

## LOS RELIEVES INVERTIDOS EN LOS GLOBOS VIRTUALES.

Miguel A. Bernabé-Poveda<sup>1</sup> y María-Ester González<sup>2</sup>

### Resumen

Recibido: 20 de Octubre de 2014  
Evaluado: 03 de Diciembre de 2014  
Aceptado: 12 de enero de 2015

Una mayoría de los usuarios de los Globos Virtuales (Google Maps, Microsoft Bing, Apple Maps etc.) ve un relieve que es inverso al real (cordilleras que en realidad son vaguadas y ríos que en realidad son cadenas montañosas) sin ser conscientes de ello. Este hecho ocurre en un 80% de los usuarios de Globos Virtuales que observa territorios del Hemisferio Norte. El fenómeno no ocurre en el Hemisferio Sur por estar iluminados los territorios por el Sol desde el Norte. El hecho de que una mayoría del Hemisferio Norte terrestre esté iluminado por el Sol desde el Sur, conduce a que estén iluminadas las vertientes sur de los territorios y en sombra las vertientes norteñas. Esto va en contra del principio cartográfico que dice que para comprender fácilmente el relieve de un territorio, el foco luminoso debe estar situado hacia la parte superior de la imagen. En caso contrario la mayoría de los observadores percibirá el terreno con un relieve inverso al real, cuestión ésta que pasa desapercibida para la mayoría de los usuarios de Globos Virtuales. Este trabajo de difusión pretende evidenciar este problema, explicar las limitaciones perceptivas visuales, mostrar el efecto que ocurre debido a que el Hemisferio Norte esté iluminado desde el sur y mostrar alguna solución que podrían ser implementada fácilmente por los responsables de los geoportales que utilicen estos Globos Virtuales o que utilicen ortoimágenes propias como base georreferenciadora de sus geoportales. El uso extensivo que se hace de las imágenes de los territorios ofrecidas por los Globos Virtuales, fundamentalmente por Google Maps, y su incorporación en multitud de aplicaciones que utilizan las imágenes terrestres como base para mostrar otras características del territorio, recomiendan que el relieve del terreno que perciba el usuario sea perceptualmente adecuado. Además, estos Globos Virtuales que proporcionan en su mayoría un relieve inverso, son utilizados en bastantes geoportales institucionales (catastros, visualizadores de las Infraestructuras de Datos Espaciales), como base para referenciar otras características del terreno, siendo esencial la visualización correcta del relieve.

**Palabras clave:** Pseudorrelieve. Globos Virtuales. Inversión del relieve. Visualizadores cartográficos

<sup>1</sup>Español. Ingeniero T. en Topografía. Licenciado en Bellas Artes. Doctor en Filosofía y Ciencias de la Educación por la UNED (España). Becario PROMETEO. Secretaría Nacional de Enseñanza Superior, Ciencia y Tecnología (SENESCYT). Gobierno del Ecuador. Correo electrónico: ma.bernabe@gmail.com

<sup>2</sup>Argentina. Licenciada en Geografía. Doctora en Ingeniería Geográfica por la UPM (España). Becaria PROMETEO. Secretaría Nacional de Enseñanza Superior, Ciencia y Tecnología (SENESCYT). Gobierno del Ecuador. Correo electrónico: geoester@gmail.com

**INVERSE RELIEFS IN VIRTUAL GLOBES.**Miguel A. Bernabé-Poveda<sup>1</sup> y María-Ester González<sup>2</sup>

Recibido: 20 de Octubre de 2014  
 Evaluado: 03 de Diciembre de 2014  
 Aceptado: 12 de enero de 2015

**Abstract**

Most users of Virtual Globes (Google Maps, Microsoft Bing, Apple Maps etc.) interpret images with an inverse relief (they see ridges that are actually valleys and rivers that are actually mountain ranges) being unaware of it. This happens in 80% of Virtual Globe users who observe land in the Northern Hemisphere. The phenomenon does not occur in the Southern Hemisphere because the land is illuminated by the Sun from the north. The fact that most of the Earth's Northern Hemisphere is illuminated by the Sun from the south makes southern slopes be illuminated and northern slopes be in shadow. This goes against the mapping principle stating that in order to easily understand the relief of a territory the light source must be located towards the top of the image. Otherwise most observers will perceive the land with an inverse relief, an issue that goes unnoticed for most users of Virtual Globes. This paper aims at showing evidence of this problem, explaining visual perceptual limitations, showing that the effect occurs because the Northern Hemisphere is illuminated from the south and providing some solution that could be easily implemented by those responsible for geoportals that use these Virtual Globes or use their own orthoimagery as georeferencing basis for their geoportals. The wide use made of land pictures offered by Virtual Globes, mainly by Google Maps, and their inclusion in a great number of applications that use land images as a basis to show other land features, require that the land relief perceived by the user should be perceptually adequate. Moreover, these Virtual Globes providing mostly an inverse relief are used in many institutional geoportals (Cadastral, displays of Spatial Data Infrastructures) as the basis for referencing other land features and, therefore, a correct display of the relief is essential.

**Keywords:** False relief. Virtual Globes. Relief inversion. Map visualization software.

## Introducción

El idioma español tiene expresiones contundentes para afirmar que algo es absolutamente real: “*Eso lo he visto yo con mis propios ojos*”. Sin embargo, se puede falsear lo percibido por nuestros sentidos de manera que lo que creemos cierto sea muy distinto a lo real. Todos nuestros sentidos pueden ser engañados y generar en nuestra percepción una idea falsa. Las ilusiones ópticas [1] las auditivas [2] o las táctiles [3] son bien conocidas. En el mundo de la cartografía estos engaños o ilusiones perceptivas pueden provocar visualizaciones erróneas que podrían ser previstas y en su caso corregidas. Este pseudoeфекto visual, que en principio puede parecer un divertimento, proporciona una información morfológica del terreno muy alejada de la realidad y de lo deseado por quienes ofrecen la información. En este trabajo se ofrece un acercamiento a la percepción visual y al condicionante exigido para ver adecuadamente un relieve a través de un medio plano (fotografía, monitor, etc.). A continuación se hace un repaso a la situación del Sol respecto a la Tierra y las implicaciones que la situación del Sol tiene en la comprensión del relieve que proporcionan las imágenes aéreas. Posteriormente se muestra una colección de imágenes del territorio en las que la mayoría de los observadores verá un relieve inverso al real y otra colección como comprobación de la existencia de ese pseudoeфекto. Finalmente se presenta una posible solución y las conclusiones.

## La percepción

Somos conscientes de lo que nos rodea gracias a los sentidos. Dos de ellos nos informan acerca de lo que ocurre en nuestro propio cuerpo (gusto y tacto) y los otros tres nos informan de lo que ocurre en el exterior

(vista, oído y olfato). De estos últimos, la vista y el oído nos informan con bastante precisión acerca de la dirección y, de manera limitada, de la distancia en la que ocurren las cosas, gracias a disponer de dos ojos (estereoscopia) y dos oídos (estereofonía).

Esa información visual o aural, llega en el caso de la visión como resultado de la incidencia de la energía luminosa en las células retinianas del fondo del ojo o en el caso de los sonidos en forma de ondas capaces de hacer vibrar nuestros órganos auditivos. En el primer caso esas células retinianas al recibir la luz sufren diferentes cambios químicos en el fотopigmento llamado rodopsina [4] que se traducen en cambios de potencial eléctrico que a través del nervio óptico llegan al cerebro. El cerebro procesa esa información en tiempo real y proporciona a nuestro entendimiento una imagen de lo que nos rodea. Dependiendo de la habilidad de nuestro cerebro y de las interferencias perceptivas, el resultado será más o menos acertado.

## Los errores de la percepción

El proceso de comprender lo que nos rodea, proporcionándonos una imagen de nuestra realidad externa, a veces no funciona correctamente. Nuestra percepción yerra o tiene dificultades en ciertos casos. Innumerables ejemplos denominados “ilusiones ópticas” nos evidencian limitaciones perceptivas en ciertas circunstancias.

Como cartógrafos (e interesados en conocer la comunicabilidad de las imágenes de los mapas) nos parecieron interesantes las limitaciones perceptivas que pueden falsear la información de los mapas (dejando aparte el “falseamiento” controlado producido por las propias proyecciones cartográficas o por la equívoca utilización de las variables visuales (Bertin, 1964 y 1988) sin seguir los dictados de la semiología gráfica). Los falseamientos perceptivos visuales de tamaños y lon-

gitudes, de direcciones, de inducción al movimiento, de curvaturas, de contrastes, de postimágenes, de tono y valor de los colores [3], pueden producir incidencias insignificantes en la percepción de los mapas si las comparamos con las relacionadas con la percepción del relieve.

### El pseudorrelieve

Son bien conocidas las ilusiones ópticas de figuras perspectivas reversibles, como la escalera de Schroder (fig. 1) o el Cubo de Neckert (fig. 2) que proporcionan interpretaciones visuales dobles o la variación de ésta última que proporciona hasta tres lecturas distintas (fig. 3). Una buena colección de alteraciones debidas a engaños perceptivos puede verse en [5] y muchas otras páginas web.

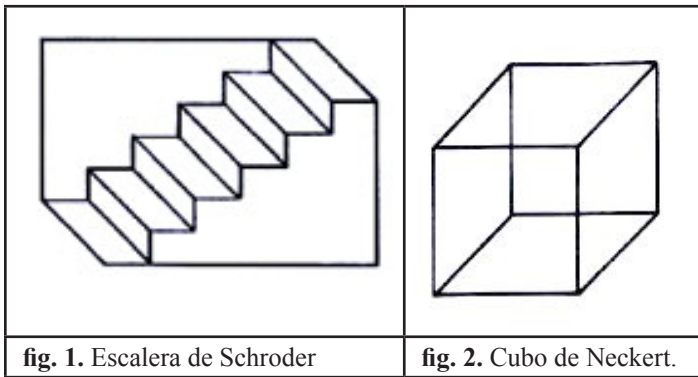


fig. 1. Escalera de Schroder

fig. 2. Cubo de Neckert.

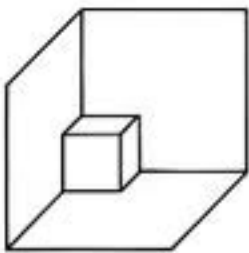


fig. 3. Variación del Cubo de Neckert que proporciona tres figuras diferentes

En las ilusiones ópticas, la percepción viene condicionada por la duplicidad (o triplicidad) de posibles y asumibles soluciones perspectivas. Es bien conocido el caso de una misma imagen que se convierte de bajo relieve (fig. 4) en alto relieve (fig. 5) simplemente girándola 180°



fig. 4. Escritura cuneiforme. Mesopotamia (3.000 A.C). Signos realizados incidiendo con una caña sobre barro tierno. Percibimos que la luz ilumina desde el ángulo superior izquierdo. (Fuente: a partir de una imagen de <http://moblog.whmsoft.net/>)



fig. 5. La misma imagen pero girada 180°. El relieve se invierte debido a que la percepción no entiende que la luz pueda llegar desde el ángulo inferior derecho y para evitarlo, el cerebro invierte el relieve. El lector puede hacer la prueba de inversión perceptiva imprimiendo la imagen sobre papel y girándola.

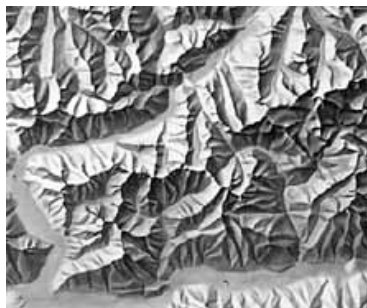
### El pseudorrelieve y los mapas

Desde los inicios de la representación del relieve en los mapas impresos (Patterson, 2001, 2002, 2004, 2011), se sabe que para que el relieve sea correctamente percibido, la fuente de luz que ilumina los accidentes

geográficos debe situarse como si llegara del noroeste de la hoja. Los ejemplos que se muestran (fig. 6, 7 y 8), provenientes de la web reliefshading [6], que así lo evidencian claramente. La figura 7 muestra una parte del relieve dibujado por el cartógrafo Mayek que se observa en la figura 6. Ese relieve se ve correctamente y puede verse hacia el suroeste una zona plana que corresponde a la superficie de un río. La sensación es que ese río se desplaza por la base de las montañas y que éstas se elevan marcando su línea de crestas. Para comprobar la dificultad que también tiene nuestra percepción para leer relieves iluminados desde el sur, no tenemos más que voltear 180° la figura 7. Al voltear ese paisaje (fig. 8), que estaba iluminado desde el NO, debería verse ahora iluminado desde el SE. Sin embargo, la percepción no admite que el foco luminoso esté al SE e invierte el relieve para que éste siga estando iluminado desde el NO percibiendo ahora un relieve inverso al anterior.



**fig. 6.** El cartógrafo suizo Karl Mayek (hacia 1950) creando manualmente un relieve que solía hacerse con aerógrafo o lápiz. Fuente [4]



**fig. 7.** Detalle del mapa de la figura anterior. El relieve es comprendido correctamente por la percepción, situando los ríos en el fondo de los valles. Fuente [4]

No está claro por qué ocurre esa inversión perceptual. En un trabajo reciente (Bernabé y Çöltekin, 2014) realizado con imágenes de satélite, se ha comprobado que hay variaciones perceptivas en la diversidad de más de 500 individuos consultados y que los resultados no permiten generalizar si el fenómeno ocurre de la misma manera en la totalidad de la población. Si vamos girando poco a poco la fotografía de un relieve (fig. 9), a cada observador (si es que ese fenómeno le ocurre) se le invertirá el relieve en uno de los pasos (b), (c), (d), (e). Finalmente el paisaje aparecerá con el relieve invertido.



**fig. 9.** Al girar la figura desde (a) hasta (e) nuestra percepción invierte el relieve ¿Cuándo? A cada cual le ocurrirá en un paso diferente. Habrá incluso más de un 20% a quienes no se les invertirá el relieve espontáneamente.

La imagen de la figura 10 representa un terreno en el que se ha aplicado un sombreado mediante un programa informático colocando la fuente luminosa al NW. Se muestran además las curvas de nivel. Los ríos y las carreteras cercanas (líneas negras intensas) se desplazan por el fondo de los valles. La imagen de la figura 11 corresponde al mismo paisaje que la figura 10, pero aplicando luces en las laderas sur y sombra en las opuestas. En este caso, la percepción no entiende ese paisaje iluminado desde el sur y proporciona la sensación de un relieve inverso: ríos y carreteras parecena-hora correr por lo alto de las cumbres. Si a ese relieve de la fig. 11 se le aplica un filtro de manera que se obtenga la imagen negativa (fig. 12), el relieve volverá

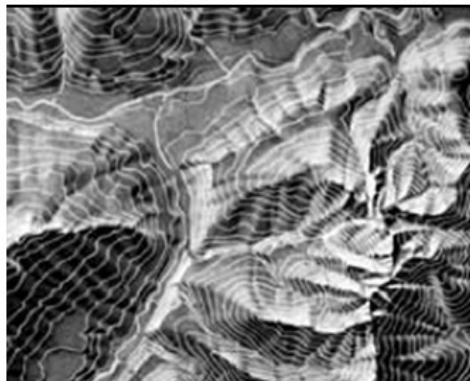
a ser entendido correctamente por la percepción.



**fig. 10.** Paisaje iluminado desde el NW



**fig. 11.** El mismo paisaje de la fig. 10 iluminado desde el SE. Lo que en la fig.10 eran montañas, ahora son valles.



**fig. 12.** El negativo fotográfico de la figura 11 (lo que era claro se transforma en oscuro y viceversa). De nuevo el relieve vuelve a percibirse correctamente

Las figuras 13 y 14 muestran un caso excepcional: el mapa de la misma zona realizado en dos épocas distintas [4]. En el de 1932, iluminado desde el SE (fig.13), el relieve se ve invertido con los ríos corriendo inverosímilmente a lo largo de las crestas de las montañas y en otro de 1945 iluminado desde el NW (fig.14). Aunque pueda parecer un error del cartógrafo, el hecho de iluminar el mapa de la figura 13 poniendo el foco luminoso al sur, y produciendo en una gran mayoría de los observadores un relieve inverso al real, proporciona sin embargo información verdadera sobre qué laderas son las que en la realidad están soleadas y cuáles son las que están umbrías, pues en Suiza como en todos los países al norte del Trópico de Cáncer, el Sol siempre ilumina las laderas meridionales.



**fig. 13.** Iluminación desde el SE. Las carreteras y los ríos parecen discurrir por lo alto de las montañas debido a la inversión perceptual que realiza nuestro cerebro. (Fuente [4])



**fig. 14.** Iluminación desde el NW. Los ríos discurren ahora por los valles, aunque erróneamente aparecen en sombra las laderas sur. (Fuente [4])

## La iluminación de la Tierra

Las imágenes de relieves terrestres iluminadas desde el Sur suelen ser vistas con un relieve inverso. Esta afirmación quedó en evidencia en el trabajo citado (Bernabé y Çöltekin, 2014) que dio como resultado que el relieve de las imágenes situadas en el Hemisferio Norte era malinterpretado por un 60% de la población (llegando en algunos ejemplos al 85%) mientras que el relieve del Hemisferio Sur era malinterpretado sólo por un 20%. Estos datos son conformes con la clásica afirmación de los cartógrafos que dice que para facilitar la percepción del relieve, éste debe estar iluminado desde el noroeste. Según eso, en el caso de las fotografías aéreas e imágenes satelitales de los territorios situados en el Hemisferio Norte, generarán un problema pues la principal fuente de iluminación de la Tierra es el Sol, que no ilumina toda la esfera terrestre desde el Sur. El Sol, en su movimiento aparente, se desplaza sobre un plano (la eclíptica) que forma un ángulo de  $23^{\circ}27'$  respecto al plano del Ecuador (fig. 15).

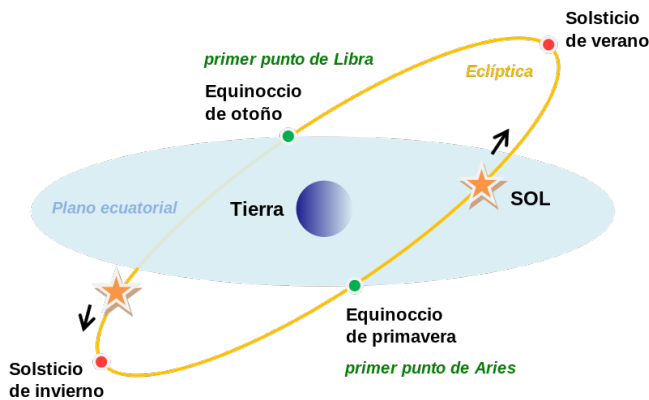


fig. 15. El plano de la eclíptica por el que se desplaza el Sol en su movimiento aparente y el plano del ecuador terrestre se interseccionan bajo un ángulo de  $23^{\circ}27'$  (Fuente: [http://es.wikipedia.org/wiki/Oblicuidad\\_de\\_la\\_ecl%C3%ADptica](http://es.wikipedia.org/wiki/Oblicuidad_de_la_ecl%C3%ADptica))

Este ángulo determina la posición de los Trópicos sobre la Tierra (fig. 16) y las estaciones anuales (fig. 17a). Entre ambos trópicos (Cáncer a  $23^{\circ}27'$  al norte del Ecuador y Capricornio a  $23^{\circ}27'$  al sur del Ecuador) el Sol está a veces hacia el Sur y otras hacia el Norte, pasando dos veces al año el Sol por el zenit de todos los lugares comprendidos entre esos dos paralelos.

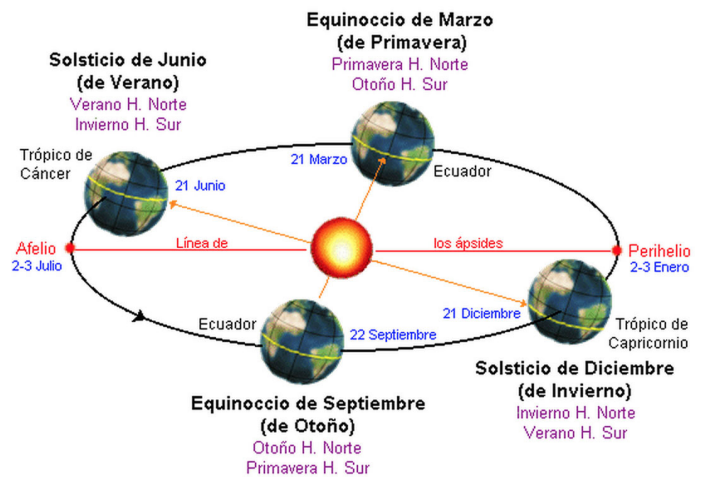


fig. 16. La inclinación del eje de la Tierra respecto a la eclíptica conduce a que el Sol sea perpendicular a la tierra en diferentes épocas del año, moviéndose esta perpendicularidad desde el trópico de Cáncer (21 de junio) al de Capricornio (21 de diciembre). (Fuente: <http://filosofiaclimatica.blogspot.com/2014/12/solsticio-20122014.html>)

Fuera de esa franja intertropical, el Sol no pasa nunca por el zenit de manera que al sur del Trópico de Capricornio el Sol estará siempre hacia el Norte y al norte del Trópico de Cáncer el Sol siempre estará hacia el Sur (fig. 17b). Esta es la razón es por la que una mayoría de los usuarios de los visualizadores de mapas en la Web, tendrán la sensación de relieves inversos cuando observen imágenes satelitales de lugares situados al norte del Trópico de Cáncer. Esta información es bien sabida popularmente: en el Hemisferio Norte las fachadas de las casas orientadas al sur son soleadas mientras que las

fachadas orientadas al norte son más frescas; lo contrario ocurre en el hemisferio Sur.

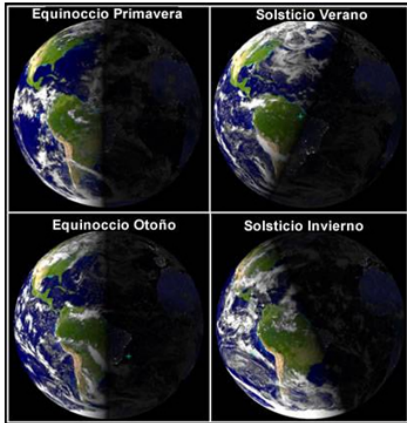


fig. 17 (a). Iluminación anual de la Tierra. (Fuente: <http://blogs.eluniversal.com.mx/>)

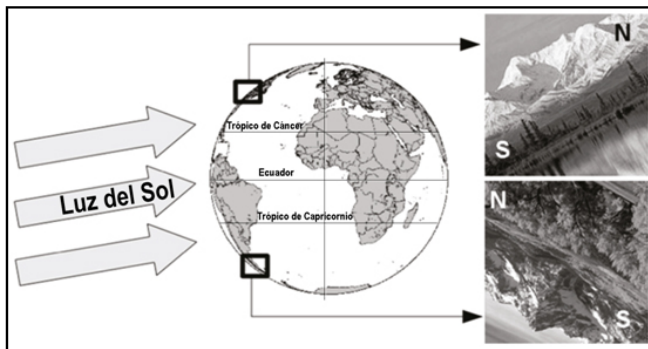


fig. 17 (b). Los relieves situados al norte del Trópico de Cáncer tendrá las laderas sur iluminadas por el Sol y las laderas norte en sombra. Lo contrario ocurre en los relieves situados al sur del Trópico de Capricornio. La imagen correspondería al Solsticio de verano. (Fuente: Bernabé- González, 2015)

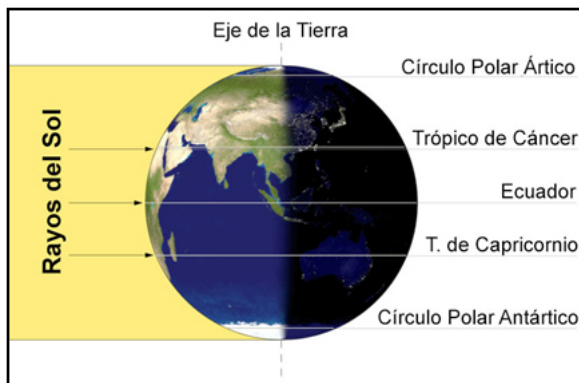


fig. 17 (c). Dirección de los rayos solares en los equinoccios. (Fuente: Wikipedia "Equinocio")

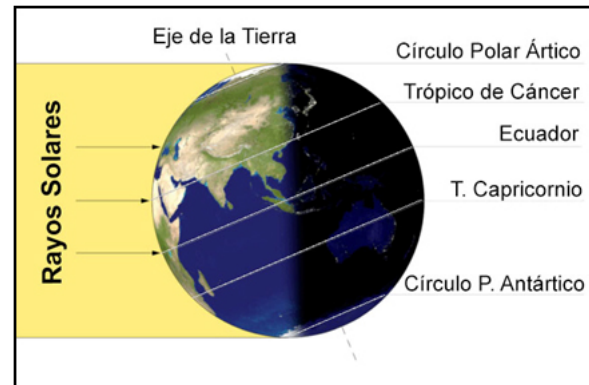


fig. 17 (d). Los rayos solares en el solsticio de verano. En el solsticio de invierno el polo sur sería el iluminado por el Sol. (Fuente: Wikipedia "Solsticio")

### Consecuencias de la situación del Sol

Así pues, fuera de la zona intertropical, el Sol del mediodía estará siempre marcando el Sur (Hemisferio Norte) o en el Norte (Hemisferio Sur) desplazándose a lo largo del día de Este a Oeste. Consecuentemente, los relieves del Hemisferio Norte tendrán soleadas las vertientes sur y en el Hemisferio Austral estarán soleadas las vertientes norte. Esta circunstancia en el Hemisferio Norte, conduce a que las imágenes satelitales que muestran los servicios de mapas sean muy a menudo equívocas, pues están iluminadas de manera contraria a lo que espera nuestra percepción (que es que el foco situado en la parte alta de la imagen) y proporcionan un relieve equívoco percibiéndose los valles como cadenas montañosas y éstas como valles.

Este fenómeno es lo que se ha llamado de diferentes maneras como "*The relief inversion effect*" (Imhof, 1967; Bernabé-Poveda, Manso-Callejo, y Ballari, 2005; Patterson, 2013), "*The terrain reversal effect*" (Zhou, Zhang, and Gao, 2006; Bernabé-Poveda, Sánchez-Ortega, and Çöltekin, 2011), "*Relief inversion fallacy*" (Kettunen and Sarjakoski 2009) o "*False topographic perception phenomenon*" (Saraf et al. 1996) y está también relacionado con el llamado "Efecto de la máscara ro-



tatoria” que modifica su sentido de giro para percibir siempre el relieve convexo de una cara y no el cóncavo con el que la percepción no está habituada. [7]

### Las imágenes satelitales de la franja intertropical

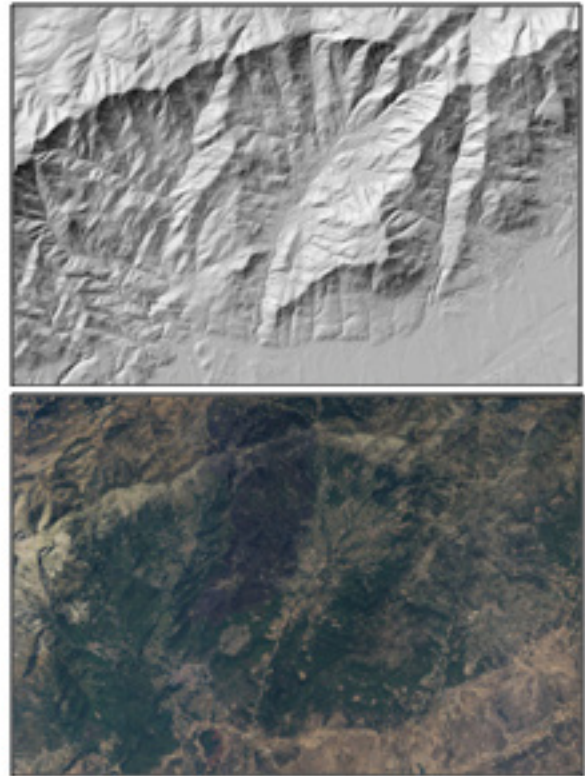
El Sol está a lo largo del año en diferentes orientaciones N-S. En las fechas correspondientes a los equinoccios (21 de marzo y 21 de septiembre), el Sol pasa por la vertical del Ecuador (fig. 17 c). En los Solsticios el Sol alcanza su máxima separación del Ecuador, llegando al zenit del Trópico de Cáncer el 21 de junio (fig. 17 d) y el del Trópico de Capricornio el 21 de diciembre. Por lo tanto, desde el 21 de marzo al 21 de septiembre el Sol se desplazará por el zenit de latitudes norteñas situadas entre el Ecuador y el Trópico de Cáncer retornando al Ecuador el 21 de septiembre. A partir de esa fecha bajará por latitudes sureñas hasta el Trópico de Capricornio volviendo a subir de nuevo para terminar su ciclo en el Ecuador el 21 del siguiente marzo. Resumiendo: (a) el Hemisferio Norte está siempre iluminada por el Sol desde el Sur; (b) el Hemisferio Sur está siempre iluminado por el Sol desde el Norte y (c) las zonas intertropicales, dependiendo de su latitud, están iluminadas unas épocas desde el Norte y otras desde el Sur.

### Los modelos de sombras del terreno

Los modelos de sombras son construcciones infográficas realizadas a partir de la digitalización del relieve de un terreno, lo que se conoce como un Modelo Digital del Terreno (MDT) y la aplicación sobre él de un foco de iluminación.

La imagen de la izquierda de la figura 18, muestra el relieve de la Cordillera de Gredos en la zona de Arenas de San Pedro (Ávila, España), iluminado con luz pro-

veniente del NW. La de la derecha es la imagen aérea del mismo terreno.



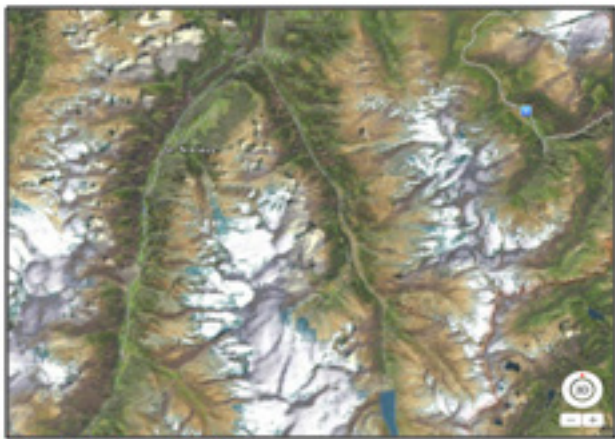
**fig. 18.** Dos representaciones del mismo territorio. La primera es un modelo digital del terreno al que se le ha aplicado una iluminación desde el NW y la segunda es la imagen satelital del mismo terreno. (Fuente: autores a partir de datos del IGN de España y de Google Maps)

En este caso, como en todo lugar situado por encima del Trópico de Cáncer, el Sol estará situado en algún lugar “hacia el Sur”. ¿Son similares los relieves de ambas imágenes? La respuesta para una mayoría de los observadores es que en la de la izquierda aparece una cordillera que forma un gran arco en la parte superior de la imagen (correspondiente a parte de la sierra de Gredos) y en la derecha ese arco parece una depresión. Para observar claramente el relieve sin imprecisiones, debería verse como se observa en la fig. 19.





**fig. 24. Microsoft Bing**



**fig. 25. Apple Maps**

### La percepción del relieve a través de Google (y otros Globos virtuales)

Las siguientes imágenes (fig. 27 a 38) están tomadas de Google Maps. Todas ellas pertenecen a lugares situados en el Hemisferio Norte (fig. 26) y de ellas, la figura 36 (México) y la figura 38 (Venezuela) están situadas en el espacio intertropical norte.



**fig. 26.** Situación de las 12 imágenes de Google que se muestran en las figuras 27 a 38

Un test ya citado con anterioridad (Bernabé y Cöltekin, 2014) realizado sobre cerca de 500 participantes, permitió afirmar que entre el 60% y el 80% de los lectores veían un relieve inverso en todas o en la mayoría de las imágenes. Para evidenciar este efecto de pseudorrelieve, se han colocado en cada una de las imágenes de las figuras 27-38, las letras A y B en blanco. Estas letras marcan lo que en Google Maps (y en el resto de los visualizadores de mapas mostrados más arriba) parecen crestas o cadenas montañosas a una mayoría de los observadores. Sin embargo en la realidad son vaguadas o cursos de agua, como se mostrará en las figuras 39-50.

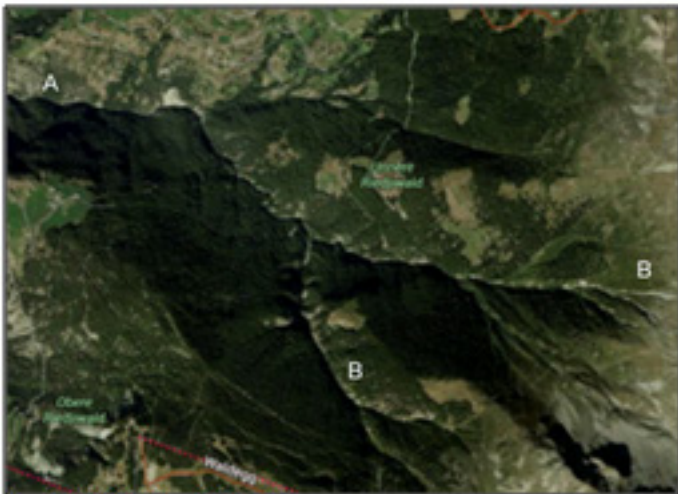


fig. 27. Stalden (Suiza)



fig. 28. Arasi, Calabria (Italia)



fig. 29. Apidea (Grecia)

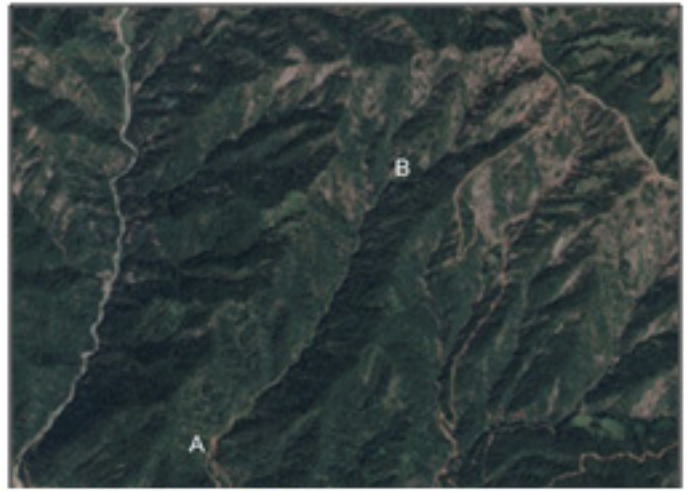


fig. 30. Belibedir (Turquía)



fig. 31. Rudak (Uzbequistán)



fig. 32. Peak Agasis (Tajiquistán)

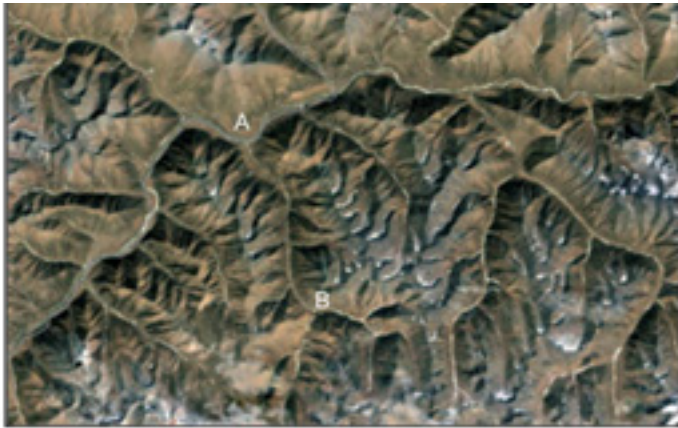


fig. 33. Langriku (Tibet)

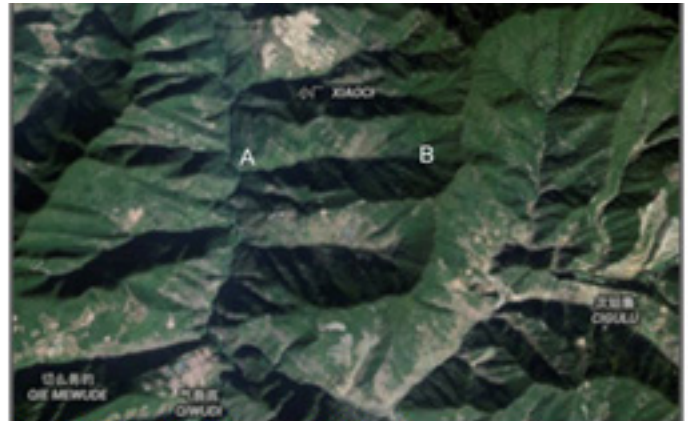


fig. 34. Cigulu, Yunnan (China)



fig. 35. Ebisu Shrine (Japón)



fig. 36. Sta. Ursula, Hidalgo (México)



fig. 37. Boñar, León (España)



fig. 38. Mucuchies. Mérida (Venezuela)

## La evidencia del relieve real

En las figuras anteriores (27-38) la sensación perceptiva es que hay montañas y vaguadas o ríos y que las laderas norteñas están iluminadas, aunque eso no sea cierto en la realidad. Eso lo que la percepción lee más fácilmente. Puesto que todas las imágenes corresponden a paisajes del Hemisferio Norte, el Sol estará realmente iluminando las laderas sur. Nuestro cerebro invierte el relieve real para crear la sensación de que están iluminadas las laderas norte.

Las figuras 37 a 48 siguientes muestran las mismas imágenes anteriores, giradas 180 grados alrededor de un eje perpendicular a las imágenes, esto es, se colocan como si estuvieran iluminadas por el Sol desde el Norte. Las letras que han servido de referencia se ven ahora al revés pero sin embargo ahora el relieve se corresponde con la realidad.



fig. 39. Stalden Suiza



fig. 40. Arasi, (Italia)



fig. 41. Apidea (Grecia)

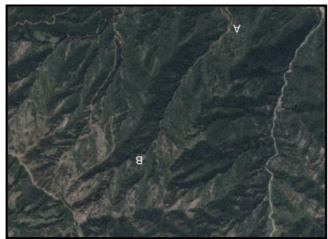


fig. 42. Belibedir (Turq.)



fig. 43. Rudak (Uzbeq.)

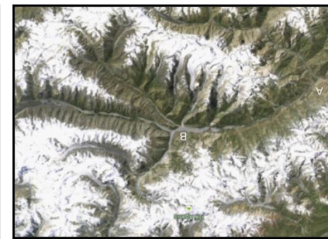


fig. 44. Agasis (Tajiq.)

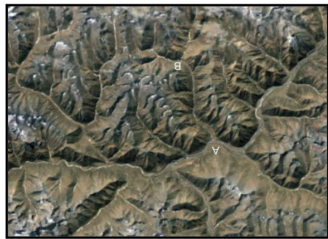


fig. 45. Langriku (Tibet)



fig. 46. Cigulu (China)



fig. 47. (Japón)



fig. 48. Sta. Úrsula (Méx.)



fig. 49. Boñar (España)



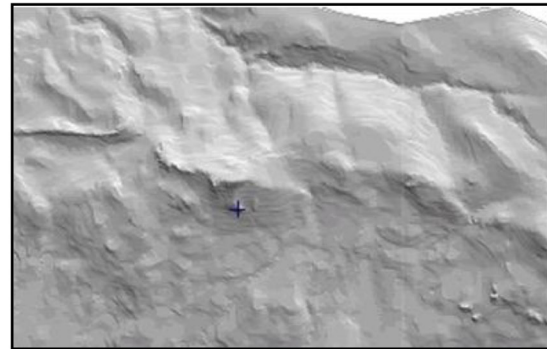
fig. 50. Mucuchíes. (Venezuela.)

## La corrección necesaria

Para evitar la confusión que puede conducir el efecto de inversión del relieve, los Globos Virtuales deberían proporcionar algún método para disminuirla. Algunos autores han propuesto soluciones (Saraf et al., 1996, 2007 y 2011; Wu et al., 2013) Aquí se presenta una solución teórica para ser utilizada en servidores de mapas WMS, que permite transformar el relieve de una manera que ya se explicó en las figuras 18 y 19. Consiste en proporcionar una imagen compuesta por la suma de un modelo digital de sombras del terreno y su correspondiente imagen satelital. Para ello el servicio de imágenes por internet no solo debe proporcionar la imagen satelital sino que debe agregar una imagen de sombras con iluminación desde el norte. Esta segunda capa debe disponer de un grado de transparencia tal que permita que este modelo de sombras aporte su “fuerza” visual, de manera que anule o al menos minimice la potencia de las sombras incluidas en la imagen. En las siguientes figuras se expone sintética y prácticamente el método y el resultado.



**fig. 51.** Imagen satelital de la Peña del Rayo (Galbarruli, La Rioja, España) tal y como se observa en Google Maps, La parte alta de la imagen parece mostrar una cadena montañosa



**fig. 52.** Modelo Digital del Terreno (MDT) de la misma zona al que se le han aplicado sombras provenientes de un foco de luz situado al norte de la imagen. Lo que parecía una cadena montañosa aparece ahora como una vaguada



**fig. 53.** Mediante un programa de tratamiento de imágenes (en este caso Photoshop) se unen las dos capas y se aplica una transparencia del 50% al sombreado.



**fig. 54.** Para evitar el ligero “blanqueamiento” de la imagen resultante se puede incrementar el contraste (ver un ejemplo más claro en las figuras 55, 56 y 57), obteniéndose el resultado que se muestra.

Para corregir el “blanqueamiento” que la capa de sombreado proporciona a la unión de las imágenes satelitales con sus modelos de sombras, se debe modificar el

contraste del resultado (figuras 55, 56 y 57). En el caso que se muestra en esas figuras, a la capa de sombras sólo se ha dado una transparencia del 35% lo que blanquea en exceso el resultado (fig. 56). La figura 57 es el resultado de realzar el contraste de la anterior en busca de una imagen de similares características cromáticas de la primera. En cada caso habrá que dar una transparencia a la capa de sombras que estará condicionada por la “potencia” de la capa satelital.



fig. 55 Imagen satelital original. Sierra de Cantabria. La Rioja (España)

fig. 56. Combinación de la imagen original y la capa de sombras de la misma zona



fig. 57. Realce del contraste. Se observa ahora un relieve muy acusado invisible en la imagen satelital

## Conclusiones

- 1.- La percepción, en la visualización del relieve de objetos no comunes, asume que la fuente luminosa está situada hacia la parte superior izquierda de la imagen.
- 2.- Si la fuente luminosa se coloca en la parte inferior de la imagen, la percepción invierte el relieve con el fin de situar la fuente luminosa arriba.
- 3.- El relieve de las imágenes aéreas de terrenos mon-

tañosos del Hemisferio Norte sufren una inversión perceptiva en una mayoría de los observadores de Globos Virtuales.

4.- Las imágenes del Hemisferio Norte servidas por los Globos Virtuales más usados muestran el mismo tipo de pseudorrelieve.

5.- Mediante la adición de la capa del relieve verdadero de sombras, semitransparentada sobre la capa proporcionada por una imagen aérea o de satélite, puede hacer que desaparezca la percepción de relieve inverso de la segunda.

6.- La adición anterior puede generarse a través de un servidor de mapas WMS por medio de un geoservicio que así se diseñe.

7.- El resultado de la conflación de las dos capas anteriores en un WMS es una imagen menos saturada que la ortoimagen original.

8.- Los datos originales (imagen satelital y modelo digital de sombras) pueden permanecer almacenados sin ningún tipo de tratamiento o modificación, realizándose la conflación en el lado del cliente.

9.- Las imágenes obtenidas se mantienen georreferenciadas.

10.- Se debe experimentar el grado de transparencia que se colocará por defecto en el WMS para encontrar la percepción más adecuada.

## Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento al programa de Becas Prometeo de la Secretaria Nacional de Educación Superior, Ciencia y Tecnología (SENES-CYT) de Ecuador, en cuyo contexto se ha desarrollado esta publicación.



## Referencias bibliográficas

- ARNHEIM, Rudolph 1976. "The Perception of Maps." *Cartography and Geographic Information Science* 3: 5–10. doi:10.1559/152304076784080276.
- BERNABÉ-POVEDA, Miguel, MANSO-CALLEJO, Miguel, BALLARI, Daniela (2005). "Correction of Relief Inversion in Images Served by a Web Map Server." In *Proceedings of the International Cartographic Conference, ICC 2005, ACaruña, Spain*.
- BERNABÉ-POVEDA, Miguel, SÁNCHEZ-ORTEGA, Ivan y CÖLTEKIN, Arzu (2011). "Techniques for Highlighting Relief on Orthoimagery." *Procedia – Social and Behavioral Sciences* 21: 346–352. doi:10.1016/j.sbspro.2011.07.028.
- BERNABÉ-POVEDA, Miguel y CÖLTEKIN, Arzu (2014). Prevalence of the terrain reversal effect in satellite imagery. *International Journal of Digital Earth*, Mar. 2014. Taylor & Francis. <http://dx.doi.org/10.1080/17538947.2014.942714>.
- BERTIN, Jacques (1967). *Semiologie graphique*. Mouton Gautier-Villars, Paris.
- BERTIN, Jacques (1988). *La gráfica y el tratamiento gráfico de la información*. Madrid, Taurus Ediciones.
- IMHOF, Eduard (1967). "Shading and Shadows." In *Cartographic Relief Representation*, edited by H. J. Steward, 159–212. Redlands, CA: ESRI Press.
- PATTERSON, Tom (2001). "See the light: How to make illuminated shaded relief in Photoshop 6.0". En <http://www.shadedrelief.com/illumination/> (activo 16/04/2005)
- PATTERSON, Tom (2002). "Getting Real: Reflecting on the New Look of National Park Service Maps". ICA2002 Mountain Cartography Workshop. Oregon. En [//www.reliefshading.com/colors/Realistic\\_Maps\\_Patterson.pdf](http://www.reliefshading.com/colors/Realistic_Maps_Patterson.pdf)
- PATTERSON, Tom y VAUGHN, Nathaniel (2004). "Hal Shelton Revisited: Designing and Producing Natural-Color Maps with Satellite Land Cover Data". En *Cartographic Perspectives* (No. 47, Winter 2004)
- PATTERSON, Tom (2013). *Illumination. A Digital Repository for Cartographic Relief Art*. <http://www.shadedrelief.com/retro/discussion.html> (Accedido en febrero 2015).
- SARAF, Arun, DAS, Jadir, AGARWAL, Bahir y SUNDARAM, Rahim (1996). "False Topography Perception Phenomena and Its Correction." *International Journal of Remote Sensing* 17: 3725–3733. doi:10.1080/01431169608949180.
- SARAF, Arun, SHINA, Shema, GHOSH Padir, y CHOURDHURY Sou (2007). "A New Technique to Remove False Topographic Perception Phenomenon and Its Impacts in Image Interpretation." *International Journal of Remote Sensing* 28: 811–821. doi:10.1080/01431160701269796.
- SARAF, Arun, ZIA, Mohamed, DAS, Josodhir, SHARMA, Kanika y Rawat, Vineeta (2011). "False Topographic Perception Phenomena Observed with the Satellite Images of Moon's Surface." *International Journal of Remote Sensing* 32: 9869–9877. doi:10.1080/01431161.2010.550950
- WU, Bo, LI, Haifeng y GAO, Yang (2013). "Investigation and Remediation of False Topographic Perception Phenomena Observed on Chang'E-1 Lunar Imagery." *Planetary and Space Science* 75: 158–166. doi:10.1016/j.pss.2012.10.018.

ZHOU, An, ZHANG, Xue, y GAO, Li (2006). “DEM Terrain Reversal.” *Geography and Geo-Information Science* 22: 42–44.

[1] <https://quescondenlasilusionesopticas.wordpress.com/category/ilusiones-opticas/>

[2] [http://es.wikipedia.org/wiki/Ilusi%C3%B3n\\_audiativa](http://es.wikipedia.org/wiki/Ilusi%C3%B3n_audiativa)

[3] <http://cmccaafauplluch.jimdo.com/los-cinco-sentidos-para-los-m%C3%A1s-peque%C3%B1os/el-tacto/>

[4] <http://www.monografias.com/trabajos46/vision/vision2.shtml>

[5] <http://personal.us.es/jcordero/PERCEPCION/Cap02.htm>

[6] <http://www.reliefshading.com/design/lightdirection.html>

[7] <https://www.youtube.com/watch?v=sKa0eaKsdA0>