes altitudes? La respuesta la podemos obtener realizando observaciones más sutiles y experimentos que podemos realizar desde la superficie terrestre, como en el caso que nos ocupa, aprovechando fenómenos naturales y principios físicos básicos para revelar la naturaleza curva de nuestro planeta.

Una de las observaciones más típicas que demuestra la curvatura terrestre es la del barco que se aleja o se acerca. Cuando se aleja, primero dejamos de ver el casco de la embarcación, pero aún podemos ver el mástil y la vela, hasta que por fin lo perdemos de vista. Y sucede al contrario cuando se acerca.

Los “terraplanistas” presentan varios argumentos para explicar el fenómeno del barco que desaparece en el horizonte. Primero, sostienen que la desaparición del barco se debe a la perspectiva y el punto de fuga, argumentando que los objetos simplemente se ven más pequeños a medida que se alejan. También hablan de las limitaciones de la visión humana y sugieren que la refracción atmosférica o espejismos pueden distorsionar lo que vemos a largas distancias. Algunos incluso afirman que, con un zoom óptico adecuado, se podría observar el barco completo, desafiando así la percepción común. Otros argumentan que el agua no siempre está nivelada, lo que podría influir en la visibilidad. Sin embargo, estos argumentos carecen de una base científica sólida y no logran explicar de manera convincente las observaciones consistentes del fenómeno en todo el mundo, que se atribuyen a la curvatura de la Tierra.

Todos sabemos que cuanto más alto subimos, más lejos podemos ver. Esto se debe a que partes de la Tierra que estaban ocultas, debido a su curvatura, ahora se

revelan porque tu posición ha cambiado. Si la Tierra fuese plana, esto no sería así. En una Tierra plana tendrías que ver hasta el final de la Tierra en cualquier sitio sin relieve, como el mar, por ejemplo. Desde Galicia deberías ver América con un telescopio lo suficientemente potente, pero no es posible por la curvatura de la superficie de la Tierra. Como esto se sabe desde antiguo, los faros se ponen en lo alto de una torre para que sean visibles desde mayor distancia.

La curvatura de la Tierra es de aproximadamente 12.65 centímetros en un kilómetro. Esto significa que en un kilómetro de distancia horizontal, la superficie de la Tierra "cae" unos 12.65 centímetros debido a su curvatura. Evidentemente nosotros no somos capaces de apreciar esa curvatura con nuestros ojos, por eso tenemos que echar mano de herramientas como las matemáticas. Pero la curvatura de la Tierra no sigue una función lineal, sino que sigue una función cuadrática. Esto significa que la cantidad oculta a nuestros ojos aumenta más rápidamente a medida que la distancia aumenta. Debido a esto, a una distancia de 1 km dejamos de ver 12,65 cm que quedan ocultos de, por ejemplo, la base de un edificio (Fig. 2); sin embargo, a una distancia de 100 km no dejaríamos de ver 12,65 metros, como cabría esperar en una función lineal, sino que dejamos de ver 785 metros. Lo que significa que a esa distancia no podríamos ver los edificios de una ciudad a menos que tuvieran 785 metros de altura. Para ver una ciudad a esa distancia deberíamos subirnos a una montaña.

Pero no hace falta irse a Lisboa o a las costas gallegas para intentar fotografiar la costa Este de los EEUU. Aquí mismo en la Playa de Gandía, al nivel del mar, podemos comprobar cómo es imposible ver Ibiza (incluso con los telescopios más potentes) por varias razones.

La distancia entre Gandía e Ibiza es de aproximadamente 100-110 km. A esta

distancia, la curvatura de la Tierra oculta una cantidad significativa de altura. Usando la "fórmula de curvatura"⁽¹⁾, a 110 km de distancia, aproximadamente 950.3 metros quedarían ocultos por el horizonte. El punto más alto de Ibiza (Sa Talaiassa) tiene una altura de 475 metros, que es menor que la altura oculta por la curvatura terrestre a esa distancia. Para ver Ibiza desde Gandía se necesita estar en un punto suficientemente elevado como, por ejemplo, una montaña.

¿A qué distancia está el horizonte observable?

Hay varios tipos de horizontes, los principales son el visible u observable, el celeste y el horizonte astronómico. Salvo el astronómico y el aparente, todos los demás son horizontes ópticos, pues están afectados por el fenómeno de la refracción.

No hay que confundir la curvatura terrestre con el horizonte observable. Como hemos comentado anteriormente, la superficie de la Tierra se curva aproximadamente 12,65 cm hacia abajo debido a su forma esférica. Sin embargo, el horizonte observable es la distancia máxima a la que podemos ver en línea recta antes de que la curvatura de la Tierra oculte lo que hay más allá (Fig. 2).

La distancia al horizonte observable varía significativamente según la altura del observador. A ras del suelo, es decir, a 0

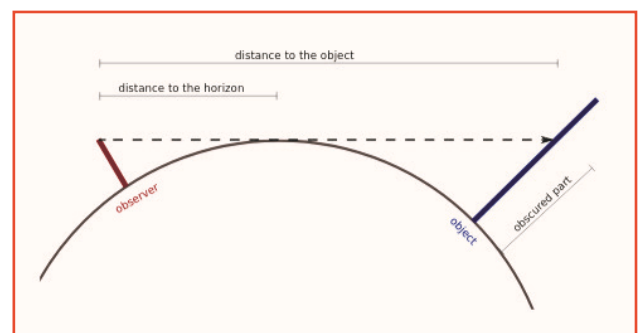


Figura 2: Ilustración de la ocultación parcial de objetos distantes debido a la curvatura terrestre.

metros de altura, el horizonte coincide con la posición del observador. Sin embargo, a 1 cm de altura, que coincidiría aproximadamente con la altura de nuestro ojo si pusiéramos pegada nuestra cara en el suelo, el horizonte observable estaría a 367 metros. Esta relación cambia drásticamente al elevar nuestro punto de vista. Para una persona de estatura promedio (alrededor de 1,70-1,80 metros) situada al nivel del mar, el horizonte se encuentra aproximadamente a 4,8 kilómetros de distancia; a 10 metros de altura, el horizonte visible lo encontramos a 11,3 km; a 100 metros de altura, a 35,7 km; a 1 km de altura, a 112,9 km y a 10 km de altura (altitud típica de crucero de un avión), a 357,1 km.

Esta variación en la distancia al horizonte se debe a la naturaleza esférica de nuestro planeta. A medida que aumentamos nuestra altura, "superamos" más de la curvatura terrestre, permitiéndonos ver más lejos. Esto explica por qué los faros se construyen en puntos elevados y por qué los vigías en los barcos antiguos se ubicaban en lo alto de los mástiles.

Este fenómeno es una prueba contundente de la esfericidad de la Tierra. En un planeta plano, la elevación no aumentaría significativamente nuestro alcance visual; teóricamente, podríamos ver hasta dónde nos permitieran los instrumentos ópticos. El horizonte observable a la altura de una persona promedio sería infinito, no habría un horizonte definido como lo conocemos en la Tierra esférica. En una superficie plana, la línea de visión se extendería indefinidamente sin ser interrumpida por la curvatura de la Tierra. Esto significa que, teóricamente, una persona podría ver hasta el "borde" del plano, si existiera tal borde, o hasta que otros factores como la atmósfera, obstáculos o los límites de la agudeza visual humana impidieran ver más lejos.

Sin embargo, en nuestra Tierra esférica, incluso con los telescopios más avanzados,

siempre habrá un límite impuesto por la curvatura del planeta. Esta realidad no solo afecta nuestra visión, sino que también influye en tecnologías como las comunicaciones por radio y la navegación marítima y aérea, que deben tener en cuenta la curvatura terrestre en sus cálculos y diseños.

Experimento básico de la puesta de sol

El experimento de la puesta de sol, fenómeno observable en la vida cotidiana, es una demostración práctica y accesible de la curvatura terrestre. Veamos cómo se desarrolla este experimento en diferentes escenarios:

En la playa, dos observadores situados a distintas alturas pueden comprobar la diferencia en el tiempo de la puesta de sol. El observador en la azotea de un edificio alto verá el sol durante unos minutos más que su compañero en la base. Esta diferencia se debe a que la curvatura de la Tierra oculta el sol primero para el observador más cercano al suelo. Mediante el uso de teléfonos móviles, pueden documentar y comparar en tiempo real sus respectivas experiencias.

Un escenario aún más ilustrativo sería colocar observadores en diferentes pisos de un rascacielos. En este caso, cada observador en un piso superior verá el sol por unos segundos más que el del piso inmediatamente inferior. Esta progresión gradual en la visibilidad del sol proporciona una clara demostración de cómo la curvatura terrestre afecta nuestra percepción del horizonte.

Quizás el ejemplo más dramático sería comparar la puesta de sol entre un observador en la base de una montaña y otro en su cima. La diferencia en el tiempo de visibilidad del sol sería aún más pronunciada, ofreciendo una prueba contundente de la curvatura de la Tierra. Este experimento no solo demuestra la esfericidad de nuestro

planeta, sino que también demuestra cómo la altura del observador influye directamente en la distancia del horizonte visible.

Observaciones de la curvatura terrestre desde la Playa de Cullera

El 9 de octubre de 2024, alrededor de las 11:00 horas, llevamos a cabo una serie de observaciones como parte de un estudio en la Playa de Cullera. Esta fecha es particularmente significativa, ya que coincide con el Día de la Comunidad Valenciana, lo que añade un contexto cultural interesante a nuestra investigación.

La elección de la Playa de Cullera como lugar de las observaciones no fue casual. Esta ubicación ofrece una combinación ideal de características geográficas y condiciones de visibilidad que la hacen perfecta para nuestro propósito. Situada en la costa mediterránea de la provincia de Valencia, Cullera proporciona una línea de visión clara hacia el mar y especialmente hacia la Playa de Gandía, lo que es esencial para nuestras observaciones.

La hora elegida vino condicionada por las condiciones atmosféricas y nuestra disponibilidad. Aunque no es la mejor hora del día, a las 11:00 horas (10:00 hora solar), el sol está lo suficientemente alto en el cielo para proporcionar una buena iluminación, pero no tanto como para causar deslumbramientos excesivos o distorsiones por el calor. Además, esta hora suele ofrecer condiciones atmosféricas relativamente estables, lo que es importante para nuestras mediciones y observaciones.

Lo ideal y más cómodo habría sido tomar los datos desde puntos a diferentes alturas en un mismo edificio. Sin embargo, ante la falta de disponibilidad de un lugar así, tuvimos que elegir una zona de la playa de Cullera donde pudiéramos recopilar datos desde diferentes alturas sin que variara

significativamente la distancia entre dichos puntos. El lugar seleccionado fue la "Cala Cap Blanc", junto al espigón rocoso. Esta ubicación nos proporcionó una variedad de alturas naturales desde las cuales realizar nuestras observaciones. Para asegurar la consistencia de nuestras mediciones, alineamos los diferentes puntos de observación con el faro de la escollera del Puerto del Grao de Gandía. Esta elección nos permitió mantener una línea de visión constante hacia nuestro punto de referencia, minimizando así las variables que podrían afectar nuestros resultados. Aunque no es el escenario ideal, esta configuración nos ofreció una oportunidad práctica para llevar a cabo nuestro estudio sobre la curvatura terrestre en condiciones reales.

Nuestro equipo de investigación llegó al lugar con antelación para preparar el equipo necesario y asegurarse de que las condiciones fueran óptimas. El estudio incluyó una serie de observaciones visuales, mediciones precisas y la recopilación de datos atmosféricos, todo ello diseñado para analizar la visibilidad a larga distancia y su relación con la curvatura de la Tierra.

Este estudio forma parte de un proyecto más amplio que busca proporcionar evidencia empírica sobre la forma de nuestro planeta, utilizando métodos accesibles y replicables. Esperamos que los resultados de este estudio no solo contribuyan al conocimiento científico, sino que también sirvan como una herramienta educativa para el público en general.

El objeto de estas observaciones era determinar si el brazo o escollera del Puerto del Grao de Gandía, situado a una distancia de más de 21 km, era visible desde el nivel del mar, y también qué visibilidad tenía a diferentes alturas en la playa.

Las condiciones del día fueron favorables, con buena visibilidad (45% de humedad), viento flojo de poniente y con el mar en

calma. Para llevar a cabo las observaciones, se utilizaron prismáticos 20X100, un trípode Manfrotto y la cámara fotográfica de un móvil OPPO de gama media. Se realizaron mediciones desde tres puntos distintos, cada uno a una altura diferente sobre el nivel del mar: el punto "A" a 0,50 m, el punto "B" a 7,50 m y el punto "C" a 25 m (Fig. 4). Esta variación en las alturas de observación permite evaluar cómo la curvatura de la Tierra afecta la visibilidad de objetos distantes a medida que el observador se eleva.

Este es un cálculo sin tener en cuenta otros factores como la visibilidad, la refracción atmosférica, etc. Hay que tener en cuenta que cuando la luz viaja a través de un medio que no es perfectamente uniforme, como el aire, se curva o refracta. Por ejemplo, la refracción puede producirse cuando la luz incide en un cúmulo de aire frío o en una corriente de aire caliente ascendente. Debido a esta refracción solemos ver más partes ocultas por el horizonte de lo que en realidad se debería esperar ver.

En la (Fig. 3) se muestra una imagen de Google Earth que ilustra la ubicación desde donde se tomaron los datos y el rango de distancia de los objetos fotografiados. El faro situado en el extremo del brazo del Puerto del Grao de Gandía se encuentra a 21,870 km de distancia del punto "B", que representa el punto medio desde donde se realizaron las fotografías y mediciones. El edificio más alto de la Playa de Bellreguard, visible justo detrás del faro, está a 25,350 km de distancia del mismo punto "B". La (Fig. 4) presenta otra imagen de Google Earth donde se señalan los diferentes puntos de toma de datos y fotografías. La (Fig. 5) muestra diferentes estructuras del Puerto del Grao de Gandía vistas con Google Earth. Las imágenes subsiguientes corresponden a fotografías tomadas desde estos puntos de



Figura 3: Línea visual en Google Earth que va desde la zona de toma de datos en la playa de Cullera hasta la playa de Bellreguard.

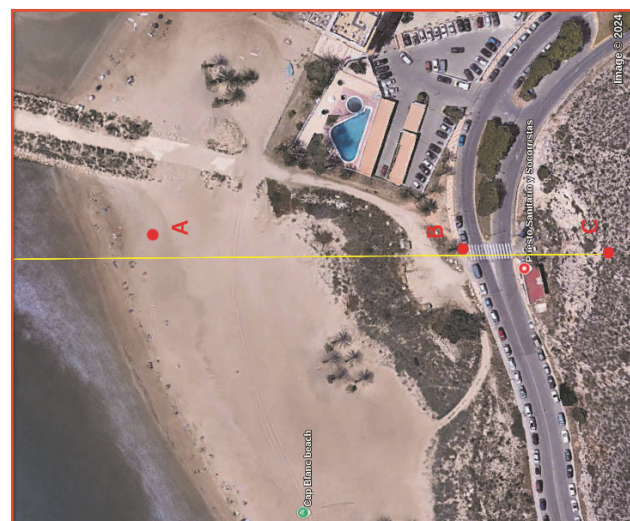


Figura 4: Puntos desde donde se han tomado los datos y fotografías.



Figura 5: Vistas del puerto de Gandía con Google Earth. Se puede apreciar la línea visual, la playa de Bellreguard y las estructuras del puerto de Gandía.

observación: la (Fig. 6) fue capturada desde el punto "A", la (Fig. 7) desde el punto "B", y la (Fig 8) desde el punto "C".

Para realizar los cálculos se ha utilizado la "Calculadora de la curvatura de la Tierra" disponible en línea, cuya dirección se incluye en las referencias. Los datos obtenidos para cada punto, que se pueden observar en la Fig. 4, son los siguientes:

PUNTO (A)

Distancia al brazo del Puerto de Gandía: 21,770 km

- Altura de visión de la fotografía: 0,5 m
- Distancia al horizonte: 2,520 km
- Parte ocultada teórica: 29,06 m

Distancia al edificio más alto de la Playa de Bellreguard: 25,350 km

- Altura de visión de la fotografía: 0,5 m
- Distancia al horizonte: 2,520 km
- Parte ocultada teórica: 40,53 m

PUNTO (B)

Distancia al brazo del Puerto de Gandía: 21,870 km

- Altura de visión de la fotografía: 7,5 m

- Distancia al horizonte: 9,780 km
- Parte ocultada teórica: 11,59 m
- Distancia al edificio más alto de la Playa de Bellreguard:* 25,370 km
- Altura de visión de la fotografía: 7,5 m
- Distancia al horizonte: 9,780 km
- Parte ocultada teórica: 10,03 m



Figura 6 (arriba): Fotografía desde el punto "A" (0,50 m sobre el nivel del mar) en la playa de Cullera. Se aprecian las partes superiores de edificios en las playas de Daimús y Bellreguard. Las partes inferiores quedan ocultas por la curvatura terrestre; **Figura 7 (centro):** Misma escena desde el punto "B" (7,50 m sobre el nivel del mar). Se observan más zonas inferiores de los edificios que en la Fig. 6, debido a la mayor elevación; **Figura 8 (abajo):** Vista desde el punto "C" (25 m sobre el nivel del mar). Se observan casi completamente las partes inferiores de las estructuras, evidenciando el efecto de la curvatura terrestre.

PUNTO (C)

Distancia al brazo del Puerto de Gandía:
21.930 km

- Altura de visión de la fotografía: 25 m
- Distancia al horizonte: 17,850 km
- Parte ocultada teórica: 1,30 m

Distancia al edificio más alto de la Playa de Bellreguard: 25,850 km

- Altura de visión de la fotografía: 25 m
- Distancia al horizonte: 17,850 km
- Parte ocultada teórica: 5 m

Análisis de visibilidad a diferentes alturas

Lo primero que nos puede llamar la atención es que las imágenes capturadas presentan limitaciones en la definición estructural de los edificios, originadas por dos factores principales: las características ópticas de los prismáticos utilizados y las condiciones lumínicas del momento. Los prismáticos 20x100, si bien proporcionan un aumento significativo y una luminosidad aceptable, no ofrecen la resolución suficiente para revelar detalles arquitectónicos precisos. Además, la posición solar, elevada y en un ángulo que genera contraluz, dificulta la nitidez y el contraste de las estructuras observadas.

Aunque estas limitaciones reducen la calidad de las imágenes, no afectan el propósito del estudio ni los resultados obtenidos. Estas condiciones técnicas y ambientales deben ser consideradas en la interpretación de los datos, pero no comprometen la validez de las conclusiones alcanzadas.

Figura 6: Fotografía tomada desde 0,50 m de altura sobre el nivel del mar.

En la Figura 6 se muestra una imagen capturada a 0,50 m de altura sobre el nivel del mar, abarcando las playas de Bellreguard (izquierda), Daimús (centro) y Gandía (derecha). Se observa que:

- El edificio más alto de la Playa de Bellreguard tiene más de la mitad de su base

oculta.

- El brazo o escollera del Puerto del Grao de Gandía no es visible.

- El faro de la escollera, situado entre los edificios de la playa de Bellreguard, queda oculto.

- Del edificio más alto de la Playa de Daimús solo se aprecia su parte superior o azotea.

- Las estructuras y naves del Puerto están parcialmente ocultas.

Figura 7: Fotografía tomada desde 7,50 m de altura sobre el nivel del mar.

La Figura 7 presenta la misma vista que la figura 6, pero desde una altura de 7,50 m sobre el nivel del mar. Se aprecia que:

- Los edificios de la Playa de Bellreguard son mucho más visibles, aunque sus bases y las estructuras de la playa aún no se aprecian.

- Las partes superiores de los edificios de la Playa de Daimús se hacen visibles.

- Las estructuras del Puerto de Gandía son discernibles.

- La escollera aún no es visible, pero el faro sí, aunque solo como una pequeña y corta línea negra.

Figura 8: Fotografía tomada desde 25 m de altura sobre el nivel del mar.

En la Figura 8 se presenta la misma vista que en las anteriores. Se observa que:

- Los edificios de la Playa de Bellreguard son completamente visibles, incluyendo algunas estructuras de la playa.

- La escollera es visible, aunque en un tono oscuro debido al contraluz.

- Los techos de las naves y otras estructuras del puerto son discernibles.

Discrepancias entre cálculos teóricos y observaciones realizadas

Según los cálculos obtenidos desde el punto "A", a 0,50 m de altura y a una distancia de 25,350 km, donde se encuentra el edificio

de 15 pisos en la playa de Bellreguard (que podemos ver en la Fig. 6), se espera que la parte oculta de su base respecto al horizonte sea de 40,53 m. Es decir, no se debería ver el edificio, ya que este mide unos 40 m de altura. Sin embargo, podemos comprobar que el edificio no queda completamente oculto, ya que la parte oculta corresponde a algo más de la mitad de su altura. Esto equivale a aproximadamente 25 m que quedan ocultos en la Fig. 6, y no a los 40,53 m que cabría esperar. Este hecho parece reforzar los argumentos de los terraplanistas; sin embargo, como veremos más adelante, podemos apreciar parte del edificio debido a la refracción atmosférica.

En cuanto al brazo o escollera del Puerto del Grao de Gandía, los cálculos obtenidos desde el punto "B", a 7,50 m de altura y 21,67 km de distancia, indican que la parte oculta que se espera obtener es de 11,59 m. Debido a la refracción, la parte oculta captada en este punto fue menor, pero aún así insuficiente para poder ver la escollera, que en su punto más alto tiene 3 m de altura sobre el nivel del mar. Sin embargo, desde este punto "C", a 25 m de altura, los cálculos indican que solo hay 1,30 m ocultos a nuestros ojos. No obstante, debido al efecto de la refracción atmosférica, logramos ver la escollera prácticamente completa en su altura.

Con los demás elementos que componen el paisaje de las figuras 6, 7 y 8 ocurre algo similar, es decir, dependiendo de la distancia y de la altura en que se toman los datos, tenemos unos resultados diferentes, pero siempre con una discrepancia entre los cálculos teóricos y las observaciones visuales. Pero no hay ningún misterio oculto en esto, como algunos podrían pensar. Se trata simplemente de fenómenos físicos que forman parte de la realidad que observamos.

Entonces, ¿a qué se debe esta diferencia? La discrepancia entre los cálculos teóricos y lo que observamos en la realidad se debe

principalmente a la refracción atmosférica, aunque también a otros factores que afectan la visibilidad. Estos fenómenos naturales, aunque complejos, son bien conocidos en el campo de la óptica atmosférica y la meteorología:

- Refracción atmosférica: Este fenómeno óptico permite ver objetos que teóricamente deberían estar bajo el horizonte. La luz se curva alrededor de la Tierra, aumentando la visibilidad más allá de lo que los cálculos geométricos puros sugieren.
- Condiciones atmosféricas: La visibilidad depende en gran medida de factores como ausencia de nubes bajas y medias, bajos niveles de humedad relativa, mínima presencia de aerosoles en suspensión (contaminación).
- Posición del sol: Las mejores condiciones de visibilidad se dan 2-15 minutos después de ponerse el sol tras el motivo observado, aumentando el contraste.
- Transmisividad luminosa de la atmósfera: Este factor, difícil de cuantificar debido a su naturaleza variable, afecta significativamente la visibilidad real.
- Características del objeto observado: Objetos oscuros que contrastan con el cielo son más visibles que objetos claros o situados cerca de un fondo terrestre.
- Variabilidad de las condiciones: La visibilidad puede cambiar rápidamente debido a cambios en las condiciones atmosféricas.

En nuestro caso específico de la figura 6, la discrepancia entre la zona oculta teórica de 40,53 m calculada y los aproximadamente 25 m observados en el edificio de Bellreguard se debe probablemente a esta combinación de factores, siendo el principal la refracción atmosférica. Este fenómeno óptico permite que la luz se curve ligeramente al atravesar

capas de aire de diferente densidad, lo que resulta en una visibilidad mayor de la que se esperaría basándose únicamente en la curvatura terrestre. Los cálculos teóricos basados únicamente en la curvatura de la Tierra no tienen en cuenta estos factores atmosféricos complejos, lo que explica esta discrepancia entre la teoría y nuestras observaciones reales.

Aunque esta serie de factores podría ser malinterpretada por quienes cuestionan la esfericidad de la Tierra, ya que permiten observar más superficie terrestre de lo que se esperaría teóricamente, no contradicen la curvatura terrestre, sino que son parte integral de la realidad física de nuestro planeta. Estos efectos, principalmente la refracción atmosférica, "extienden" nuestra visión más allá del horizonte geométrico, pero no alteran la forma fundamental de la Tierra.

Conclusiones

Este análisis secuencial de imágenes tomadas a diferentes alturas proporciona una evidencia visual convincente de la curvatura de la Tierra y sus efectos en la percepción del horizonte. Hemos podido comprobar con nuestros propios ojos que a medida que aumenta la altura del observador, se revelan progresivamente más elementos del paisaje, lo que no ocurriría en una superficie plana. Este fenómeno tiene implicaciones en diversos campos:

- Navegación marítima: Explica por qué los vigías en barcos antiguos se ubicaban en lo alto de los mástiles, maximizando así su rango de visión.

- Diseño de infraestructuras costeras: Justifica la construcción de faros en puntos elevados para aumentar su alcance visual.

- Telecomunicaciones: Influye en la ubicación

de antenas y satélites, que tienen en cuenta la curvatura terrestre para optimizar la cobertura de señal.

- Cartografía y topografía: Demuestra la importancia de considerar la curvatura terrestre en la elaboración de mapas precisos, especialmente para grandes distancias.

- Astronomía: Ayuda a comprender por qué diferentes regiones de la Tierra ven diferentes partes del cielo nocturno.

- Meteorología: Explica cómo la visibilidad de fenómenos atmosféricos distantes varía con la altura del observador.

Creemos que este estudio visual proporciona una herramienta educativa accesible para demostrar la esfericidad de la Tierra. Contrasta con métodos matemáticos más abstractos, ofreciendo una prueba tangible y comprensible para un público amplio. También desafía las teorías de la Tierra plana, proporcionando evidencia observable que contradice sus postulados. En el contexto de la historia de la ciencia, este tipo de observaciones se alinea con los métodos empíricos utilizados por antiguos astrónomos y navegantes para comprender la forma de nuestro planeta. Demuestra cómo, con herramientas relativamente simples y observaciones cuidadosas, se pueden obtener conclusiones profundas sobre la naturaleza de nuestro mundo.

Animamos a todos los socios de la Agrupación Astronómica de la Safor, y a todos aquellos que quieran comprobar la curvatura de la Tierra, a realizar sus propias observaciones y cálculos. Este tipo de experiencia práctica no solo es educativa, sino también fascinante, ya que nos permite verificar por nosotros mismos un fenómeno natural que a menudo damos por sentado.

Podemos realizar el estudio desde muchos lugares, aprovechando la diversidad

geográfica de nuestras comarcas y costas. Por ejemplo, un experimento interesante sería intentar ver la isla de Ibiza o la de Mallorca desde diferentes puntos de nuestra costa. La playa de Xeraco ofrece una excelente línea de visión hacia el mar, y combinarla con observaciones desde la cima del Mondúver podría proporcionar datos comparativos valiosos. De manera similar, Denia y el Montgó ofrecen otra excelente oportunidad para este tipo de observaciones.

Pero no nos limitemos solo a estos lugares. Nuestra costa está llena de puntos de observación potenciales. Las playas de Oliva, Cullera o El Saler, por ejemplo, podrían servir como excelentes puntos de partida para nuestras observaciones a nivel del mar. Para complementar estas, podríamos utilizar puntos elevados como la Sierra de Bernia, el Puig Campana cerca de Benidorm, o incluso el Peñón de Ifach en Calpe. Además, no debemos olvidar que este tipo de observaciones no se limitan solo a la visibilidad de islas. Podemos aplicar los mismos principios para observar barcos que se alejan en el horizonte, o incluso estructuras costeras distantes como faros o edificios altos en otras ciudades costeras.

Animamos a todos los participantes a documentar cuidadosamente sus observaciones. Esto incluye registrar la fecha y hora exactas, las condiciones meteorológicas, la altura precisa del punto de observación, y cualquier equipo utilizado (como binoculares o telescopios). Las fotografías o videos de las observaciones, además de ser una excelente manera de difundir este tipo de estudios a través de las redes sociales, pueden resultar extremadamente útiles para el análisis posterior. Estos registros visuales no solo documentan las condiciones del momento, sino que también permiten una revisión más detallada de los datos recogidos.

Este tipo de actividad no solo es una excelente manera de verificar principios

científicos, sino también una oportunidad para disfrutar de nuestro hermoso entorno natural. Ya sea que estemos en la cima de una montaña o en la orilla del mar, estas observaciones nos conectan con el mundo que nos rodea de una manera especial. ■

Referencias:

Omni Calculator. (s.f.). Calculadora de la curvatura de la Tierra. <https://www.omnicalculator.com/es/fisica/curvatura-de-la-tierra>

Francisco Pavía Alemany. (2013). El cálculo del radio de la tierra desde mi jardín. Huygens, 105, 5-14. <https://kosmos.astrosafor.net/Huygens/2013/105/huygens-105-radio.pdf>

Evidencias empíricas de la forma esférica de la Tierra:

Wikipedia. (s.f.). "Evidencias empíricas de la forma esférica de la Tierra". Recuperado de https://es.wikipedia.org/wiki/Evidencias_emp%C3%ADricas_de_la_forma_esf%C3%A9rica_de_la_Tierra

Historia y negacionismo de la esfericidad terrestre:

Fundación Descubre. (s.f.). "Esfericidad de la Tierra: un negacionismo científico de la era digital". Recuperado de <https://fundaciondescubre.es/noticias/el-mito-de-la-tierra-plana-y-el-verdadero-caso-de6955/>

National Geographic. (s.f.). "La Tierra es redonda, y así es como los científicos lo saben, sin ir al espacio". Recuperado de National Geographic en Español. <https://www.ngenespanol.com/el-espacio/la-tierra-es-redonda-y-asi-es-como-los-cientificos-lo-saben/>

Experimentos prácticos para demostrar la curvatura:

Física y Química en Casa. (s.f.). "Experimentos para demostrar la curvatura de la Tierra". Recuperado de <https://www.fisicayquimicaencasa.com/experimentos-para-demostrar-la-curvatura-de-la-tierra/>