

Cartografía geográfica. Fundamentos

Javier Espiago

Capítulo V: Variedad de proyecciones y de sistemas de proyección

Diciembre - 2017

Introducción

Las correspondencias entre puntos admiten innumerables posibilidades.

Ninguna proyección cartográfica vale para todo.

Acaso no sea posible una formalización total en la elección. Hay grandes equivocaciones silenciadas.

Se ha recopilado la mayor parte de las PROYECCIONES conocidas cuyas formulaciones han supuesto un esfuerzo de siglos al que se han dedicado matemáticos de altísimo nivel. También hay desarrollos recientes con variaciones que suelen deslumbrar en su apariencia. No hay verdaderas novedades, pues apenas se introducen rasgos menores orientados a los mapas de todo el globo. Pueden alcanzar importancia teórica para mapas de todo el mundo, pero para el resto se utilizan, preferentemente, desarrollos tradicionales. La informatización ha sido la mayor novedad.

En el estudio más completo, **SNYDER, J. y VOXLAND, P.** (1989)¹ incluyen formulaciones para:

- 13 proyecciones cilíndricas,
- 26 pseudocilíndricas,
- 6 cónicas,
- 5 pseudocónicas,
- 8 acimutales (4 perspectivas y otras 4 no perspectivas),
- 16 acimutales modificadas y
- 20 clasificadas como misceláneas.

¹ **SNYDER, J. y VOXLAND, P.M.** (1989): An Album of Map Projections. U.S. Geological Survey professional paper 1453. Denver. U.S. Government Printing Office. Un manual muy completo sigue siendo **SNYDER, J.** (1987): Map Projections. A Working Manual, U.S. GEOLOGICAL SURVEY PROFESSIONAL PAPER 1395., Washington, X + 383 páginas.

Este total de 93 proyecciones se amplía introduciendo la oblicuidad que puede elegirse en variadas posiciones con significación geográfica. Si hablamos de SISTEMAS DE PROYECCIÓN, el número se multiplica indefinidamente con la elección de distintos parámetros.

Para cada proyecto particular, existirían procedimientos y parámetros que minimizan las distorsiones de direcciones (ángulos), orientación, formas y distancias. Pueden seleccionarse unas propiedades a expensas de otras mediante las funciones matemáticas para el cálculo y representación de las distorsiones. Solamente unos cientos han concretado su desarrollo analítico y su análisis posterior. Sólo unas pocas se han utilizado ampliamente. Son aún menos las que se han recomendado para el momento actual.

En su aplicación práctica, con la elección de parámetros geográficos² y datum, los sistemas de proyección multiplican sus particularismos según países y regiones en un número que sería del todo inconveniente si no fuera por las capacidades informáticas para las transformaciones. En la red existen servicios regulados para los cálculos que transforman las coordenadas entre los diferentes sistemas. Las herramientas computerizadas han conseguido lo que denominan proyección “al vuelo” (OTF, *on the fly*). Datos que tienen una determinada proyección, pueden integrarse con otros en proyecciones distintas adaptando al instante los datum, las proyecciones y los parámetros³.

Esas herramientas amplían las posibilidades en una aparente libertad de elección⁴. El almacenamiento vectorial en bases de datos puede acudir a la definición en coordenadas GRS80 que están normalizadas. Su transformación en datos proyectados está resuelta pareciendo que pudiera elegirse cualquier procedimiento. Por su parte, las imágenes ráster siempre se registran en un sistema proyectado (simple o complejo), pero también cuentan con una exhaustiva reproyección.

Aunque persigan fines individuales no hemos de verlos de forma independiente. Los sistemas geográficos han de atender a situaciones generales, no están aislados ni son exclusivamente particulares. Las herramientas informáticas inducen a posibles errores indicando la posibilidad de modificación “a voluntad” de proyecciones y parámetros permitiendo saltarse los criterios generales descubriendo mediterráneos específicos.

En una situación bien diferente a la georreferenciación elipsoidal, en los sistemas geográficos de proyección no existen normas acordadas sino disposiciones de obligado cumplimiento oficial y recomendaciones para su uso. Hay también imposiciones derivadas de poderes variados. La posición dominante de empresas informáticas ha generalizado la llamada, precisamente, Web Mercator. Después de la II Guerra Mundial se generalizó el sistema UTM entre los aliados de los USA. Los servicios de codificación dependen, fundamentalmente, de un grupo de petróleo.

Son de amplia imposición los decretos legales publicados en los Boletines Oficiales. Agencias, servicios, institutos y organismos deciden o recomiendan los sistemas de proyección en los que proporcionan sus datos públicos. Los organismos decisorios son los encargados de los levantamientos oficiales o del registro y la gestión de los datos geográficos, medioambientales o de geografía humana. En España han estado condicionados por otras agencias del exterior que han permitido la modificación del ancho de vía cartográfico. Actualmente, es un país bien adaptado a la necesaria internacionalización. Las organizaciones europeas están contribuyendo a la

² Para las dimensiones (extensión en latitud y longitud), forma y situación elegimos parámetros geométricos.

³ En el profuso lenguaje de siglas se indica como OTF (*On The Fly*).

⁴ En una página dedicada a la selección se dice: “a map can now be centered anywhere on the globe, can be drawn according to any one of many projection formulas, and can use cartographic data files having a level of detail appropriate to the scale of the map” (http://www.georeference.org/doc/guide_to_selecting_map_projections.htm).

implantación y estandarización. Destacan el proyecto INSPIRE⁵ y la Agencia Europea de Medio Ambiente, EEA/AEMA⁶. En ocasiones, encontramos textos que justifican una elección. Lamentablemente, no siempre nos proporcionan toda la información necesaria. La incorporación reciente de metadatos la atenúa.

Si no hay un acuerdo científico internacional, existen argumentos generales aceptados. Algunas proyecciones dominan ciertas escalas. A gran escala destacan las proyecciones conformes para preservar los ángulos. En ámbitos reducidos la distorsión de áreas puede desconsiderarse. Son, tradicionalmente, las escalas de obtención de datos de campo, del registro de sensores o de explotación de fotografías aéreas. Las escalas iniciales de los organismos cartográficos. Las dos proyecciones más comúnmente usadas para esas escalas, son la TRANSVERSAL DE MERCATOR y la CÓNICA CONFORME DE LAMBERT, que son la base del sistema UTM y de la mayor parte del sistema de coordenadas del «USA State Plane».

Para todo el globo la preocupación actual es la conservación de las áreas. También se aconseja la equivalencia a escalas medias para la presentación cartográfica en asuntos estadísticos y para los atlas. Es el caso de la ACIMUTAL EQUIVALENTE DE LAMBERT recomendada en Europa. A veces, se vincula a la explotación de informaciones de otros sensores y de imágenes de satélite, fuente de datos muy presente en asuntos de usos del suelo y en climatología.

Esas son las tres que, podríamos decir, han de ser la referencia geográfica principal en nuestros proyectos. Añadiríamos la proyección MERCATOR de amplia utilización en la web (WEB MERCATOR) y la proyección ESTEREOGRÁFICA. Esta última la estudiamos como un caso de proyección planar conforme que complementa a las anteriores proyecciones cilíndricas y cónicas. La incluimos en un apéndice pues no es de utilización peninsular, pero se añade a la UTM en las latitudes mayores. Se habla del sistema UTM - UPS (Universal Polar Estereográfica).

De esta manera, ampliamos el total de estudio a 4 proyecciones conformes y equivalentes. Para los casos prácticos de los mapas geográficos incluiremos los parámetros adoptados en la definición de los sistemas cartográficos dominantes o principales. Siempre transforman coordenadas GRS 80 (incluimos, por consiguiente, WGS_84 y ETRS_89). No trataremos por inconvenientes o desactualizados otros elipsoides, aunque hayan tenido su importancia aumentando tediosamente el número de opciones en las proyecciones de los SIG⁷. Aunque no es el caso de España, algunos de estos sistemas geodésicos sin validez científica actual alcanzan aprobación oficial en países que en otros asuntos no son los menos desarrollados.

⁵ La Infrastructure for Spatial Information in Europe se aprobó por el Parlamento Europeo y el Consejo el 14 de marzo de 2007 (Directiva 2007/2/CE) "con el propósito de hacer disponible información geográfica relevante, concertada y de calidad de forma que se permita la formulación, implementación, monitorización y evaluación de las políticas de impacto o de dimensión territorial de la Unión Europea". En nuestro país se aprobó la Ley 14/2010, sobre las infraestructuras y los servicios de información geográfica en España (LISIGE). De <http://www.idee.es/europeo-inspire>.

⁶ Como dicen de sí mismos "es la fuente principal de información para los responsables del desarrollo, la aprobación, la ejecución y la evaluación de las políticas medioambientales, y también para el gran público". En <https://www.eea.europa.eu/es/about-us/who/who-we-are>.

⁷ En <http://earth-info.nga.mil/GandG/publications/tm8358.1/tr83581b.html> se sigue este criterio de simplificación "Because of their variety, complexity, and limited use, such projections are not described in this manual".

Sistemas Geográficos para la PENÍNSULA IBÉRICA y para EUROPA.

Después de esta introducción, acaso sea aconsejable una conclusión que considere la Península Ibérica y el conjunto de Europa dentro de los estudios de cartografía para la geografía. Al lado de herramientas de localización tan populares como Web Mercator, en España la compilación inicial y las primeras representaciones tienen como referencia el sistema que aplica la proyección transversal de Mercator de forma interrumpida en husos cada 6°.

Como unidad diferenciada, la Península Ibérica no tiene un área con verdadero reconocimiento cartográfico oficial. Ya hemos indicado que en ella participan cuatro estados y un pequeño territorio colonial. Pero si no hacemos geografía política, la delimitamos septentrionalmente sin las parcelaciones estatales de los Pirineos. Utilizaremos la delimitación de los mapas geológicos que, acertadamente, son transnacionales. También existe una geografía sin fronteras políticas. La necesaria delimitación no tiene que confundirse con las parcelaciones de las diferentes formas de apropiación territorial.

El sistema ETR_S89_LCC (Lambert Conformal Conic) con el código 3034 EPSG, define parámetros para la representación de mapas conformes “pan-europeos” a escalas iguales o menores a 1: 500.000⁸. La Agencia Ambiental Europea también la recomienda para el registro de información raster⁹. Finalmente, el sistema ETRS89_LAEA (Lambert Azimuthal Equal Area) tiene el código de proyección 3035 EPSG para mapas, igualmente pan-europeos, dedicados al “análisis espacial” e informes que exijan la equivalencia. Parece destinarse a las representaciones en escalas menores a 1: 500 000. Se usa la denominación escala europea indicando, probablemente, mapas con extensión de toda Europa independientemente de su escala numérica. Sirve para el registro de datos ráster y para cálculos numéricos (se supone que vinculados ambos a la precisión de esa escala). La Agencia Ambiental Europea la recomienda para un sistema de amplias unidades territoriales agrupadas en diez ámbitos o extensiones territoriales. También detallaremos sus parámetros. El meridiano central de estos sistemas es 10° a diferencia del UTM pan-europeo que es 15°.

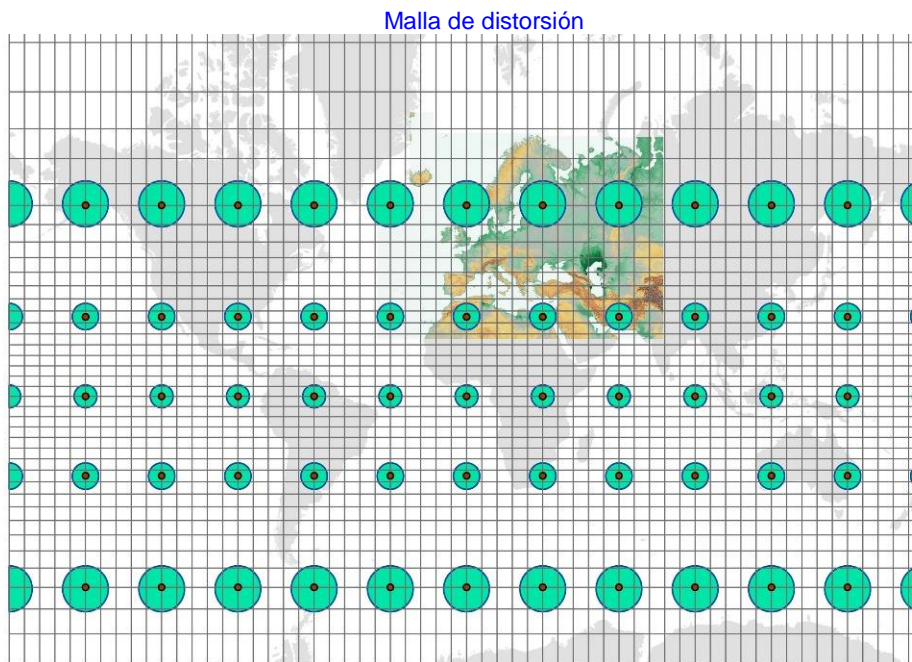
⁸ Pudiera haber duplicidad en algunas coincidencias de escala con ETRS_89_TMzn. Tal como se recomienda, el sistema ETRS_89_LCC se utilizaría en mapas pan-europeos. El sistema TMzn no tendría esta limitación.

⁹ Más información en <http://www.eionet.europa.eu/gis/>.

A. Proyecciones conformes.

En estas proyecciones que conservan los ángulos, la distorsión se muestra siempre en círculos de distinto tamaño.

1. Proyecciones mercator (aspecto normal)



<http://downloads2.esri.com/MappingCenter2007/blog/Mar11Images/TissotsIndicatrix.zip>

CC Javier Espiago - SCUAM

Malla¹⁰ cilíndrica normal (el ecuador es el eje de la proyección), simétrica utilizando cualquier meridiano o el ecuador. Como la proyección mercator es conforme, las indicatrices son siempre circulares variando su tamaño al alejarnos del ecuador. Los polos no se muestran como un punto, son líneas rectas iguales al ecuador. Los meridianos son líneas rectas espaciadas regularmente. No hay convergencia de meridianos. Los paralelos también son líneas rectas, perpendiculares a los anteriores pero espaciadas irregularmente. Las celdas de la malla son rectangulares aumentando su tamaño desde el ecuador a los polos. Escala nominal en el ecuador. Se incrementa desde esa línea. En los polos, la escala y la distorsión son infinitas y no hay conformidad. En cada paralelo la escala es constante. Coincide la escala de dos paralelos de distinto signo. No es una proyección perspectiva.

Proyección utilizada en navegación. Las líneas de rumbo (loxodromías) son líneas rectas, fáciles de seguir manteniéndolo constante. Recomendada en INSPIRE¹¹ “en navegación marina ... excepto en regiones polares”. También es proyección estándar en esa navegación en otros países. Además, sirve para mapas conformes próximos al ecuador. Utilizada en el sistema Web Mercator Esfera Auxiliar.

¹⁰ La malla de meridianos y paralelos y las elipses de Tissot para el conjunto del mundo sirven para el estudio de las distorsiones que se muestran con mayor claridad cuando no parcelamos su extensión.

¹¹ D2.8. I.1, pág.15. “Its description also serves as a basis for understanding the Transverse Mercator Projection”, <http://earth-info.nga.mil/GandG/publications/tm8358.1/tr83581b.html>, en dónde se insiste en su presencia en “coastal charts at 1:75. 000 scale and smaller...it is used extensively for naval ocean navigation and bathymetric charts”.

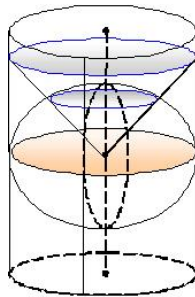
Inaceptable distorsión de áreas en mapas del mundo. Ampliamente estudiado su desafortunado empleo en mapas murales o en atlas.

Autor: Mercator, G. en 1569. Llamada también proyección de Wriyth.

1.1 Web mercator esfera auxiliar

Mercator no describe en su obra el procedimiento seguido (analítico o gráfico) para el trazado de los paralelos. Según se ha estudiado, probablemente fue gráfico a partir del cálculo del intervalo de 10° . Mediante la construcción de triángulos rectos con uno de los ángulos igual a la latitud media de cada intervalo y el lado adyacente igual en longitud a la distancia entre dos meridianos de 10° , pudo calcular la longitud de la hipotenusa que es, de forma aproximada, la distancia a los paralelos de 5° situados por encima y por debajo de la latitud media. También pudo seguir el procedimiento empírico de trasladar las líneas de rumbo desde un globo terráqueo al mapa.

En el esquema conceptual de la proyección se observa el incremento de la distorsión de escala a medida que nos acercamos a los polos.



CC Javier Espiago - SCUAM

Las ecuaciones de la proyección para la tierra esférica son:

$$x = R (\lambda - \lambda_0).$$
$$y = R \ln [\tan (\pi/4 + \varphi/2)]$$

$$\lambda = \lambda_0 + x/R$$
$$\varphi = 2[\arctan (e^{y/R}) - \pi/4]$$

El radio R es el calculado para la tierra o para el globo generador cuando se trata de mapas a escala. En Web Mercator el radio $R = a$, el semieje mayor de la elipse de ajuste.

$$e = 2.71828$$

Valores de longitud + al este y - al oeste del meridiano central λ_0 (eje y).

Valores de latitud + al norte y - al sur del ecuador que es el eje x

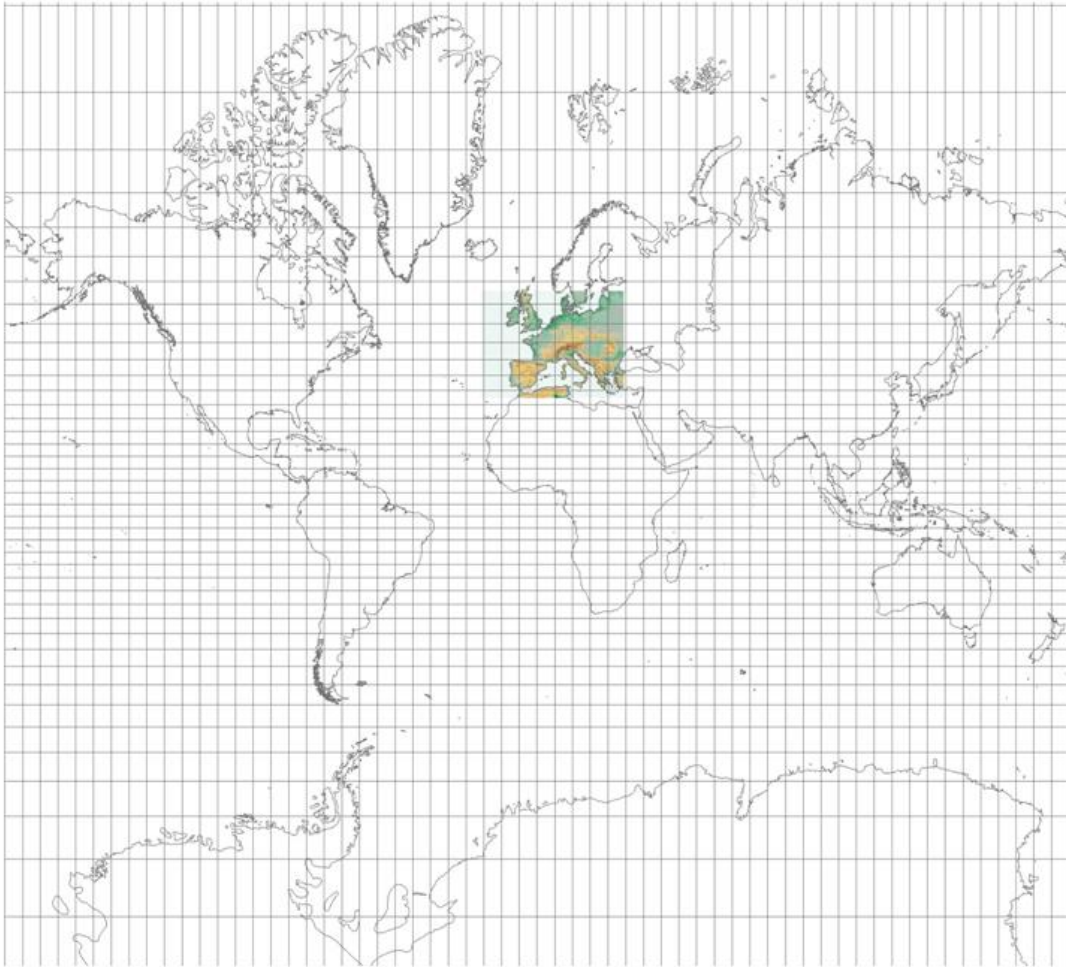
En la red es de uso generalizado el sistema Web Mercator WGS_84 Esfera Auxiliar¹² que exige como parámetros básicos WGS_84 y el meridiano de longitud 0° , necesarios para el cálculo de coordenadas. Se transforman en coordenadas proyectadas con las ecuaciones Mercator esféricas, simplificándose su cálculo. Como el radio de la esfera = a (el radio mayor de la elipse) no es completamente conforme.

¹² Código EPSG 3857 (anteriormente el 3785, ahora en desuso). Código del método 1024 que tiene las siglas PVPM (Popular Visualization Pseudo Mercator). Se estudia en <https://msdn.microsoft.com/en-us/library/bb259689.aspx> junto al llamado Bing Maps Tile System. En la localización, se emplea en Google Maps y OpenStreetMap. Se estudia también en NGA (2014): Implementation Practice. Web Mercator Map Projection:

[http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/web_mercator/\(U\)%20NGA_SIG_0011_1.0.0_WEBMERC.pdf](http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/web_mercator/(U)%20NGA_SIG_0011_1.0.0_WEBMERC.pdf), con un análisis de las desventajas en earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/web_mercator/index.html. El estudio teórico más detallado sigue siendo el de SNYDER, J. (1987), páginas 41-44, principalmente.

1.1 Web Mercator WGS_84, Esfera Auxiliar.

CILÍNDRICA NO CONFORME.

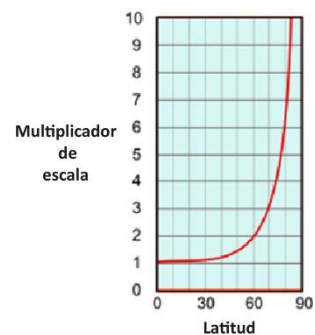


3857 EPSG.Meridiano central 0, 0°. Paralelo de origen el ecuador.

CC Javier Espiago - SCUAM

Inapropiada utilización en mapas del mundo. Como es una proyección cilíndrica, las coordenadas N y S, llegan al infinito. El dibujo ha de truncarse. Los polos no se representan y la Antártida recorre toda la extensión de la imagen. Además de Groenlandia, se agranda el tamaño de América del Norte y de Rusia.

Con la utilización del meridiano 0° en Greenwich, algunos hablan de eurocentrismo pero no atienden al ecuador que es el eje central con el que se refuerza la faja central americana, europea, africana y asiática. Tampoco son totalmente europeas las áreas que aumentan el dominio por su tamaño, desmesurado incluso. Apréciense en Groenlandia, Alaska, Canadá, la costa norte siberiana o la Antártida. La utilización de un meridiano central americano convierte a este continente en el eje de su mundo.

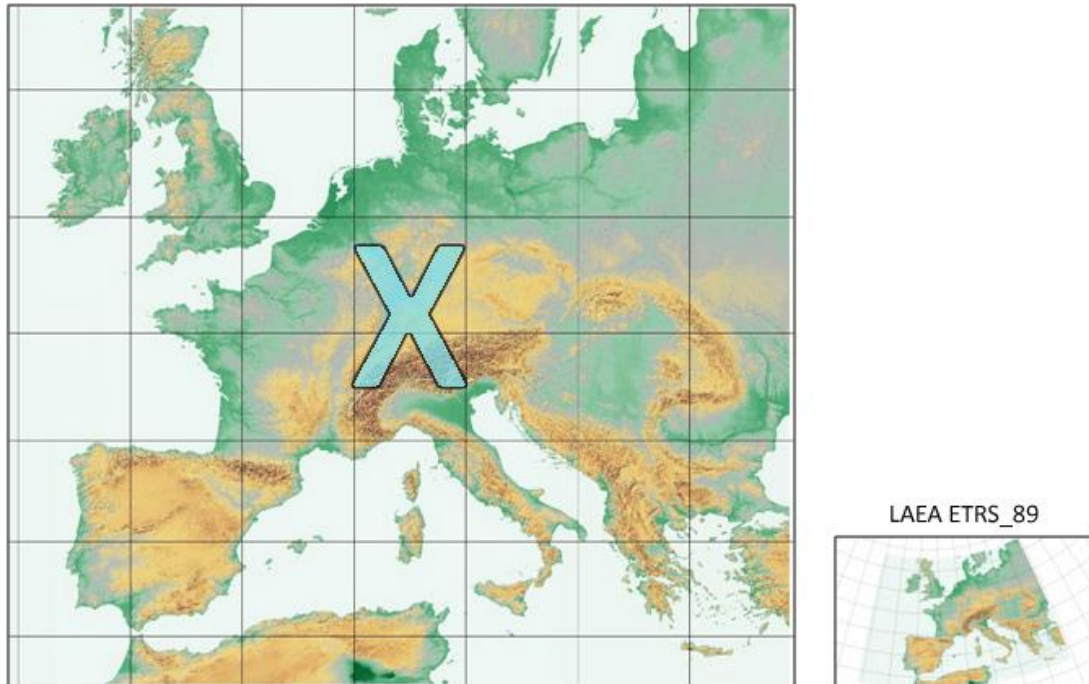


De uso muy amplio en la web. Es de gran utilidad en las búsquedas de localizaciones de elementos geográficos. Es utilizada para mostrar recorridos, pero no es enteramente conforme, algo despreciable a escalas pequeñas. Cuando nos situamos en latitudes medias, las deformaciones superficiales son admisibles. No es apropiada para las representaciones cartográficas temáticas ni cuando la distorsión de áreas tiene incidencia. Más llamativo es que no se muestre la convergencia de meridianos. Para ello, la comparamos con LAEA ETRS_89, recomendada para Europa:

Relieve de Europa Central (ASTER-SCUAM).

Web Mercator WGS_84, Esfera Auxiliar.

CILÍNDRICA NO CONFORME.



3857 EPSG. Meridiano central 0, 0°. Paralelo de origen el ecuador.

CC Javier Espiago – SCUAM

Relieve de la Península Ibérica.

Web Mercator WGS_84, Esfera Auxiliar.

CILÍNDRICA NO CONFORME



3857 EPSG. Meridiano central 0°.

CC Javier Espiago - SCUAM

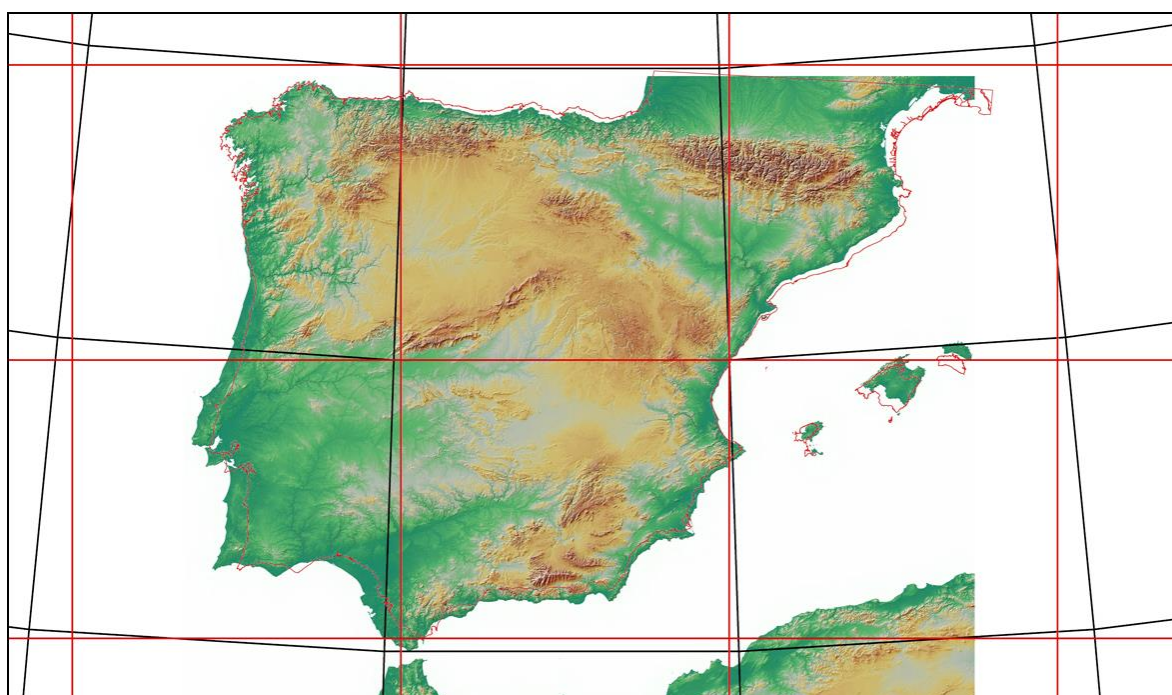
En ambas figuras la malla proyectada está formada por meridianos y paralelos en líneas rectas que se cortan en 90°. En la península, el ámbito es el de la retícula geográfica con los paralelos de 36°, 40° y 44° y con los meridianos -12°, -6°, 1° y 6°.

Aunque no se aprecia visualmente con facilidad, en cada paralelo la escala permanece constante, pero es menor en el sentido norte de los meridianos. El área superior se muestra agrandada.

Los meridianos mantienen intervalos regulares pero los paralelos aumentan su separación. Elegimos como meridiano central 0° (Greenwich). Los cambios del meridiano central solo se mostrarían en el desplazamiento (es, únicamente, una traslación). En el resto, tienen un efecto nulo en toda proyección cilíndrica cuando tratamos territorios delimitados como el de la península.

Si el territorio emergido se compara con el de otras proyecciones, acusa estas distorsiones (visualmente incluso). Para la comparación mediante el trazado costero utilizaremos UTM huso 30. En la superposición con WEB MERCATOR Esfera Auxiliar, buscamos la coincidencia en las intersecciones del paralelo central con las longitudes 0° y -6°:

**Relieve de la Península Ibérica con superposición de la línea de costa en Web Mercator esfera auxiliar
UTM huso 30 (relieve) y WEB MERCATOR Esfera Auxiliar (rojo).**



Relieve 3042 EPSG, meridiano central: -3°. Línea de costa 3857 EPSG, meridiano central: 0°

CC Javier Espiago – SCUAM

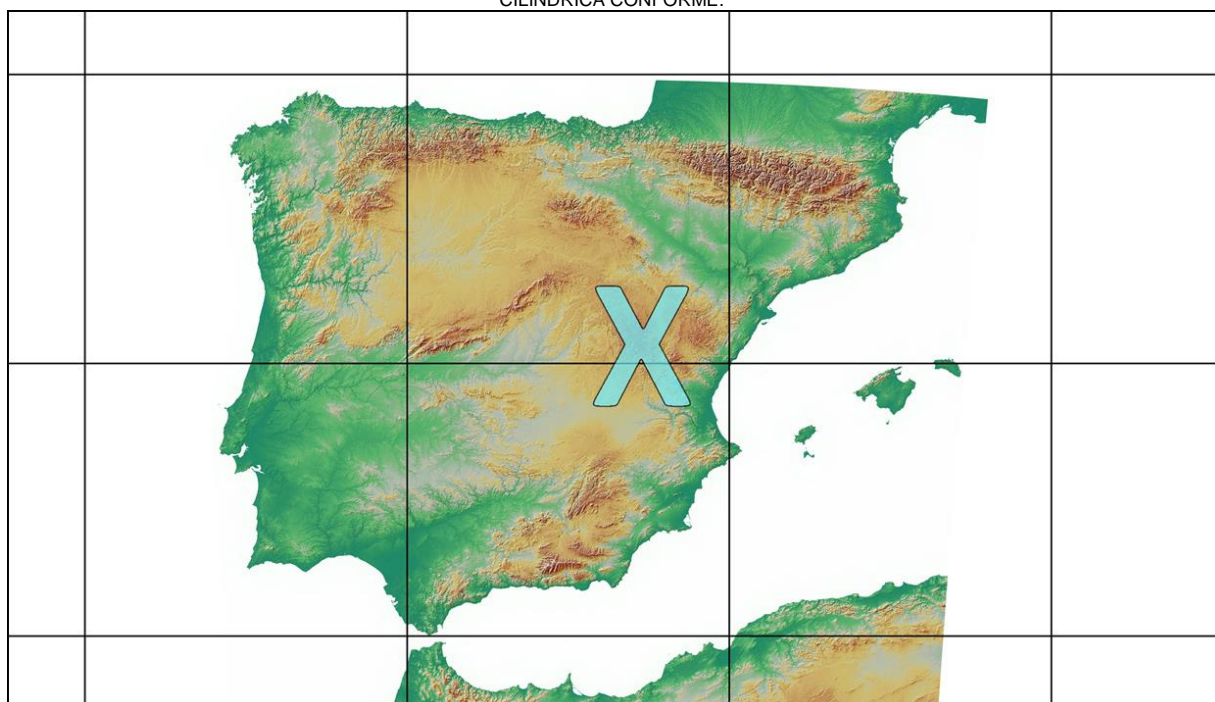
1.2 Mercator, sistema M WGS_84 (sistema elipsoidal)

Es un sistema enteramente elipsoidal. Dejando antiguos datum, las coordenadas geográficas actuales deben definirse en GRS 80 (WGS_84 o ETRS_89). Las ecuaciones para la tierra elipsoidal tienen en cuenta el eje **a** y la elipticidad **e**¹³. Por su mayor complejidad ha decaído su uso informático en las aplicaciones tradicionales, dada la ausencia de ventajas apreciables respecto a Web Mercator.

Relieve de la Península Ibérica.

Mercator, M WGS_84.

CILÍNDRICA CONFORME.



3832 EPSG. Meridiano central 0, 0°. Paralelo de origen el ecuador.

CC Javier Espiago - SCUAM

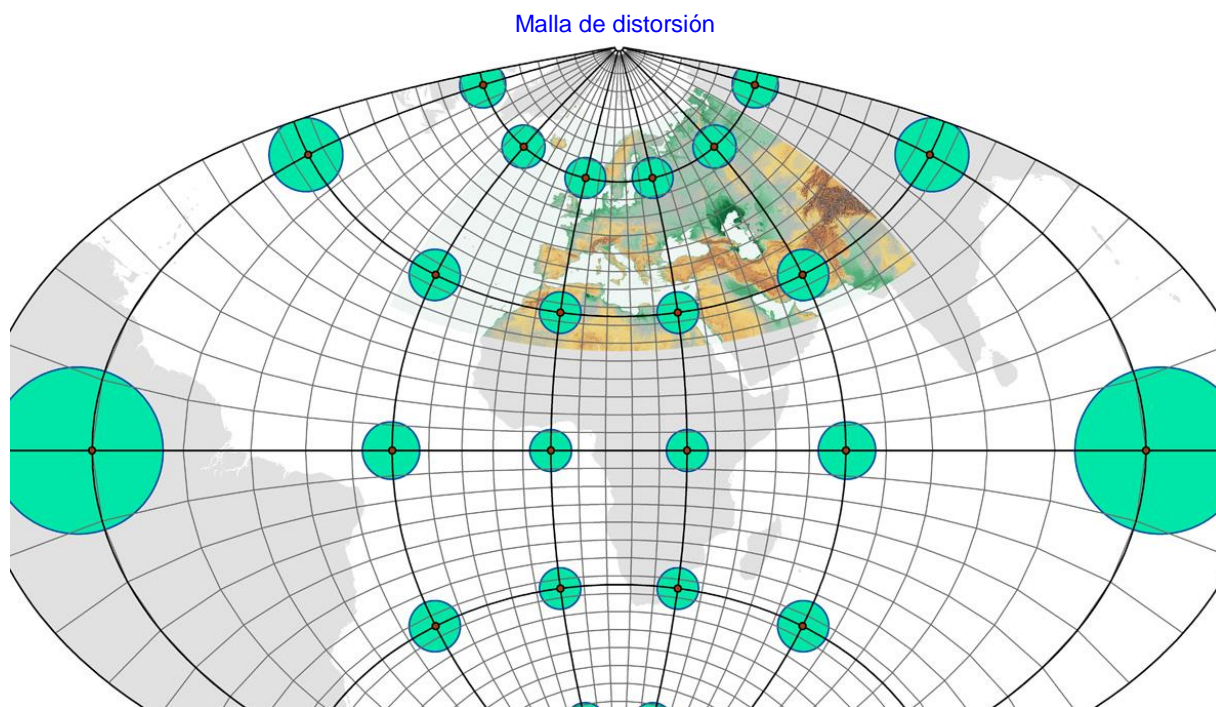
Cuando representamos el conjunto peninsular, son inapreciables los cambios visuales utilizando el sistema elipsoidal en las transformaciones. Es decir, apenas hay diferencias entre Web Mercator **WGS_84** en lugar de la anterior **WGS_84 esfera auxiliar**.

Numéricamente, las coordenadas geográficas de partida son las mismas (WGS_84) pero son distintas una vez proyectadas. Ha caído en desuso la versión elipsoidal al lado de las ventajas de cálculo de la versión web. A pesar de que ahora no se pierde la conformidad.

En geografía, ambas proyecciones no debieran emplearse en la obtención de datos numéricos.

¹³ Para las transformaciones y el estudio teórico: SNYDER, J. (1987), páginas 44 y siguientes.

2. Proyecciones mercator (aspecto transversal)



Huso central 33

<http://downloads2.esri.com/MappingCenter2007/blog/Mar11Images/TissotsIndicatrix.zip>

CC Javier Espiago - SCUAM

Malla cilíndrica transversal, espaciada irregularmente. Formada por líneas rectas en el ecuador y en el meridiano central que se cortan perpendicularmente. El resto de meridianos y los paralelos son curvas complejas, cóncavas respecto al meridiano central y cerca de los polos, respectivamente. Los meridianos son curvas (excepto el meridiano central) que convergen en los polos. Es simétrica utilizando esas líneas rectas. Los polos son dos puntos del meridiano central.

Como es conforme, las indicatrices son circulares, variando su tamaño al alejarnos del meridiano central. Escala nominal en el meridiano central si es tangente. Escala constante en las líneas rectas paralelas al meridiano central (no representadas). En coordenadas elipsoidales estas líneas no son completamente rectas debido a la elipticidad. Escala infinita a 90° del meridiano central. Utilizada en el sistema UTM (de forma interrumpida y secante) recomendado para Europa.

Autor: Lambert, J. en 1772. Fórmulas para el elipsoide por Gauss, C. en 1822 y Krüger, L., Lee, P. y otros en el XX¹⁴.

Otros nombres:

- Gauss Conformal (solo en forma elipsoidal).
- Gauss-Kruger (solo en forma elipsoidal). Generalmente, la escala del meridiano central = 1.
- Cilíndrica Transversal Ortomórfica.

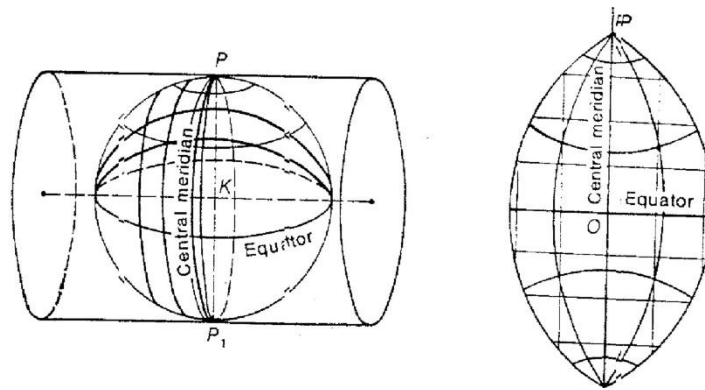
¹⁴ Bibliografía: **SNYDER, J.** (1987), págs. 48 y ss. **SNYDER, J. y VOXLAND, P.** (1989), pág. 12.

Mercator Transversal. Versión esférica¹⁵

En 1772, el suizo Johann Heinrich Lambert presentó los procedimientos analíticos de varias proyecciones entre ellas la transversal Mercator para la tierra esférica, aunque tuvo escasa incidencia en la producción cartográfica de su tiempo. Hoy día se considera a su obra *Anmerkungen und Zusätze zur Entwerfung der Land und Himmelscharten* (Notas y comentarios sobre la composición de mapas terrestres y celestes) uno de los puntos de partida de la cartografía científica moderna. De todas formas, el estudio y aplicación práctica de la proyección transversal en la producción de los mapas topográficos oficiales de Francia se había iniciado en 1745 por Cesar Francisco Cassini de Thury. Por interpretación cómoda del inglés, suele traducirse transversa. Aunque preferimos transversal. Conceptualmente, la proyección resulta de la rotación del cilindro en 90° siendo sus ecuaciones las siguientes:

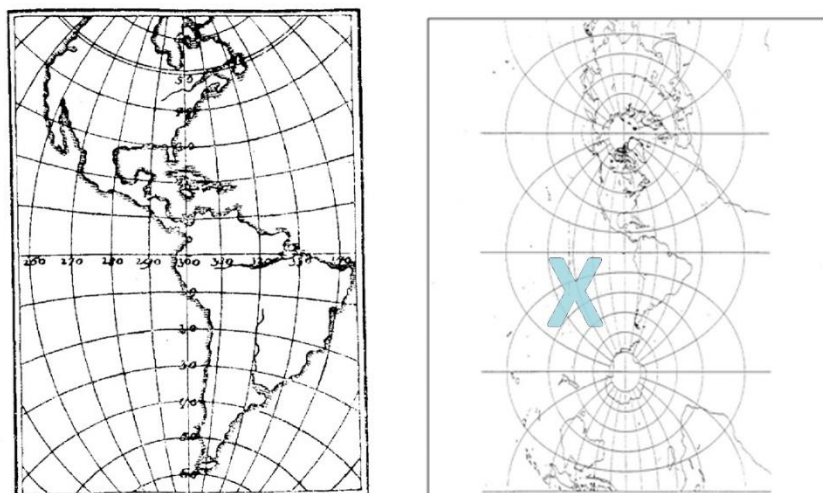
$$x = (R/2) \ln \left(\frac{1 + \cos \varphi \operatorname{seno} \Delta\lambda}{1 - \cos \varphi \operatorname{seno} \Delta\lambda} \right)$$

$$y = R \operatorname{arctan} \left(\frac{\tan \varphi}{\cos \Delta\lambda} \right)$$



Según MASLOV, A. et al. (1984), pág. 444

Es una proyección conforme sin distorsión de escala a lo largo del meridiano central que aparece representado por una línea recta. El ecuador es, así mismo, una línea recta sin distorsión de escala. La proyección es especialmente indicada para la producción de mapas de territorios con una extensión norte-sur mayor que la este-oeste. El propio Lambert dibujó el mapa del Continente Americano que incluimos en la figura siguiente acompañándolo de la representación actual con el meridiano central en los 90° y una malla de 15° de amplitud.



Lambert (ed. 1894). Malla de 10°.

Trazado costero actual en Mercator Transversal. Malla de 15°.

¹⁵ No se utiliza en la práctica, pero es conveniente su estudio por cuestiones teóricas.

Mercator Transversal. Versión elipsoidal

La utilización de la proyección Mercator transversal elipsoidal en la cartografía topográfica con finalidades civiles y militares se inicia en el siglo XIX y se consolida a lo largo del siglo XX. Se calcula que el 80% de la superficie cartografiada a grandes escalas la utiliza como sistema de proyección. Aunque existen distintas versiones, la adoptada en el sistema de referencia (UTM) es la representación directa del elipsoide sobre el plano que preserva las distancias a lo largo del meridiano central. Esta versión fue desarrollada por Gauss entre 1820 y 1830 y posteriormente por Krüger en 1912 que presentó las ecuaciones de tal manera que pudieran ser resueltas mediante el cálculo logarítmico. Por ello, es conocida también como proyección Gauss-Krüger. El estudio más completo es el del búlgaro Kristov que lo edita en alemán y se traduce posteriormente al ruso. La traducción al inglés la efectúa el US Army Map Service, aunque sin llegar a publicarla. En 1989 Bowring simplifica la formulación de las ecuaciones.

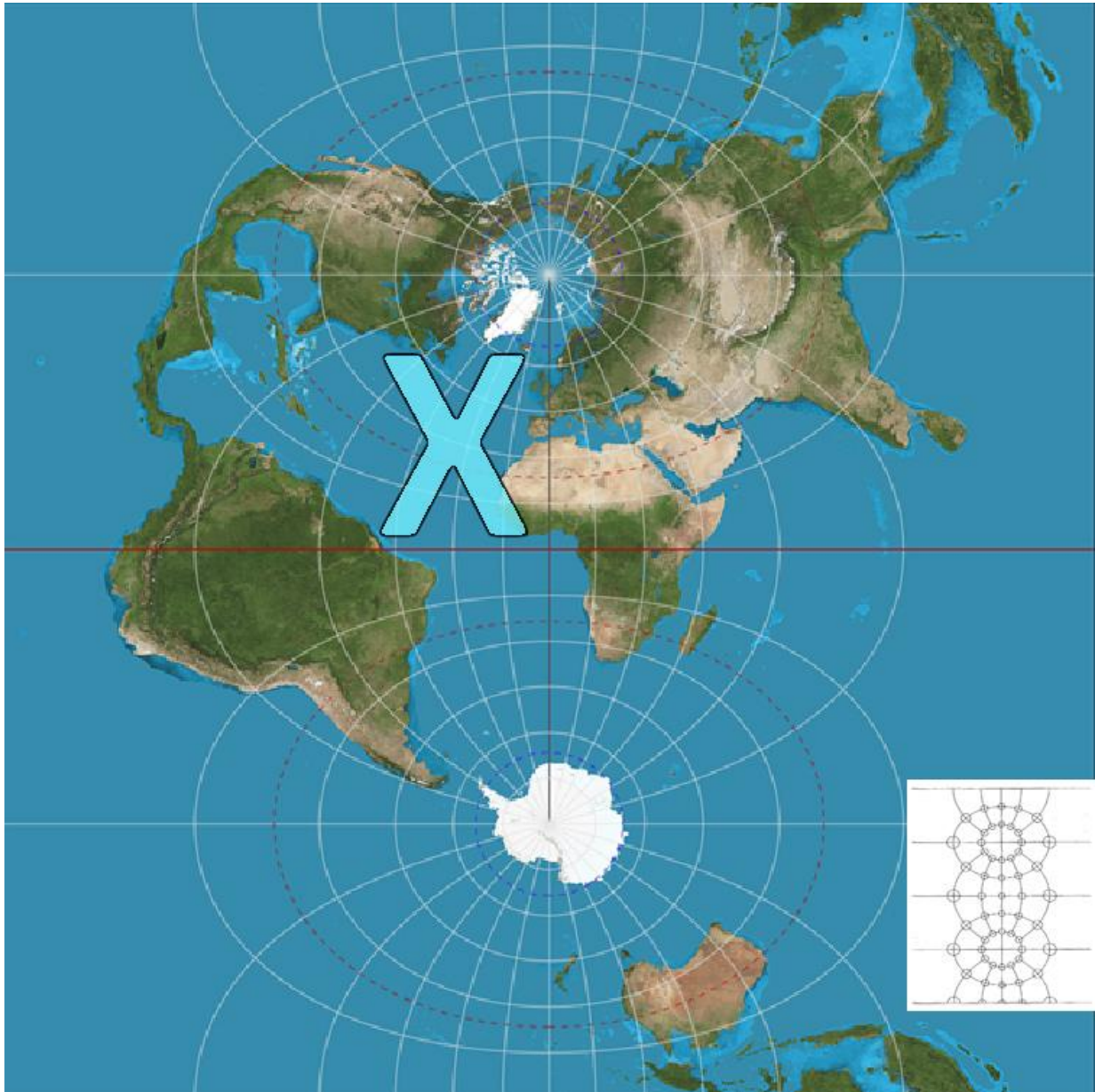
Su primera edición se debe a Gauss y Schreiber cuando, al finalizar el siglo XIX, elaboraron mapas a grandes escalas sobre Alemania. A partir de 1923 se adopta en su cartografía oficial y la proyección pasa a ser la versión Gauss-Krüger de la Mercator Transversal con zonas de 3° de ancho que son adecuadas en finalidades catastrales, municipales y de ingeniería. Lamentablemente, este ancho fue modificado a 6° durante la IIª Guerra Mundial facilitando su utilización militar a costa de la utilización inmobiliaria. En 1928 se adopta en la URSS el mismo sistema, ya con zonas que se corresponden con las unidades de 6° del Mapa Internacional del Mundo (IMW) que posteriormente serían adoptadas para la UTM. Hasta 1942 se utilizó el elipsoide de Bessel siendo sustituido entonces por el esferoide de Krasovsky. En 1945 el Ordnance Survey adoptó la Gauss-Krüger extendiéndola a los países de la Commonwealth. Ya hemos indicado que el elipsoide en Europa es el ETRS_89, aunque algunos utilizan el WGS_84.

Existen distintos sistemas con la proyección Transversal de Mercator según indicamos en la siguiente tabla:

Nombre	Áreas que la utilizan	Meridiano central	Latitud de origen	Factor de escala	Ancho de la zona	Falso Este en el origen	Falso Norte en el origen
Mercator Transversal	Varias, en todo el mundo	Varios	Varias	Varios	Generalmente menos de 6°	Varios	Varios
Mercator Transversal orientada al Sur	Sudáfrica	Intervalos de 2°E desde 11°E	0°	1.000000	2°	0 m	0 m
UTM Hemisferio Norte	Todo el mundo	Intervalos de 6° desde el meridiano 177°O	Siempre 0°	Siempre 0.9996	Siempre 6°	500.000 m	0 m
UTM Hemisferio Sur	Todo el mundo	Intervalos de 6° desde el meridiano 177°O	Siempre 0°	Siempre 0.9996	Siempre 6°	500.000 m	10.000.000 m
Gauss-Krüger	Antigua URSS, Yugoslavia, Alemania, América del Sur	Varios, según área cubierta	Generalmente 0°	Generalmente 1.000000	Generalmente menos de 6°; a menudo menos de 4°	Varios, pero generalmente 500.000 m, según el número de la zona	Varios
Gauss Boaga	Italia	Varios	Varias	0.9996	6°	Varios	0 m

Para los cálculos numéricos puede descargarse una hoja excel. También son útiles las herramientas más comunes, como las de Esri o Q-Gis¹⁶.

No conviene su utilización como única proyección para todo el globo. La imagen tiene una distorsión que es mínima a lo largo del meridiano central. Es el área de Groenlandia, el occidente de Europa, el occidente de África y la Antártida, si elegimos el valor 0° (Greenwich). Pero, con ese parámetro, es desacostumbrada la posición de Indonesia y de Australia. La deformación de las Américas afecta a su tamaño y a su orientación.



Código EPSG 9807. Meridiano central 0°.

Por Peter Mercator <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=9910953>

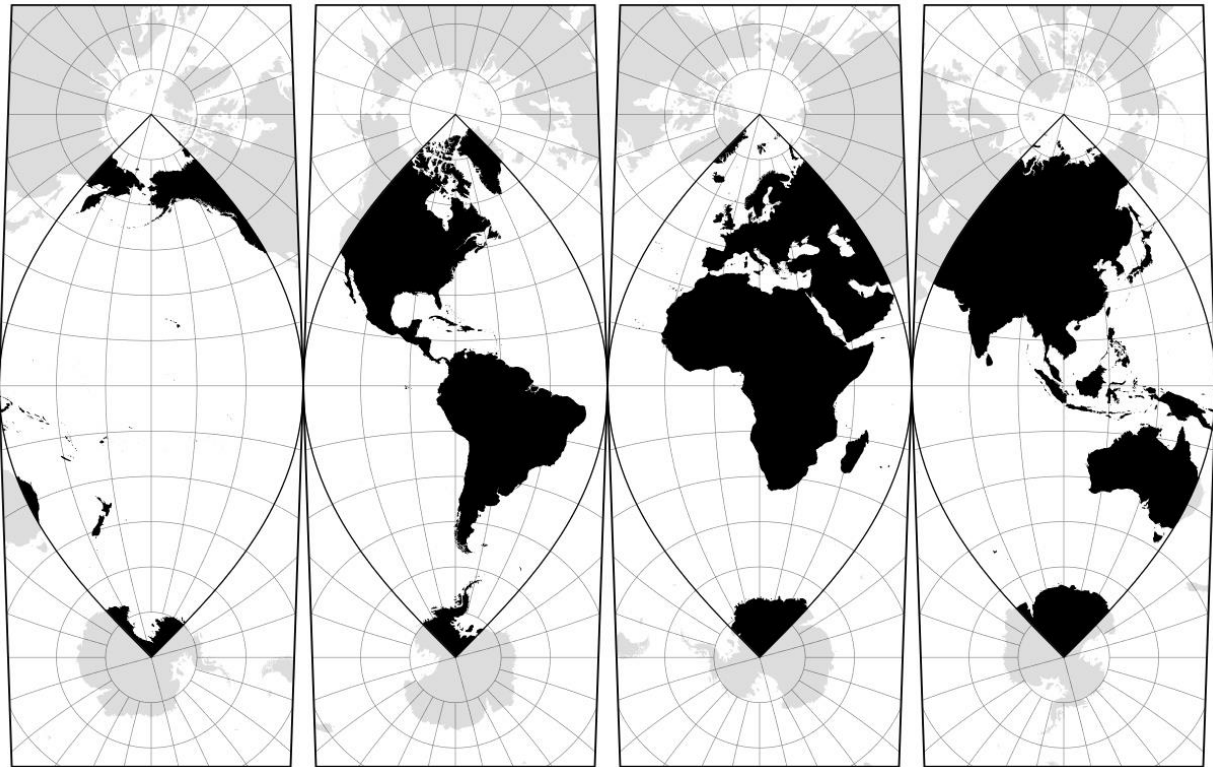
¹⁶ El IGN dispone de una aplicación en línea, <http://www.ign.es/web/ign/portal/gds-web-srv-coord>.

Esas distorsiones cuando proyectamos la totalidad del globo muestran sus inconvenientes. En cambio, es de gran utilidad como proyección interrumpida. Con una interrupción utilizando cuatro meridianos es un buen ejemplo de la distribución de masas continentales. En el sistema UTM la tierra se divide en 60 husos.

Mundo.

Mercator Transversal, TM. Interrumpida con cuatro meridianos centrales (165°O, 75°O, 15°E y 105°E).

CILÍNDRICA CONFORME. Malla de 15°.



De <https://www.jasondavies.com/maps/interrupted-transverse-mercator/> citando a Victor Schrader [World Map on an Interrupted Transverse Mercator Projection](#). *The American Cartographer*, Volume 16, Issue 4, 1989.

Un lector medio percibe visualmente la esfericidad de la tierra con los polos dibujados como puntos, representando la convergencia de meridianos y con los paralelos como arcos que llegan a ser círculos concéntricos.

La división en cuatro partes sigue los meridianos situados en los ejes que permiten la representación de las masas continentales sin grandes distorsiones y el dibujo del Océano Pacífico como una extensión claramente marina. La línea recta del ecuador se utiliza mostrando la continuidad real de lo que se ha dividido en esas cuatro partes. Con estos parámetros no se pierde la conformidad.

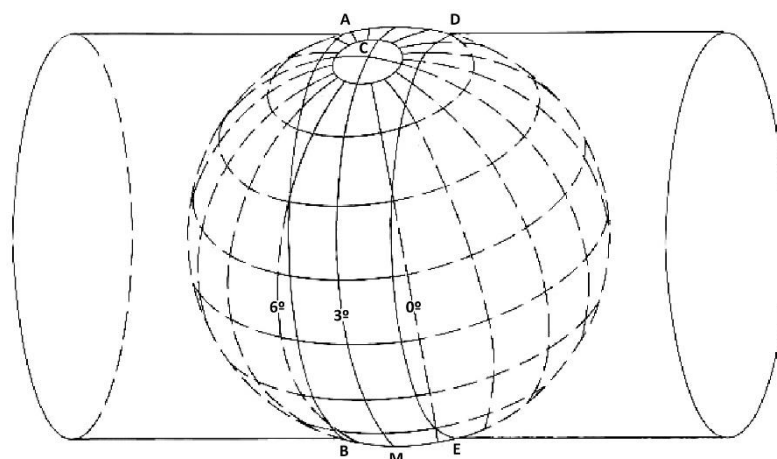
No hay deformaciones ni figuras extravagantes y la necesaria pérdida de la continuidad de una figura esferoidal tiene un resultado plano que es de nuestro agrado. Consideramos oportuna la utilización de esta figura para la comparación con otras versiones sobre el mundo proyectado. Habrá quien la desautorice acertada o desacertadamente. Es un asunto de opinión.

2.1 Sistema UTM. Sistema europeo ETRS_89_TMzn

El más extendido en las últimas décadas es el sistema UTM (Universal Transversal Mercator). Fue adoptado en 1940 por el Ejército de los USA que, tras la Segunda Guerra Mundial, lo acordó con los países de la OTAN y con otros países aliados suyos para la unificación de una proyección en la cartografía a escalas medias. En España, no se hará oficial hasta 1970, a través del actual Instituto Geográfico Nacional (IGN) y del entonces denominado Servicio Geográfico del Ejército (SGE). Es un sistema recomendado en Europa en escalas inferiores a 1:500.000.

Utiliza la versión Gauss-Krüger de la proyección transversal de Mercator aplicándose repetidamente en 60 husos de 6° cada uno ($60 \times 6^\circ = 360^\circ$) en los que el cilindro es secante, delimitando dos meridianos de mínima distorsión. Se trata de una proyección conforme conservando, por tanto, los ángulos, aunque modifica las superficies y las distancias. Con la utilización de husos de 6° y al ser secante se reducen estas distorsiones¹⁷. La superficie de referencia es un elipsoide de revolución, pero hasta la adopción del GRS80 utilizaba hasta cinco tipos distintos: el Esferoide Internacional, para la mayor parte, el Clarke de 1866 para África, el Clarke de 1880 para Norte América y el Everest y el Bessel para algunas partes de Asia. Afortunadamente, se ha normalizado en un único elipsoide.

La figura conceptual es un cilindro secante y transversal sobre cada uno de los husos teniendo como eje de proyección su meridiano central que será perpendicular al eje del cilindro.



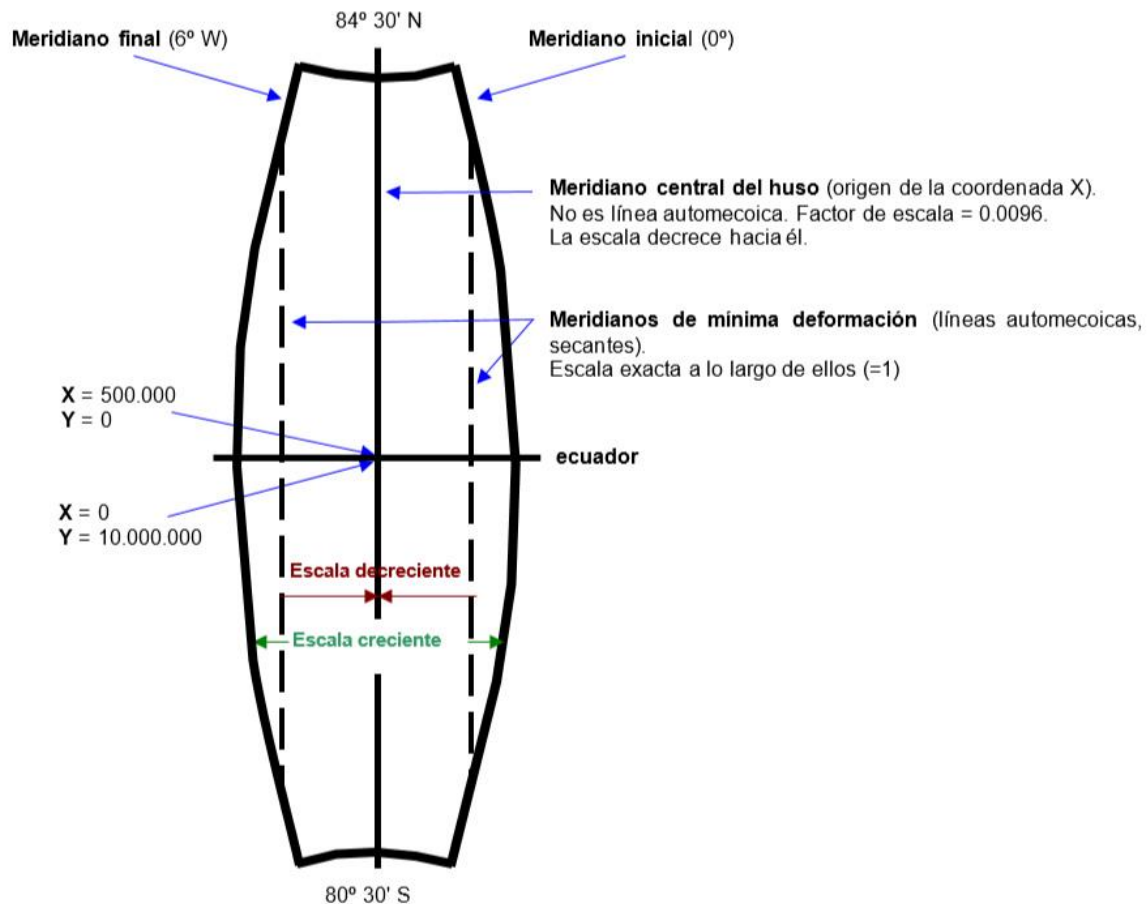
CM - Meridiano central
AB, DE - Líneas secantes formadas
por la intersección del
cilindro y el elipsoide

Esos 60 husos en los que el cilindro es secante, se numeran del 1 al 60 a partir del meridiano de 180° oeste, en sentido oeste-este. Así, el huso 1 es el comprendido entre los meridianos de longitud 180° y 174° oeste y el huso 2 es el comprendido 174° y 180° este. En cada caso, el meridiano central está a 3° de los meridianos que limitan el huso. Será el de 177° en la zona 1, 171° en la zona 2, 165° en la zona 3 y así sucesivamente.

En cada huso se aplica la proyección. Es, por lo tanto, una proyección interrumpida 60 veces. Las líneas de mínima deformación (también conocidas como "líneas automecóicas"), aquellas en las que el cilindro intersecta al elipsoide, están situadas a 2° 15' del meridiano central y se representan a la escala nominal (factor de escala = 1). El meridiano central de cada huso tiene un factor de escala igual a 0,9996.

¹⁷ Con finalidades catastrales, se utilizó anteriormente con husos de 3°. Reducen las distorsiones de áreas, tan sensibles a la propiedad inmobiliaria.

No se utiliza a partir de 80° de latitud por las fuertes distorsiones en las altas latitudes. En su lugar, se emplea la proyección Estereográfica Polar (Sistema Universal Polar Stereographic, UPS).



CC.Javier Espiago - SCUAM

A partir de las líneas de mínima deformación, el factor crece hasta los bordes del huso, alcanzando un máximo de 1,0095. Decrece hasta el meridiano central alcanzando un mínimo de 0,9996. Por tanto, la escala también se mantiene constante a lo largo del meridiano central variando en la dirección de los meridianos restantes.

La distancia proyectada que separa a los meridianos se hace más pequeña conforme aumenta la latitud. Es el resultado de la convergencia de meridianos. La dimensión máxima del huso tiene lugar en el ecuador y corresponde, aproximadamente, a 668 km.

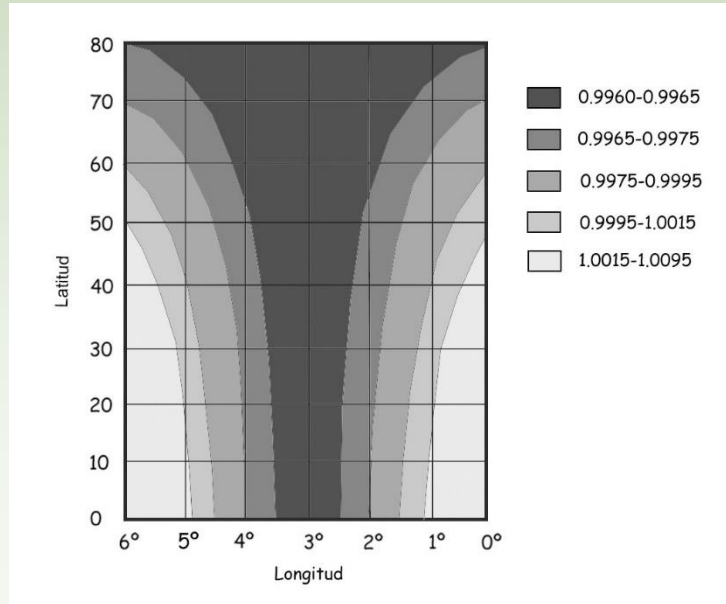
El origen de coordenadas es la intersección del ecuador con el meridiano central de cada huso. Son, respectivamente, el eje X y el eje Y. Las unidades son metros y a ese meridiano central de cada zona se le asigna el valor de 500.000 m (Falso Este, FE) para evitar la utilización de valores negativos.

Persiguiendo lo mismo, en el Hemisferio Norte se asigna al ecuador el valor origen de 0 m y en el Hemisferio Sur se le asigna al ecuador el valor origen de 10.000.000 m. Es el denominado Falso Norte (FN).

Existirán 60 ejes de coordenadas con 60 orígenes en la intersección de cada meridiano central con el ecuador. Cada punto se localiza con sus coordenadas X, Y especificando en metros la distancia desde los correspondientes falsos orígenes.

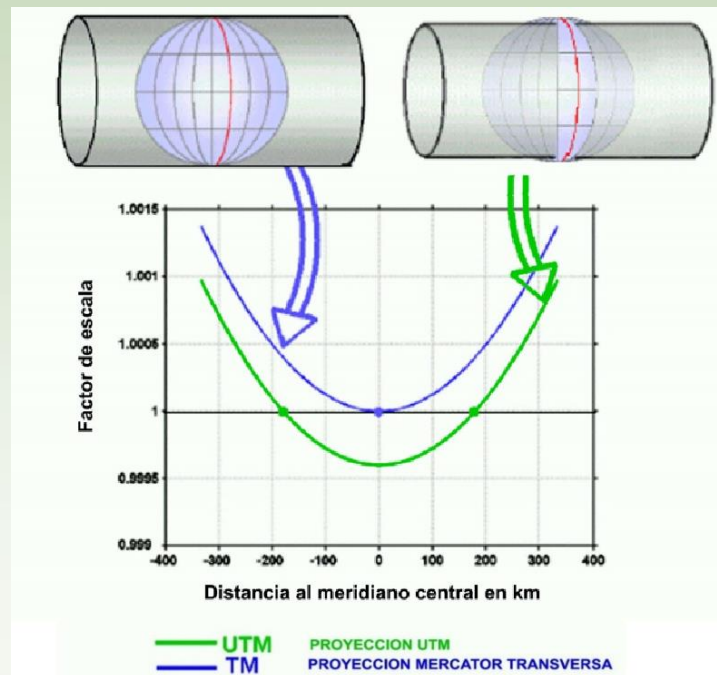
Con los parámetros UTM logramos que el factor multiplicador se reduzca al intervalo 0,9660-1,0095. Sus valores los agrupamos en cinco intervalos. El de mínima deformación es el que ocupa el cuarto lugar

La escala varía según la latitud y la longitud. Se curva hacia el N por la naturaleza esferoidal de los trapecios. Aumenta desde el meridiano central hasta los bordes. Los meridianos de mínima deformación son los que intersectan el cilindro. Próximos a los bordes del huso, se reduce la distorsión. Ya sabemos que no es correcto decir que la escala nominal se presenta en todo el mapa.



En la proyección Transversal el meridiano de mínima distorsión es tangente y está centrado en el huso. Por eso, las deformaciones aumentan hacia los bordes del mismo.

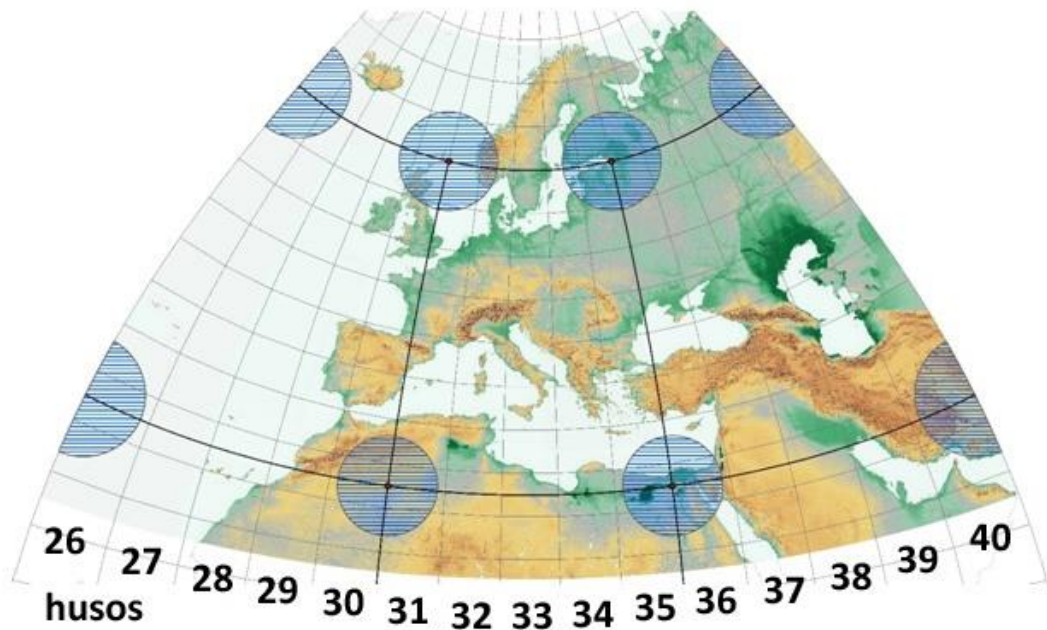
En la UTM, los meridianos de mínima deformación son secantes al cilindro, cerca de los bordes del huso. Se reduce la distorsión.



Europa. Relieve (ASTER-SCUAM). Elipses de Tissot, husos 26-40

ETRS_89_UTM huso 33.

CILÍNDRICA CONFORME.



25833 EPSG. Meridiano central 15,0°.

<http://downloads2.esri.com/MappingCenter2007/blog/Mar11Images/TissotsIndicatrix.zip>

CC Javier Espiago - SCUAM

Gran parte del territorio europeo y de las islas atlánticas próximas se incluyen en los husos 26 al 40. El huso 33 y su meridiano central 15° se emplea para la representación en mapas continuos.

En la recomendación para el conjunto de Europa el sistema se llama ETRS_89_TMzn (zn igual al huso de la zona UTM), para escalas superiores a 1: 500.000 en mapas conformes. Los parámetros son los de la UTM, pero delimitando la extensión de cada huso en latitud. Cuando hablamos del sistema europeo ETRS_89 TMzn, se recomiendan las siguientes latitudes mínima y máxima (grados decimales) en los distintos husos longitudinales¹⁸

Nombre	Referencia EPSG	Lat min (dd)	Lat max (dd)	Lon min (dd)	Lon max (dd)
ETRS_89_UTM_Zona_26N	102097	25,100	65,800	-30,000	-24,000
ETRS_89_UTM_Zona_27N	102098	27,600	66,500	-24,000	-18,000
ETRS_89_UTM_Zona_28N	25828	34,930	72,440	-18,000	-12,000
ETRS_89_UTM_Zona_29N	25829	34,920	74,130	-12,000	-6,000
ETRS_89_UTM_Zona_30N	25830	35,260	80,530	-6,000	0,000
ETRS_89_UTM_Zona_31N	25831	37,000	82,400	0,000	6,000
ETRS_89_UTM_Zona_32N	25832	38,770	83,920	6,000	12,000
ETRS_89_UTM_Zona_33N	25833	46,410	84,000	12,000	18,000
ETRS_89_UTM_Zona_34N	25834	58,840	84,000	18,000	24,000
ETRS_89_UTM_Zona_35N	25835	59,640	84,000	24,000	30,000
ETRS_89_UTM_Zona_36N	25836	69,470	83,890	30,000	36,000
ETRS_89_UTM_Zona_37N	25837	71,280	79,080	36,000	39,640
ETRS_89_UTM_Zona_38N	25838	37,000	41,650	42,000	48,000
ETRS_89_UTM_Zona_39N	102099	36,000	75,000	48,000	54,000

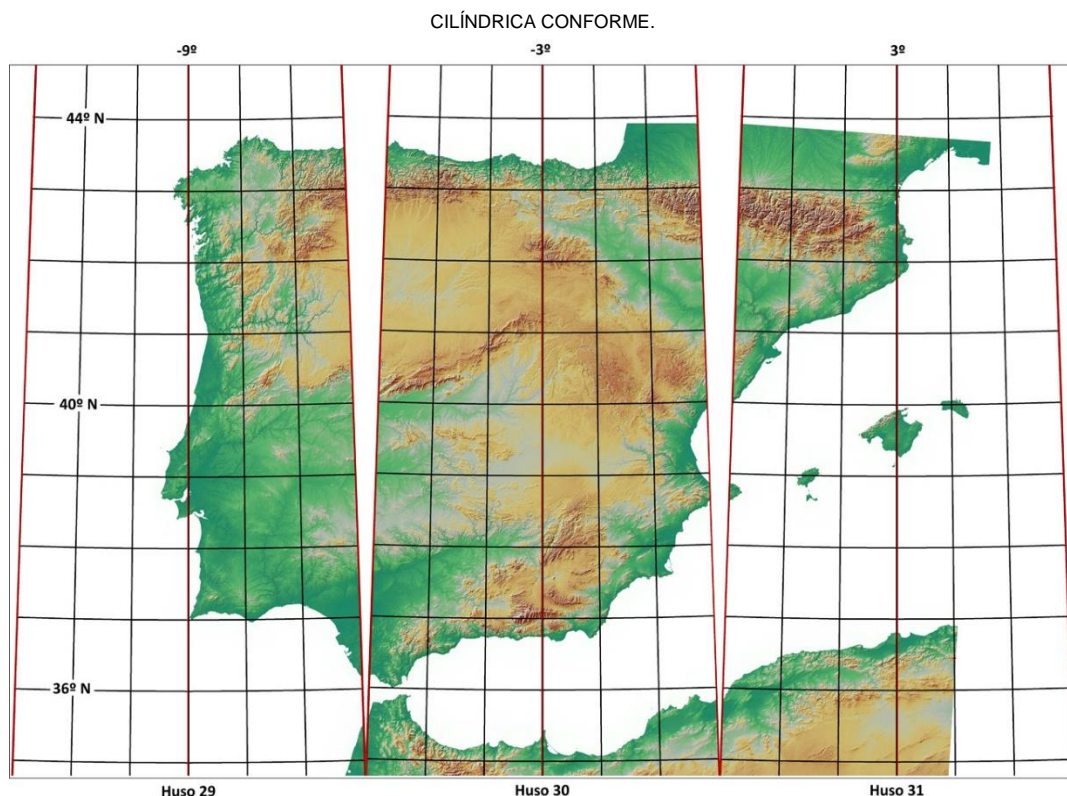
¹⁸ Con alcance en "large and medium scale topographic mapping and engineering survey". Además, con el mismo código EPSG: 25833 son los mapas pan-europeos centrados en el huso 33 (meridiano central 15° a diferencia de los otros dos sistemas ETRS_89 cuyo meridiano central es 10°)

En España se recurre oficialmente a este sistema en las escalas iniciales con los datos básicos. Ha de utilizarse también en los proyectos geográficos. La península se distribuye en tres husos UTM con tres proyecciones interrumpidas (cada 6°) con meridianos centrales en -9°, -3° y 3°. Estos meridianos se representan como tres líneas rectas, aunque su escala no sea la escala nominal. Son perpendiculares al ecuador.

Es el sistema de obtención de datos con compilaciones desde 1: 2 000, siendo las series nacionales principales a 25.000 y 1:50.000¹⁹, pero también existen series menores. Estas escalas de representación conviven con otros sistemas y con datos sin proyección en los también es de necesaria la referencia a una escala de captura. Por unión de hojas o por agregación de entidades sin divisiones previas, el sistema UTM sirve hasta una escala que algunos naturalistas reducen hasta 1: 2 000.000²⁰, El IGN habla de “datos SIG” y datos agrupados según la composición de hojas que ya habíamos enunciado. Los SIG son, sencillamente, una herramienta que sigue valorando las ediciones tradicionales compartimentadas. Los proyectos geográficos suelen exigir diferenciaciones territoriales.

Relieve de la Península Ibérica y Baleares. Malla geográfica de 1°.

ETRS_89_UTM husos 29, 30 y 31.



CC Javier Espiago - SCUAM

En sus 60 proyecciones conformes, también esta malla geográfica se intersecta en el plano con 90°, pero convertida en cuadriláteros cuyo segmento inferior tiene una longitud distinta que el del límite norte. La longitud

¹⁹ Son las escalas básicas del IGN. Existen otras escalas iniciales, propias de algunas entidades autonómicas, a escalas 1: 5 000 y 1: 10.000. Los catastros hablan de escalas 1: 1 000, 2 000 y 5 000 pero manteniendo husos de 6°.

²⁰ Está generalizada como escala mínima 1: 1 000.000 aunque existan representaciones menores. Cuando se emplean datos proyectados con medios informáticos el sistema TMzn no tiene limitaciones de escala. Se atiende a la proyección inicial evitando transformaciones posteriores.

es distinta en los trapecios elipsoidales y se distorsiona con la proyección. Además, el tamaño de las celdas proyectadas variará en cada franja con la distancia al meridiano eje de proyección.

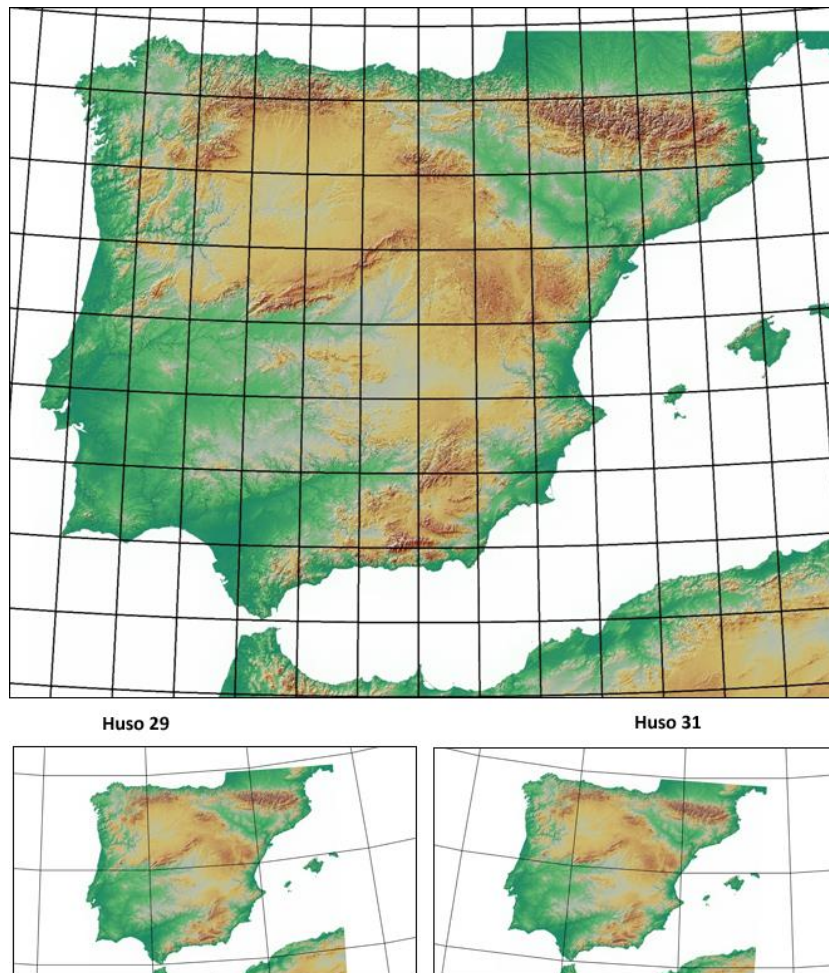
Representación de varios husos utilizando el origen de un solo huso.

Siendo una proyección interrumpida, está el problema de la representación de territorios en los que existe más de un huso. Es el caso de Europa, que ya hemos visto, y el de España, que se encuentra repartida entre los husos 29, 30, 31 (Península y Baleares) y 28 (Canarias). Una pequeña parte de la isla de Hierro queda dentro del huso 27. Para el dibujo de la península, se recurre a la representación sobre el huso 30, mayoritario, de posiciones geográficas existentes en los husos 29 (mitad oeste de la Península) y 31 (mitad este). Se obtiene una representación cartográfica continua en un sistema que es el de una proyección interrumpida.

Relieve de la Península Ibérica y Baleares. Malla geográfica de 1°.

ETRS_89_UTM huso 30.

CILÍNDRICA CONFORME.
3042 EPSG, meridiano central: -3°.



CC Javier Espiago - SCUAM

De esta manera, en lugar de tres orígenes de coordenadas, uno por cada huso, tenemos uno solo, el del huso 30. Esta operación se conoce como "proyección" de un huso sobre otro; es decir, en el caso de España

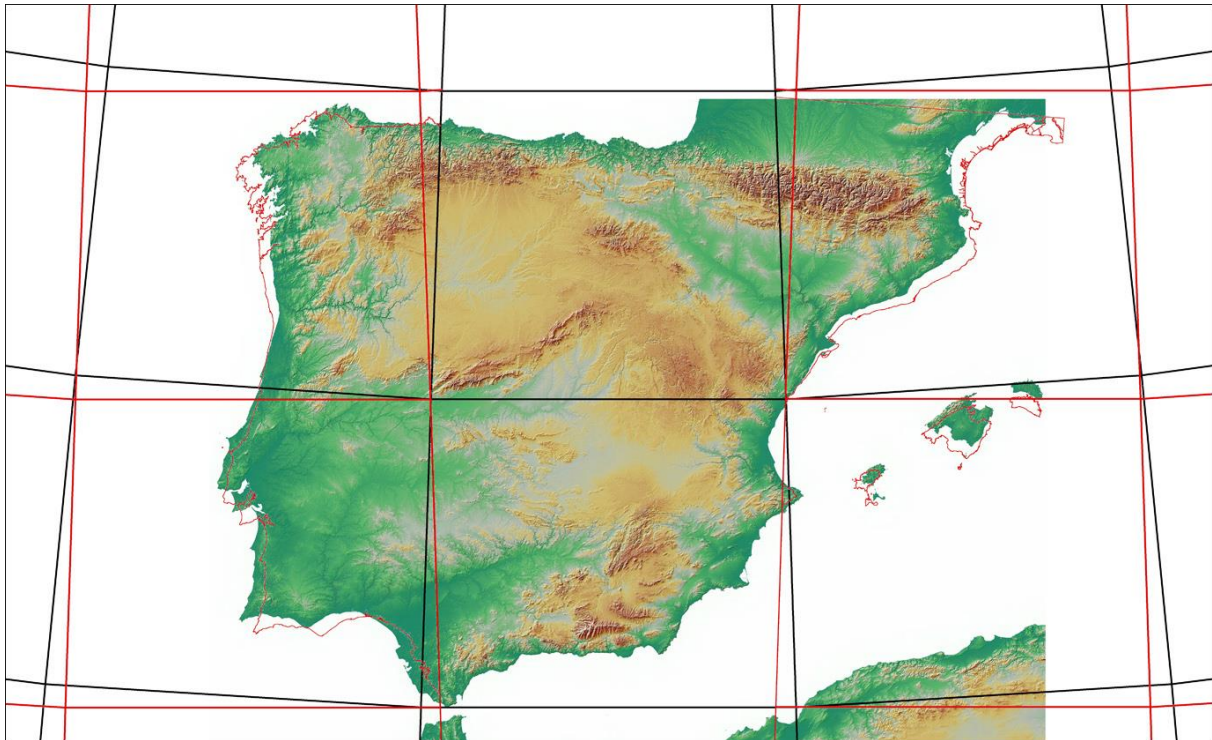
estaríamos proyectando los husos 29 y 31 ampliando el huso 30. En los mapas anteriores apreciamos lo que es el cambio más acusado de este procedimiento pues supone un giro de ambos territorios adyacentes.

Las nuevas coordenadas se calculan con una mayor distorsión a partir de los bordes pues ampliamos la anchura del huso de referencia. Nos alejamos de los meridianos de mínima deformación incrementándose progresivamente el factor de escala lo que dependerá de la anchura de la zona incorporada y de la latitud (como acabamos de ver). En los mapas anteriores el valor máximo alcanzado es de 1,04 % (4 % de distorsión lineal) en el área de las Baleares que es una distorsión asumible. La superficie de Cataluña medida en su propio huso 31 es de 32.191,61 km², mientras que al proyectar en el huso 30 apenas cambia hasta unos escasos 32.191,62 km².

Relieve de la Península Ibérica y Baleares con superposición de la línea de costa de los husos 29 y 31.

ETRS_89_UTM huso 30.

CILÍNDRICA CONFORME.



Relieve: 3042 EPSG, meridiano central: -3°. Línea de costa huso 29: 3041 EPSG, meridiano central: -9°. Línea de costa huso 31: 3043 EPSG, meridiano central: 3°.

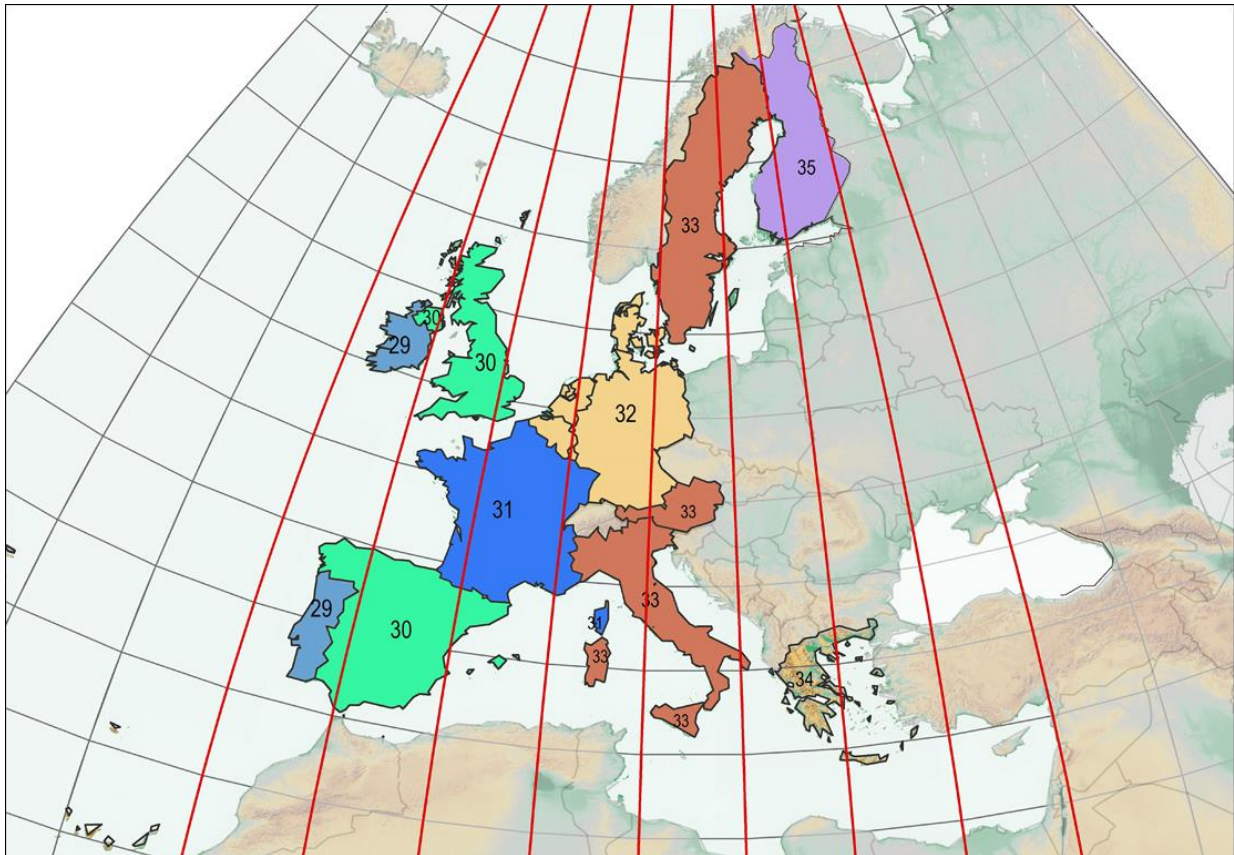
CC Javier Espiago - SCUAM

La superposición de los tres sistemas ayuda al entendimiento del procedimiento. El relieve lo proyectamos en el huso 30. Las líneas de costa en los husos 29 y 31. Para la representación en un único mapa utilizamos las intersecciones del paralelo central con el meridiano de -6° y con el de 0°. El giro se percibe en el trazado costero y también en la malla geográfica de meridianos y paralelos.

UE, algunos estados miembros. Representación en husos mayoritarios.

ETRS_89_UTM huso 33.

25833 EPSG, meridiano central: 15°



CC Javier Espiago - SCUAM

De los países de la Unión Europea del cartograma anterior, únicamente Portugal continental e Irlanda, en la que no se incluye Irlanda del Norte, se cartografiaban en UTM en un solo huso. En ambos casos figurarán en dos mapas del huso 29. El resto de estados extienden su territorio en varios husos dando lugar a interrupciones o discontinuidades cartográficas. Acabamos de ver que, cuando formamos mapas continuos, los husos 29, 30 y 31 de España peninsular y Baleares se cartografiaban en UTM en el huso 30 que es el dominante. El Reino Unido une en el huso 30 el territorio de los husos 29 y 31. Francia en el huso 31 los territorios del huso 30 y los del huso 32. Italia, Austria y Suecia al huso 33 añaden los del huso 32. Grecia al huso 34 los del huso 35. Finlandia en el huso 35 los del huso 34. El resto, siempre en el huso 32 aunque sus territorios pertenezcan al huso 31 o al huso 33.

2.2 Mallas y cuadrículas basadas en el Sistema UTM.

UTM MGRS²¹ (Military Grid Reference System UTM).

Además de los 60 husos geográficos utilizados en la interrupción de la proyección, se define una malla con 20 bandas de latitud llamadas zonas. Diez y nueve zonas cada 8° y un segmento adicional en el extremo norte que cubre 12°. Se utilizaban en la georreferenciación relativa y nacieron con un uso militar y jerárquico. Los 1.197 cuadrángulos reciben una numeración y una letra.

El primer identificador es el número de los 60 husos UTM que ya hemos visto. El huso 32 se amplía 9° a expensas del huso 31, entre 56° N y 64° N en el suroeste de Noruega. Los husos 33 y 35, entre 72° N y 84°N, se amplían 12° para la inclusión de Svalbard. En compensación, en esas latitudes, los husos 31 y 37 se amplían 9° y se eliminan los husos 32, 34 y 36. Es una forma de organización.

El segundo identificador es una letra nombrando las 20 bandas de latitud. Iniciando la denominación de sur a norte, cada uno de los veinte segmentos se indica con las letras C a X, utilizando únicamente las letras del alfabeto inglés (no se incluyen la CH, LL y la Ñ) y se exceptúan las letras I y O, para evitar confusiones. La C iría de 80° S a 72° S; la X, de 72° N a 84° N. Las bandas que van de C a M están en el hemisferio Sur, y las que van de N a X en el Hemisferio Norte.

Como las zonas son de 8° y de 12°, mientras que en los husos no encontramos esas ampliaciones y reducciones, la malla tiene:

Ancho de Latitud	Ancho de longitud	nº total de celdas
8°	6°	1.138
8°	9°	1
8°	3°	1
12	6°	53
12°	9°	2
12°	12°	2

CUADRÍCULA GEOGRÁFICA UTM (GRID ZONE): malla de 60 husos con 6° de longitud y 20 bandas de latitud. Pese al nombre en español, no es una cuadrícula. Es una red geográfica con 1.197 trapecios esferoidales, no es una malla proyectada. En la Península Ibérica los husos son el 29 (entre -12° y -6°), el 30 (-6° y 0°) y el huso 31 (0° y 6°). La atraviesa un único paralelo delimitador de zonas. Es el de 40° N que separa las zonas llamadas T y S. Hemos visto anteriormente la subdivisión en cuadrículas de meridianos y paralelos cada 1° que también es una malla geográfica.

CUADRÍCULA BÁSICA UTM: cuadrícula geográfica UTM proyectada. La *cuadrícula* geográfica se divide en un número variable de cuadrados de 100.000 m de lado, a partir del meridiano central de cada huso y del Ecuador (100 km en unidades proyectadas).

Es frecuente también que los cuadrados aparezcan subdivididos a intervalos redondos (por ejemplo, cada 10 km o cada 1 km)²².

²¹ La malla UTM se prolonga en la malla UPS.

²² En la serie L del SGE aparece la cuadrícula de 1 x 1 km en trazo fino, mientras se resalta con trazo más grueso la cuadrícula de 10 x 10 km. En el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA) se descartan las cuadrículas de 10 km y de 1 km, suficientemente documentadas.

CUADRÍCULA UTM (CUTM): el conjunto de la malla básica proyectada y la cuadrícula de 100 x 100 km recibe el nombre de cuadrícula UTM (CUTM). Como los husos se estrechan hacia los Polos, también se reduce el número de cuadrados. En los bordes de huso aparecen incompletos.

Si nos referimos a los husos:

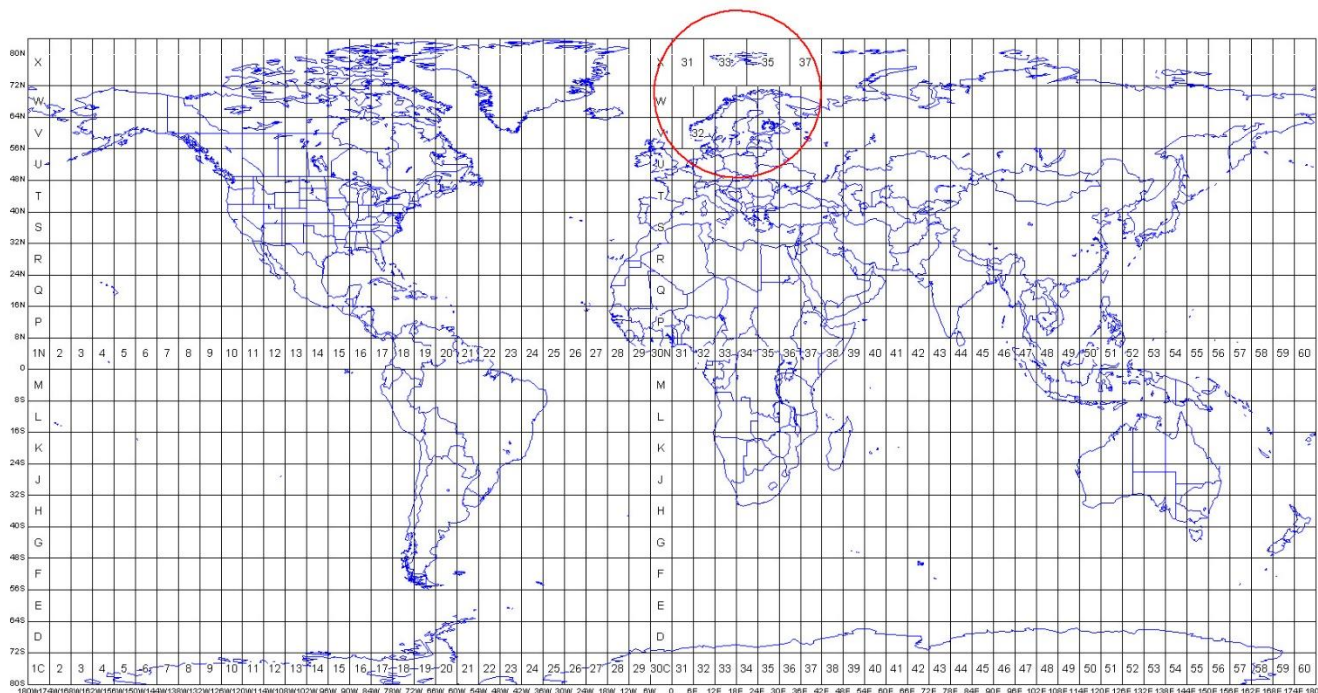
CUADRÍCULA PRINCIPAL UTM PROPIA DEL HUSO: es la representación en cada huso UTM de la cuadrícula de 100 km y sus subdivisiones tal como se definen por los ejes coordenados de dicho huso.

CUADRÍCULA PRINCIPAL UTM SOLAPADA: es la representación en el área fronteriza de dos husos UTM de la cuadrícula principal del huso contiguo. Es una cuadrícula prolongada²³.

CUADRÍCULA UTM SUPERPUESTA: cuadrícula UTM transformada a otro sistema de proyección. Se representa en mapas elaborados en esos otros sistemas.

DESIGNACIÓN DE LA CUADRÍCULA GEOGRÁFICA UTM (GRID ZONE)

Señalamos el área de las Svalbard y del SO de Noruega que no se ajusta a la división regular²⁴. Las zonas C y X son de 12°. El resto, de 8°.



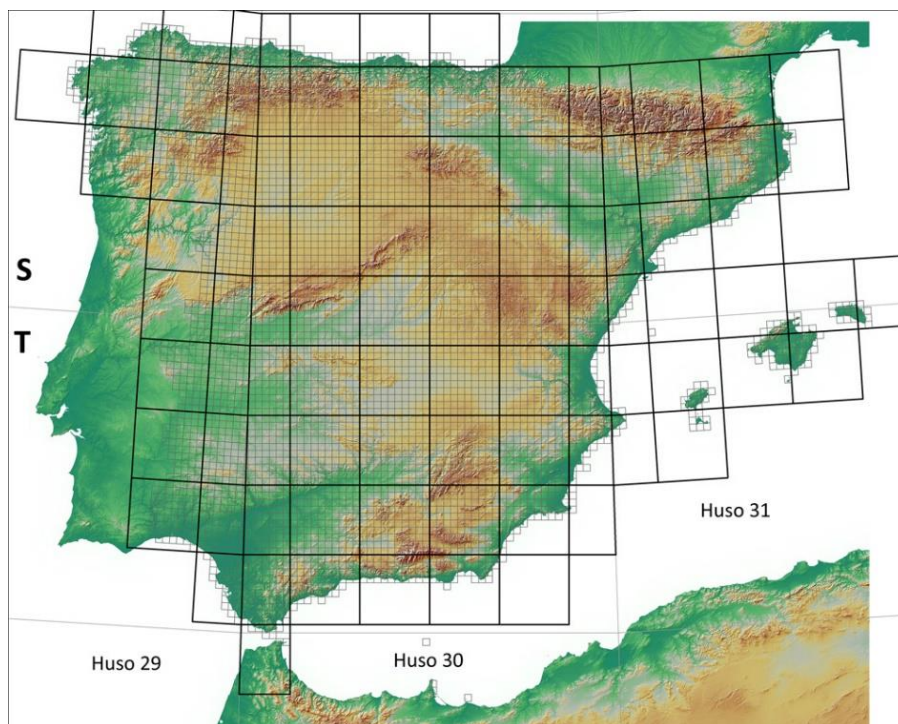
C Javier Espiago - SCUAM

²³ En <http://earth-info.nga.mil/GandG/publications/tm8358.1/tr83581b.html>, referencia sobre las cuestiones UTM, se señala "Overlap: On large-scale maps and trig lists, the data for each zone, datum, or ellipsoid overlaps the adjacent zone, datum, or ellipsoid a minimum of 40 kilometers. The UTM grid extends to 80°30'S and 84°30'N, providing a 30-minute overlap with the UPS grid", apartado 2-6.3.1. Las tablas proceden de esa publicación: apartados 3-2.2.2 y 3-4.2 (que hemos modificado para Alcalá de Henares).

Se reconoce "For many years efforts have been made to reduce the complexity of grid reference systems by standardization to a single world-wide grid reference system. This effort is continuing and will generate additional changes" 3-2.3.1.

²⁴ La celda 32V se extiende por reducción de la 31V. Desaparecen las celdas 32X y 34X duplicándose las 33X y 35X.

CUADRÍCULA UTM EN ESPAÑA PENINSULAR Y BALEARES.
 CUTM y división en 10 km. Relieve de la Península Ibérica y Baleares.
ETRS_89_UTM huso 30.



3042 EPSG. Meridiano central: -3º

CC Javier Espiago - SCUAM

Cada cuadrado de 100 kilómetros proyectados se nombra secuencialmente con un par de letras. De la A a la V, del alfabeto inglés sin la I ni la O, que se leen de sur a norte y se repiten desde el ecuador. Dentro de esos cuadrados, calculamos subdivisiones que siguen reglas geométricas planas, adoptándose las de 10 km, 1 km y 100 m, pero no todas se dibujan en los mapas. De forma extraordinaria, se contemplan las mallas de 10 m y 1 m.

En estos casos la designación es numérica. Se exige que no haya separaciones de espacios, paréntesis, comas o puntos decimales. Las identificaciones dependen del tipo de operaciones militares, el tamaño del territorio de sus actividades, y de la escala del mapa utilizado²⁵.

Así, tendremos para las localizaciones que nos sirven como ejemplo (40°32'43.7284", -003°41'58.7942" del Servicio de Cartografía-SCUAM y 40°28'55"N y 3°21'51"O en Alcalá de Henares²⁶):

SCUAM	Alcalá de Henares	
30T	30T	Identificación de la cuadrícula geográfica (Grid Zone Designation)
30TVK	30TVK	Identificación de los puntos de las celdas de 100 x 100 km
30TVK40	30TVK69	Identificación de las celdas de 10 km ²
30TVK4075	30TVK6913	Identificación de las celdas de 1 km ²
30TVK407548	30TVK691348	Identificación de las celdas de 100 m ²
30TVK40754885	30TVK69134813	Identificación de las celdas de 10 m ²
30TVK4075488538	30TVK6913481314	Identificación de las celdas de 1 m ²

²⁵ Id. apartado 3-5.1 que añade "the military area commander usually designates the elements of the grid references to be used".

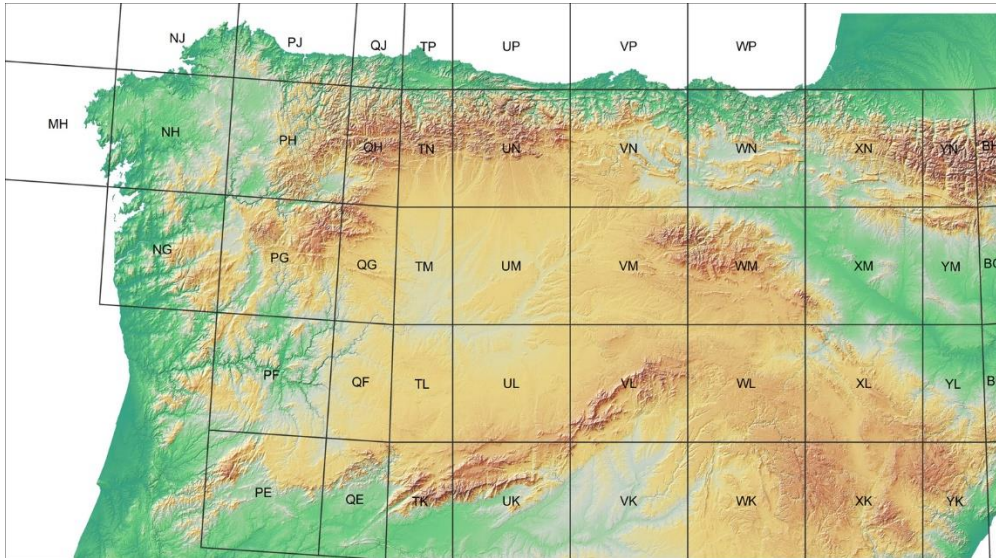
²⁶ Sus coordenadas UTM (centimétricas) son: 30T 4.407.54,50 m E, 4.488.538,19 m N y 30T 469.134,44 m E y 4.481.314,25 m N que en un uso jerárquico normalizado se indican con puntos decimales, pero sin puntos de unidades de millar o millones, sin comas ni separaciones.

En operaciones de gran extensión, utilizando 1: 1 000.000 y 1: 500.000, se identifican el huso y la zona (30T en los ejemplos). Cuando la extensión excede 100 km² y la escala es 1: 250.000 o más pequeña, se identifican además las celdas con las dos letras de la cuadrícula (30TVK).

CUADRÍCULA UTM.

Designación de las cuadrículas de 100 km². Relieve NO de la Península Ibérica.

ETRS_89_UTM huso 30.



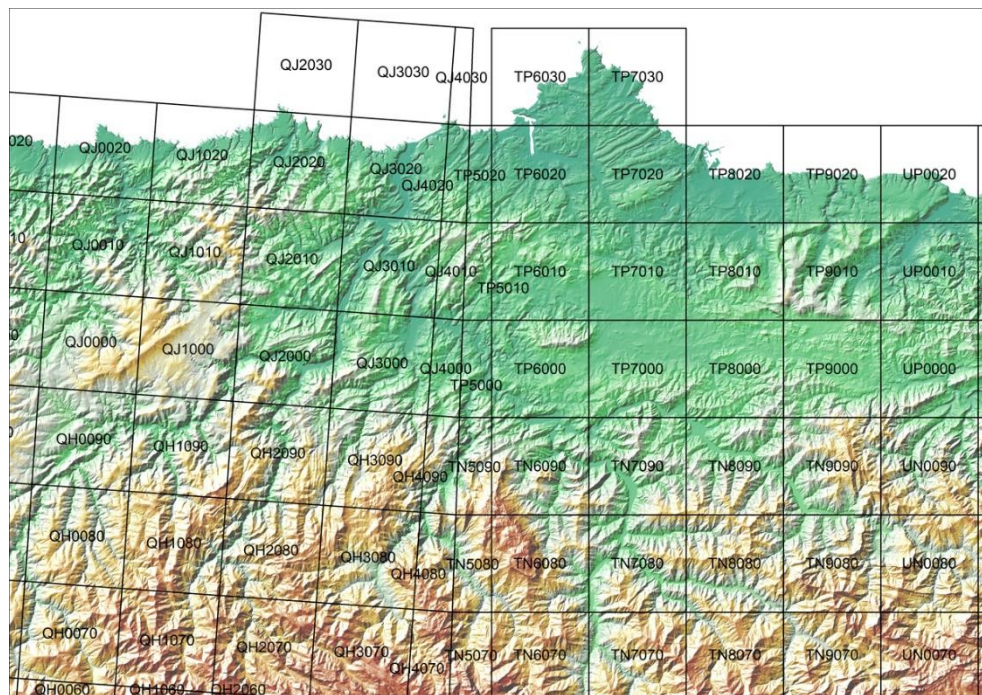
3042 EPSG. Meridiano central: -3° CC Javier Espiago – SCUAM

A partir de 1: 100.000, se utiliza únicamente la parte numérica designando las coordenadas rectangulares de la malla. Utilizando 2, 4, 6, 8 o 10 cifras, la precisión será de 10 km, 1km, 100 m, 10 m o 1 m.

CUADRÍCULA UTM.

Designación de las cuadrículas de 10 km². Relieve NO de la Península Ibérica.

ETRS_89_UTM huso 30.



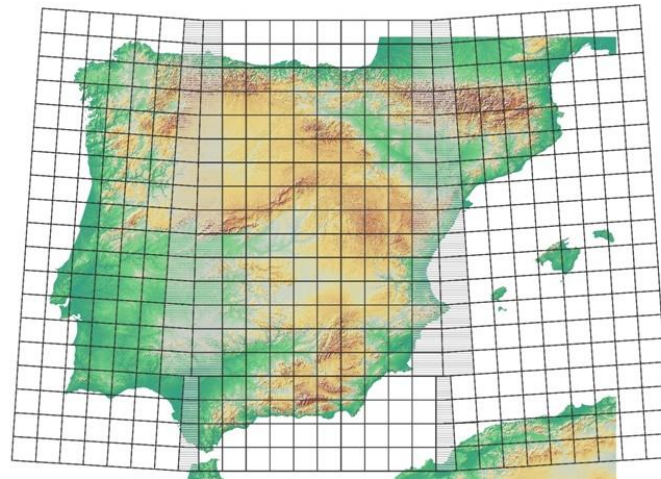
3042 EPSG. Meridiano central: -3° CC Javier Espiago - SCUAM

CGRS (Common European Chorological Grid Reference System).

La cuadrícula militar MGRS tiene grandes desventajas. Son difíciles las comparaciones en cálculos estadísticos pues sus celdas no tienen la misma superficie proyectada. En las zonas 24 a 37 del hemisferio norte (entre 36° O y 42° E) se utiliza para los atlas científicos europeos una malla de 50 x 50 km que la modifica parcialmente y obtiene una nueva denominación²⁷.

CUADRÍCULA CGRS. Relieve de la Península Ibérica y Baleares.

ETRS_89_UTM huso 30.



3042 EPSG. Meridiano central: -3°

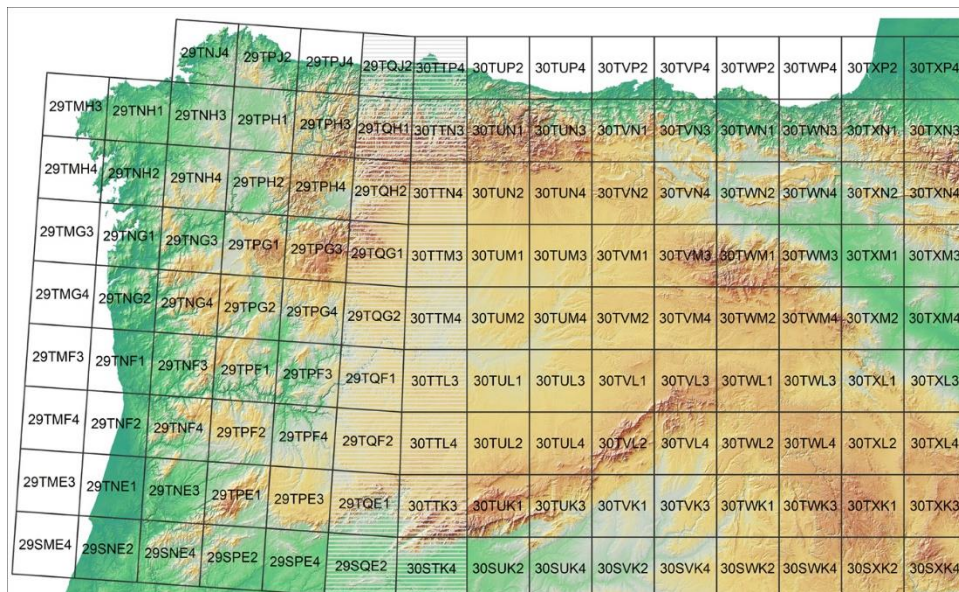
CC Javier Espiago – SCUAM

Las denominaciones siguen el sistema UTM de numeración de husos y asignación de un carácter a las zonas. Siguen las dos letras de la cuadrícula de 100 x 100 km que se divide en cuatro partes recibiendo un número (1, 2, 3 y 4) según sea su posición en el NO, SO, NE y SE. El mapa que adjuntamos muestra esta distribución.

CUADRÍCULA CGRS.

Designación de las cuadrículas de 50 x 50 km. Relieve NO de la Península Ibérica.

ETRS_89_UTM huso 30.



²⁷ "representatives of the atlas groups mapping European vascular plants, mammals, birds, amphibians, reptiles, fungi and invertebrates also agreed to use the MGRS as a common grid for species distribution mapping". Se descarga en European Environment Agency (EEA) <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/common-european-chorological-grid-reference-system-cgrs>.

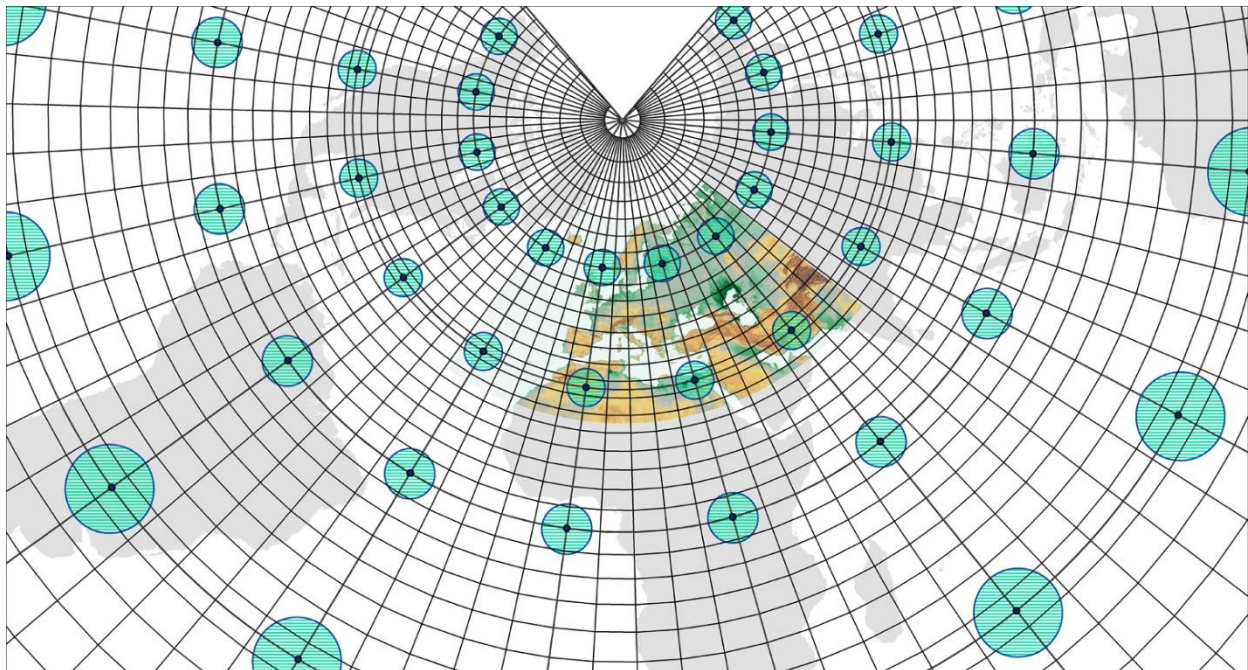
3. CÓNICA DE LAMBERT²⁸. Sistema europeo ETRS_89_LCC.

Cónica de Lambert, ETRS_89_LCC. MALLA DE DISTORSIÓN.

International Map Of The World. Relieve de Europa (ASTER-SCUAM)

CÓNICA CONFORME.

3034 EPSG, meridiano central: 10°. Paralelo estándar 1: 35°. Paralelo estándar 2: 65°.



<http://downloads2.esri.com/MappingCenter2007/blog/Mar11Images/TissotsIndicatrix.zip>.

ArcGIS\Desktop 10.2\Reference Systems\International Map Of The World.shp

CC Javier Espiago - SCUAM

Malla cónica simétrica respecto a cualquier meridiano. Como es conforme (excepto en el polo), las indicatrices son circulares variando su tamaño al alejarnos del centro de proyección. Los meridianos son líneas rectas espaciadas regularmente que convergen en el polo. Los paralelos, desigualmente espaciados y aumentando desde el centro, son arcos esféricos concéntricos respecto al polo. Sus radios son los meridianos. Entre ellos forman ángulos que son menores que los verdaderos.

Escala nominal únicamente en los paralelos estándar (no especificados en el gráfico). En todos los paralelos, la distorsión es constante, aunque la escala se acrecienta desde el centro.

El polo cercano al paralelo estándar es un punto. El otro polo no puede dibujarse y, por ello, no se utiliza para la configuración aproximada del mundo. En su aspecto normal, el ámbito sur se extendería al infinito. Como es necesario limitar la extensión, hemos cortado el ámbito norte, sin gran significación.

²⁸ Autor: Lambert, J. en 1772. "Various methods of determining optimum standard parallels have been proposed by John Herschel in 1860, V.V. Vitkovskiy (projection III) in 1907, N. Ya. Tsinger in 1916, and V.V. Kavrayskiy (projection III) in 1934", **SNYDER, J. y VOXLAND, P.** (1989), pág. 95. Utilización: "large scale mapping of regions of predominantly east-west extent,... many maps in the International Map of the World (1:1 000.000 scale), ... topographic mapping ... [and] atlas maps" id. Id. También en cartas hidrográficas y aeronáuticas o en el State Plane Coordinate System de los USA. "Pilots use aeronautical charts based on LCC because a straight line drawn on a Lambert conformal conic projection approximates a great-circle route between endpoints for typical flight distances". In Metropolitan France, the official projection is Lambert-93, a Lambert conic projection using RGF93 geodetic system and defined by references parallels that are 44°N and 49°N".

Inspire²⁹ lo recomienda para Europa³⁰ en un sistema que tiene el código EPSG 3034. Se trata de mapas conformes pan-europeos a escalas menores o iguales a 1: 500,000, sin mayor precisión. Las coordenadas geográficas iniciales han de estar, obligatoriamente, en el datum ETRS_89 WGS_84. Además:

- Meridiano central: 10°.
- Tiene dos paralelos secantes:
 - Paralelo estándar 1: 35°.
 - Paralelo estándar 2: 65°.
- En el cálculo de coordenadas:
 - Falso Norte: 2.800.000,0
 - Falso Este: 4.000.000,0
- Para Europa, la extensión en grados decimales y en grados, minutos y segundos es la del cuadro:

Latitud menor	Latitud mayor	Longitud menor	Longitud mayor
32,880	84,160	-16,100	39,640
32° 58' 48" N	84° 9' 36" N	16° 6' 5,12" O	39° 38' 24" E

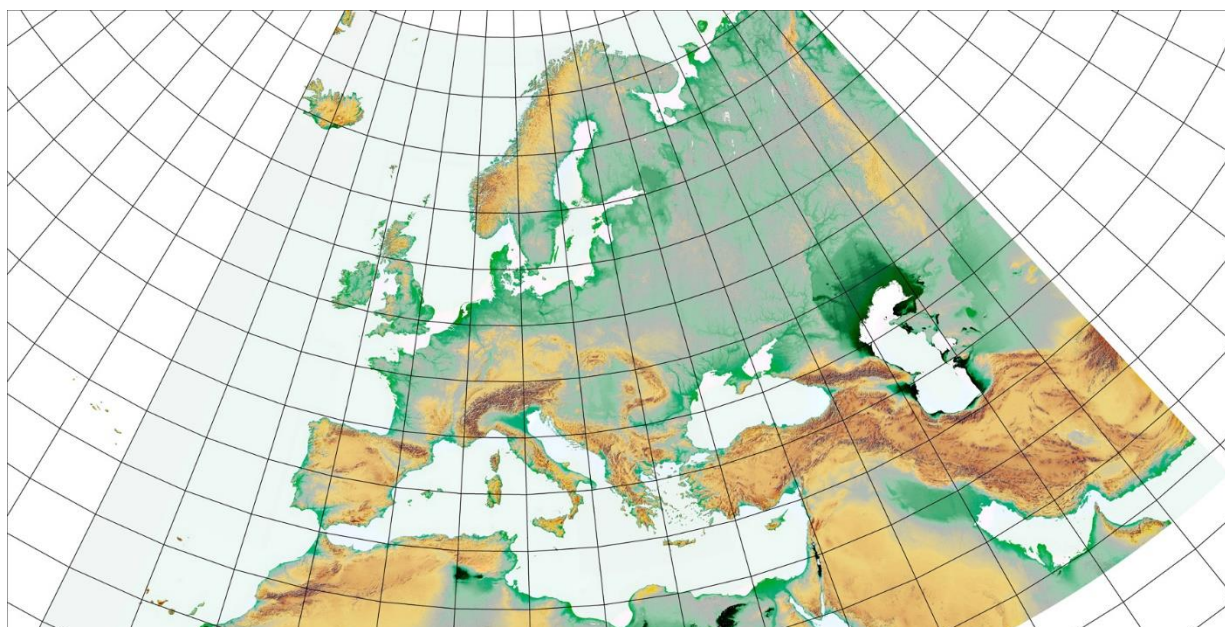
La conversión de coordenadas geográficas en coordenadas LCC y viceversa se puede ver en **SNYDER, J.** (1987) (para la esfera en páginas 106- 107, para el elipsoide en páginas 107- 110) y también está muy claro en el Land Information of New Zealand (LINZ)³¹.

Relieve de Europa (ASTER-SCUAM)

Cónica de Lambert, ETRS_89_LCC.

CÓNICA CONFORME.

3034 EPSG, meridiano central: 10°. Paralelo estándar 1: 35°. Paralelo estándar 2: 65°.



CC Javier Espiago - SCUAM

²⁹ D2.8. I.1, pág. 7.

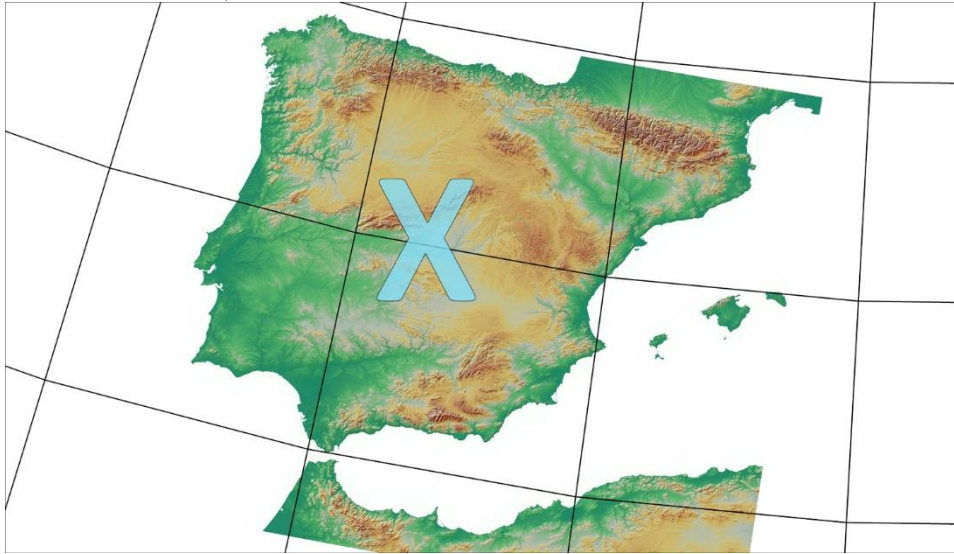
³⁰ Es engañoso el caduco sistema **Europe_Lambert_Conformal_Conic** pues en su denominación debería acompañarse de su **Datum ED 50**. Tampoco son los mismos los parámetros de sus paralelos estándar (43, 0° y 62, 0°) ni la latitud origen (30, 0°). Coincide el meridiano central (10, 0°). Su identificador es 102014, ESRI y EPSG (según Spatial Reference).

³¹ <http://www.linz.govt.nz/data/geodetic-system/coordinate-conversion/projection-conversions/lambert-conformal-conic-geographic>.

Relieve de la Península Ibérica

ETRS_89_LCC.

3034 EPSG, meridiano central: 10°. Paralelo estándar 1: 35°. Paralelo estándar 2: 65°.



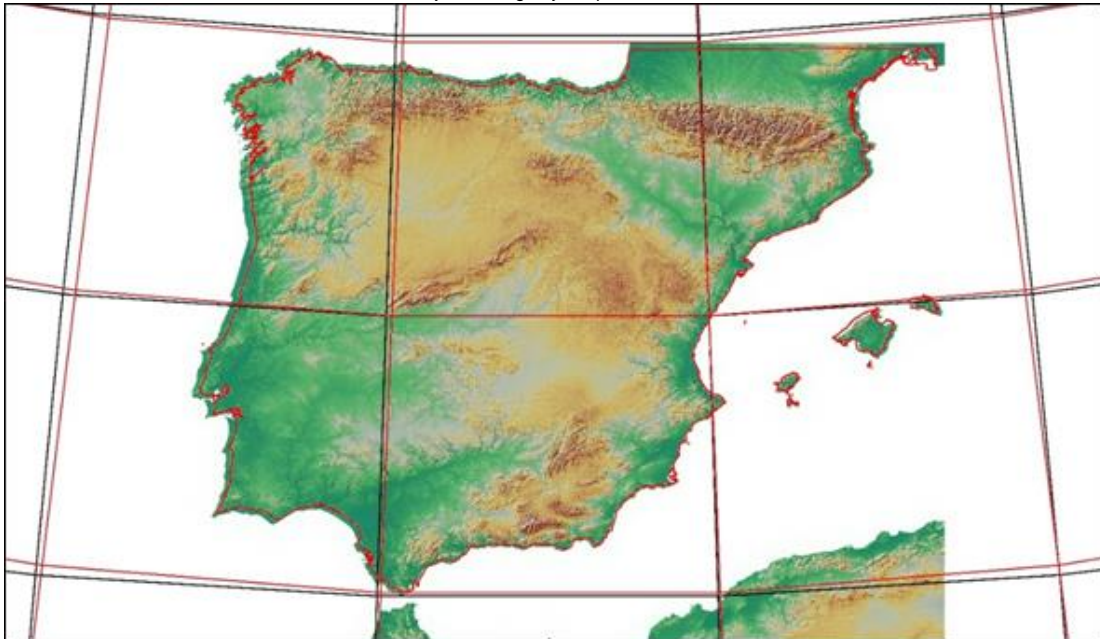
CC Javier Espiago - SCUAM

A diferencia del mapa de Europa en el sistema ETRS_89_UTM que emplea el huso 33 con su meridiano central en 15°, en el sistema ETRS_89_LCC el meridiano central es el de 10°. Ha de servir para escalas 1: 500.000 e inferiores, pero no es recomendable para áreas europeas aisladas. Es el caso de los mapas de la Península Ibérica que aparecerían con una rotación indeseada. Tampoco ha de servir para extensiones propias de los estados o de sus regiones que se siguen representando mediante UTM.

Relieve de la Península Ibérica

UTM huso 30 y superposición de la línea de costa (rojo) en ETRS_89_LCC.

Ajuste con giro y desplazamiento



Línea de costa: 3034 EPSG, meridiano central: -3°. Paralelo estándar 1: 35°. Paralelo estándar 2: 65°. Relieve: 3042 EPSG, meridiano central: -3°

CC Javier Espiago - SCUAM

La línea de costa está proyectada en LCC, en color rojo y con los parámetros del sistema europeo excepto con el meridiano central en -3° , el mismo que en UTM huso 30. Hemos superpuesto el relieve peninsular en este último sistema haciendo coincidir el paralelo de 40° . La distorsión cilíndrica es mayor en el sentido N- S y también se percibe la distorsión causada en las áreas que se representarían en los husos 29 y 31.

B. Proyecciones equivalentes.

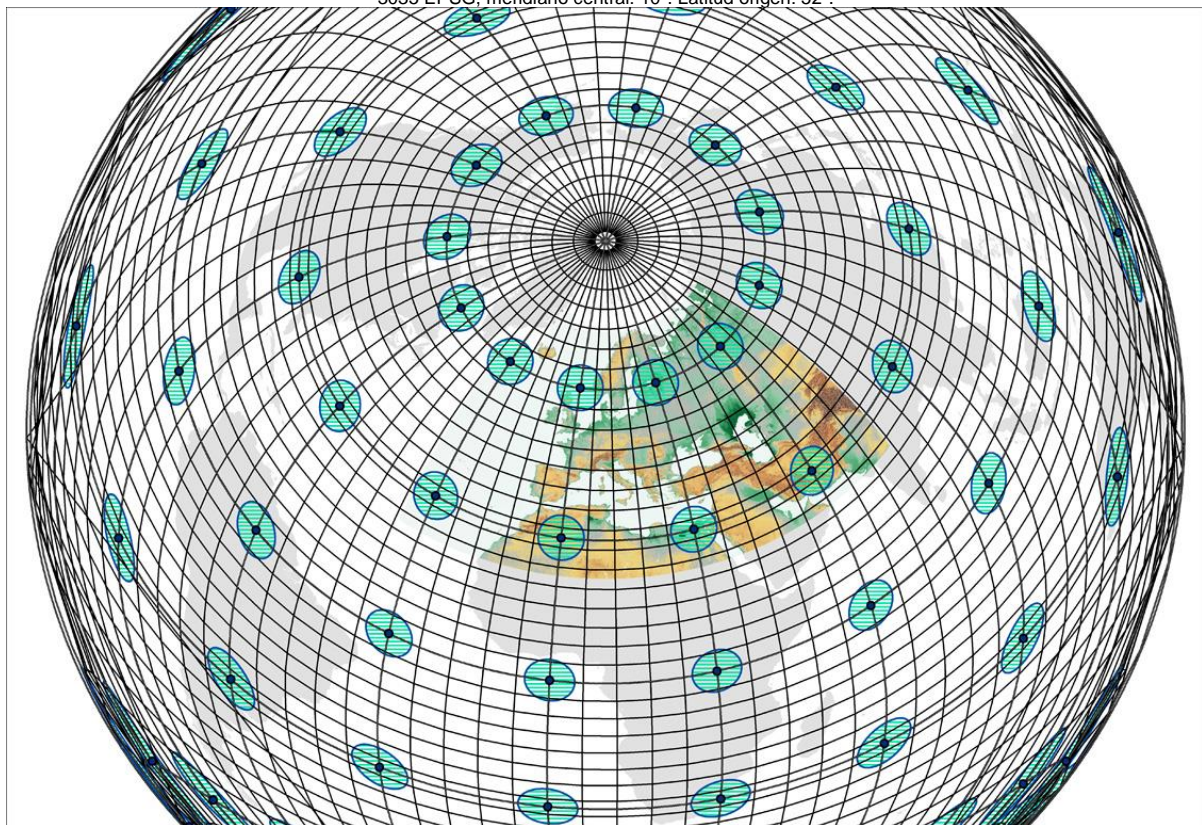
4. ACIMUTAL EQUIVALENTE DE LAMBERT. Sistema europeo ETRS_89_LAEA³²

MALLA DE DISTORSIÓN.

International Map Of The World. Relieve de Europa (ASTER-SCUAM)

ACIMUTAL EQUIVALENTE.

3035 EPSG, meridiano central: 10° . Latitud origen: 52° .



<http://downloads2.esri.com/MappingCenter2007/blog/Mar11Images/TissotsIndicatrix.zip>.

ArcGIS\Desktop 10.2\Reference Systems\International Map Of The World.shp

CC Javier Espiago – SCUAM

En el caso de la proyección acimutal para Europa el plano es polar y secante en ese punto. Malla semiesférica. Es simétrica utilizando cualquier meridiano. La distancia se reduce progresivamente desde el centro por lo que se aumenta la escala desde ese punto. Las indicatrices son equivalentes en superficie.

³² Se debe a Lambert, J. en 1772. Ver **SNYDER, J. y VOXLAND, P.** (1989), pág. 136. Nuevamente, las transformaciones y el estudio teórico en **SNYDER, J.** (1987), páginas 182 y siguientes. El sistema europeo acepta nombrarse con las siglas ETRS-LAEA, ETRS-LAEA 52N 10N or ETRS_LAEA5210.

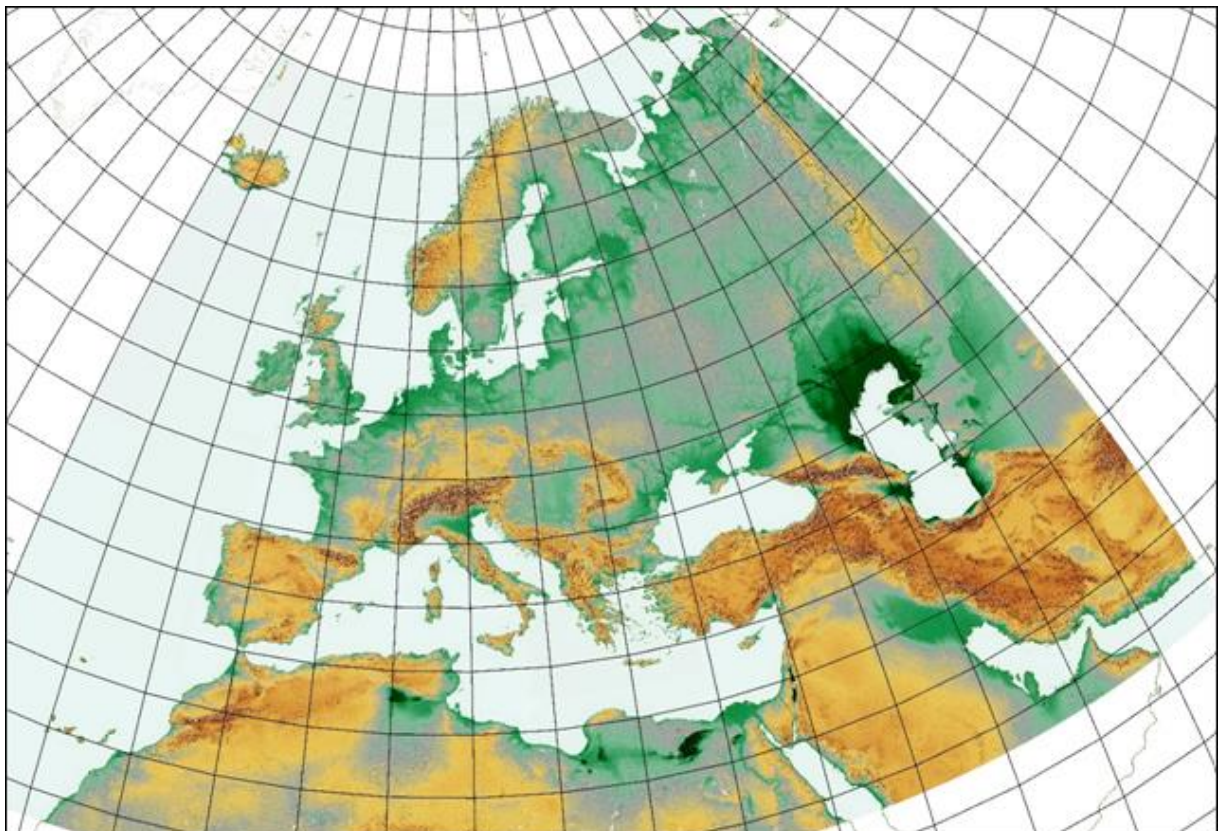
Los meridianos, espaciados regularmente, forman ángulos verdaderos y convergen en el polo. Los paralelos son círculos concéntricos, irregularmente espaciados. Su distancia decrece desde el polo. En todos los paralelos la distorsión es constante. La escala nominal puede elegirse en cualquiera de ellos. El polo, que es el centro de la proyección, es un punto. El otro polo no puede dibujarse.

Conserva las áreas, no es conforme. Se utiliza en los análisis e informes con extensión pan-europea “where true area representation is required”³³

Relieve de Europa (ASTER-SCUAM)

Acimutal Equivalente de Lambert, ETRS_89_LAEA.

3035 EPSG, meridiano central: 10°.



CC Javier Espiago - SCUAM

Con la referencia 3035 EPSG el meridiano central es 10° (para las mediciones es 0°) y el paralelo origen de latitudes, 52° N. Las coordenadas proyectadas se llaman X, Y (N y S en UTM). Tienen un falso norte: 3.210.000,0 m y un falso este: 4.321.000,0 m para la obtención de valores positivos desde el paralelo 25° Norte y desde el meridiano 30° Oeste. La extensión recomendada:

Latitud menor	Latitud mayor	Longitud menor	Longitud mayor
32,880	84,160	-16,100	39,640
32° 58' 48" N	84° 9' 36" N	16° 6' 5,12" O	39° 38' 24" E

³³ INSPIRE, D2.8. I.1_v 3.2, página VII.

Existen otras extensiones administrativas³⁴:

- 1 EU + EFTA
- 2 EU + EFTA + países candidatos (cobertura EEA)
- 3 Europa + mares Caspio y Aral (Este ENP)
- 4 Europa + mares Caspio y Aral + Islas Canarias
- 5 Europa + mares Caspio y Aral + Atlántico Norte + Polo Norte
- 6 Europa + Rusia + Asia Central, reducido
- 7 Europa + Rusia + Asia Central Asia, amplio
- 8 Mundo
- 9a Países de la región del Mar Mediterráneo (Sur ENP)
- 9b Mediterráneo y Mar Negro
- 10 Europa + Asia Central + Rusia (parcialmente)

También se recomiendan por la EEA resoluciones ligadas a las escalas de uso prioritario. La agencia proporciona un cuadro que traducimos:

1:10 000 ca.	3 metros
1:50 000 ca.	15 metros
1:100 000	30–50 metros
1:1 millón	300–500 metros
1:10 millones	3 000–5 000 metros

Las referencias de GISCO (Geographic Information System of the Commission) son:

1 millón:	500 m
3 millones:	1 500 m
10 millones:	5 000 m
20 millones:	8 000 m

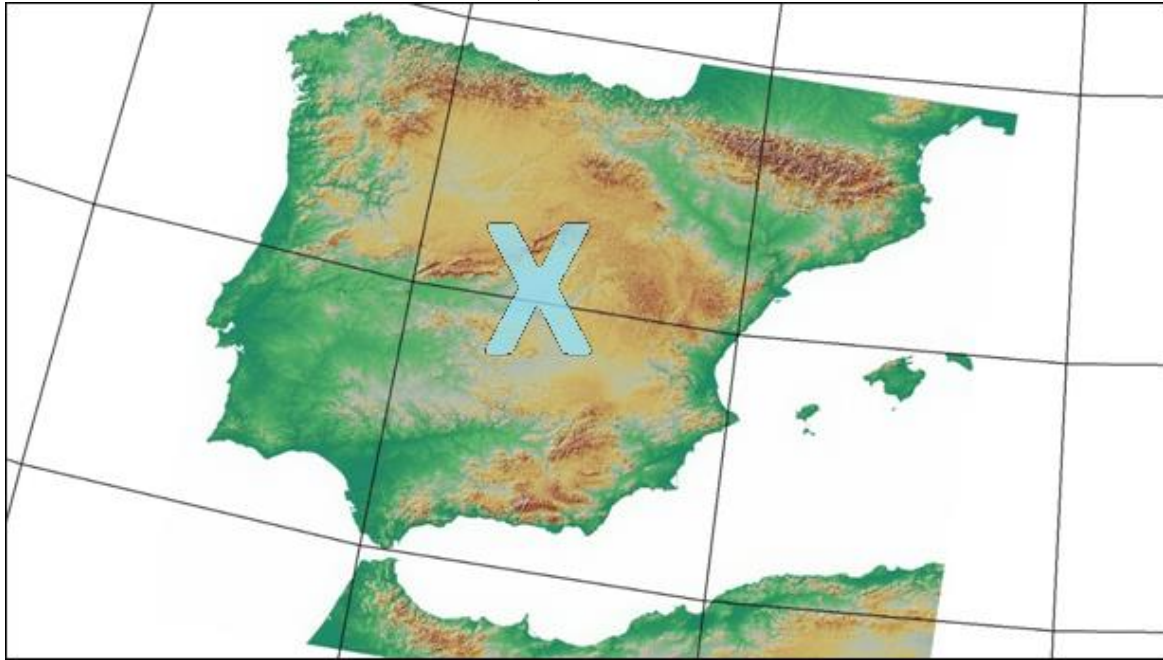
Como ocurría anteriormente, no es ETRS_89_LAEA un sistema europeo aplicable a la Península o a ámbitos menores que los del Continente para los que se prefiere el sistema UTM. La EEA tiene, de todas formas, algunos mapas de este tipo con rotación según el meridiano central que no se corresponde con nuestro ámbito.

³⁴ En https://www.eionet.europa.eu/gis/docs/GISguide_v4_EEA_Layout_for_map_production.pdf, pág. 6. Las siglas ENP (en inglés, European Neighbourhood Policy) pudieran traducirse por Política de Vecindad de la Unión Europea (PEV) que, actualmente afecta a dieciséis países.

Relieve de la Península Ibérica

Acimutal Equivalente de Lambert, ETRS_89_LAEA.

3035 EPSG, meridiano central: 10°.



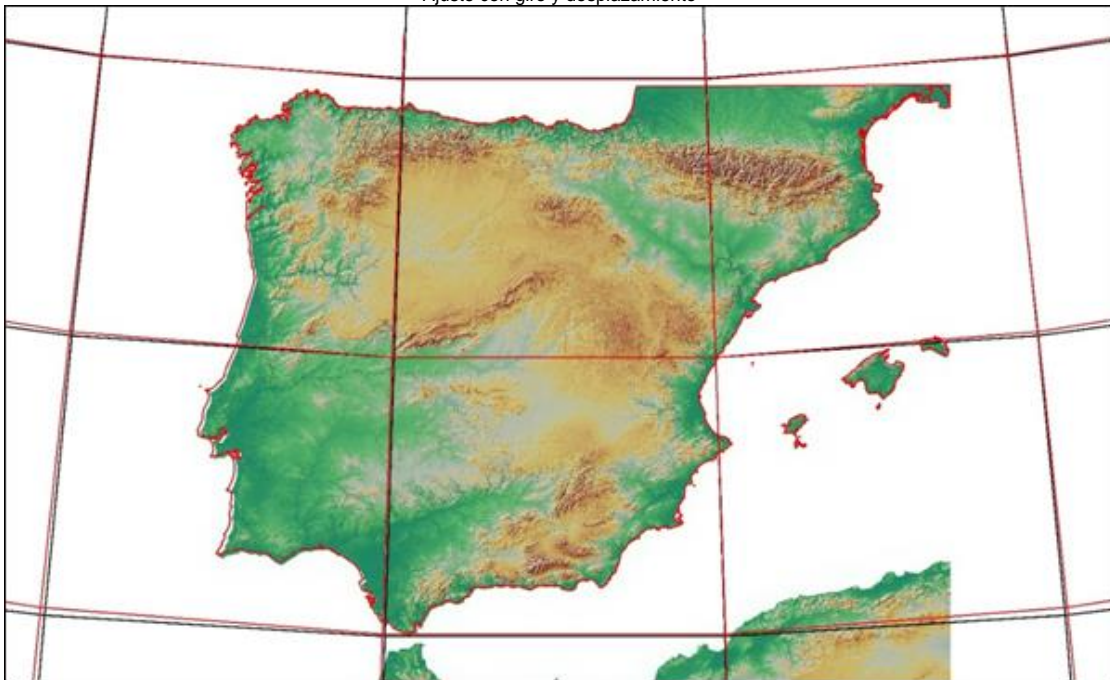
CC Javier Espiago - SCUAM

Si elegimos -3° como meridiano central las distorsiones no serían muy grandes que comparamos en la siguiente imagen utilizando la línea de costa y la red geográfica.

Relieve de la Península Ibérica

UTM huso 30 y superposición de la línea de costa (rojo) en ETRS_89_LAEA.

Ajuste con giro y desplazamiento



Línea de costa: 3035 EPSG, meridiano central: -3°. Relieve: 3042 EPSG, meridiano central: -3°

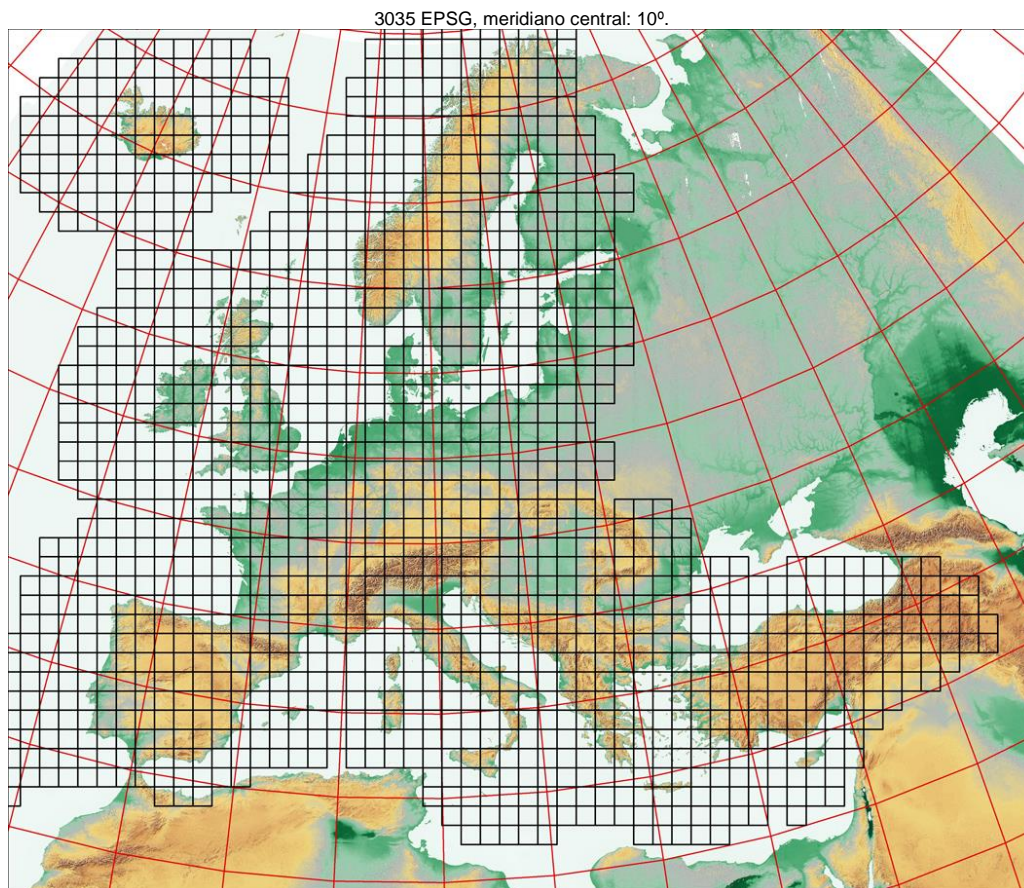
CC Javier Espiago - SCUAM

4.1 Cuadrícula europea basada en el Sistema ETRS89_LAEA.

Actualmente, el sistema ETRS_89_LAEA sirve para mapas temáticos con una cuadrícula que es equivalente. Es la llamada **CUADRÍCULA ETRS_89_LAEA** (En ocasiones, se indica como EEA reference grid ETRS-LAEA 52N 10E). Se ha normalizado a 100 km, 10 km, 1 km y 100 m. Si fuere necesario, también a 250 m y 25 m. Su codificación alfanumérica individualiza cada celda en un formato que indica su tamaño y las coordenadas (que en esta proyección se llaman E y N, en este orden) medidas desde un falso origen en la esquina inferior izquierda de la celda. Buscando la simplificación, estas coordenadas se dividen por 1.000 o por 10.

Relieve de Europa (ASTER-SCUAM).

Cuadrícula 100 km ETRS_89_LAEA y malla geográfica.



CC Javier Espiago - SCUAM

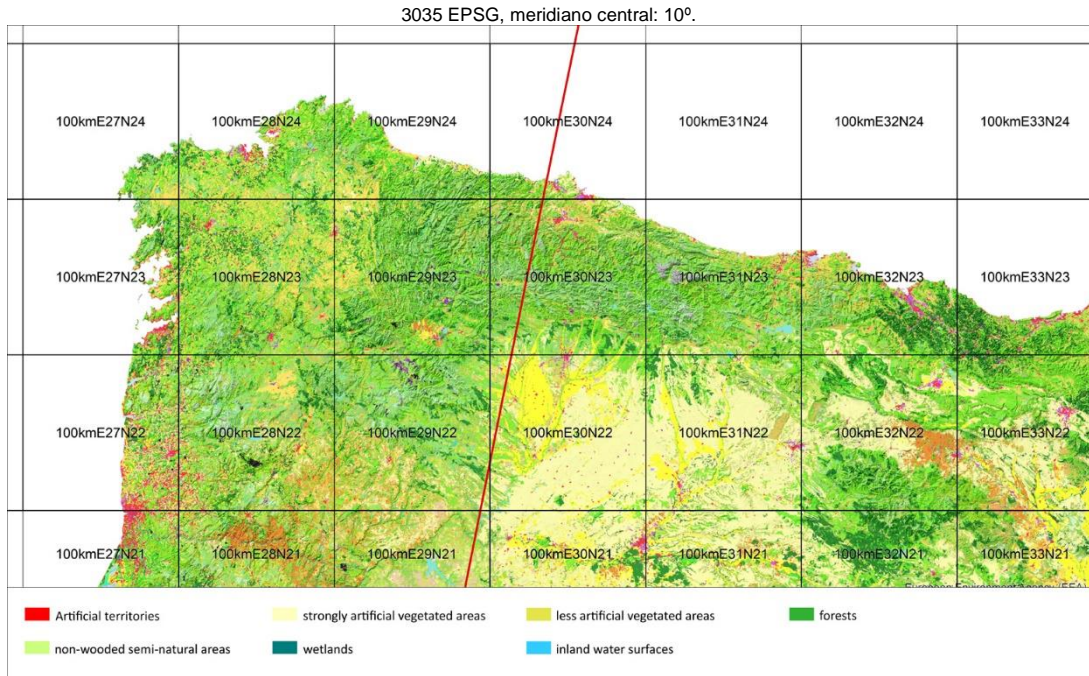
En la página de la EEA se descarga una malla general a 100 km y otras mallas por países a 100 km, 10 km y 1 km. También una herramienta para elaboración de rejillas con mayor detalle³⁵. Las diferencias con la malla geográfica de meridianos y paralelos son muy claras pues las rejillas LAEA no se adaptan a la forma de la tierra. Están compuestas por celdas que son cuadrados iguales en cada resolución. En negro, la cuadrícula 100 km por países calculada por la EAA. La malla geográfica son meridianos convergentes de 6° y paralelos de 4°. Lógicamente, la malla geográfica no puede mantener su tamaño. Sí lo mantienen las celdas de la cuadrícula ETRS_89_LAEA que son equivalentes, pero con meridianos proyectados que no son convergentes. Los cálculos obtenidos en la proyección son comparables entre sí, aunque haciendo abstracción de su geografía verdadera.

³⁵ Se crean mallas LAEA mediante una extensión ESRI ArcGIS Spatial Analyst que se descarga en <https://www.eionet.europa.eu/gis/> que describe: This grid is described in detail in the 'EEA Data requirement for map production à EEA GIS guide'-FAQ chapter. Grid in shape file-format is available here: [EEA Reference Grid](#) (1 km, 10 km and 100 km grid cells). Read more here: [About the EEA reference grid](#).

El conocido proyecto CORINE LAND COVER y otros proyectos de cartografía temática utilizan las rejillas en esta proyección. Para las cuadrículas de 100 km y de 1 km mostramos las codificaciones en los ejemplos siguientes:

CORINE LAND COVER 2016. Península Ibérica, NO.

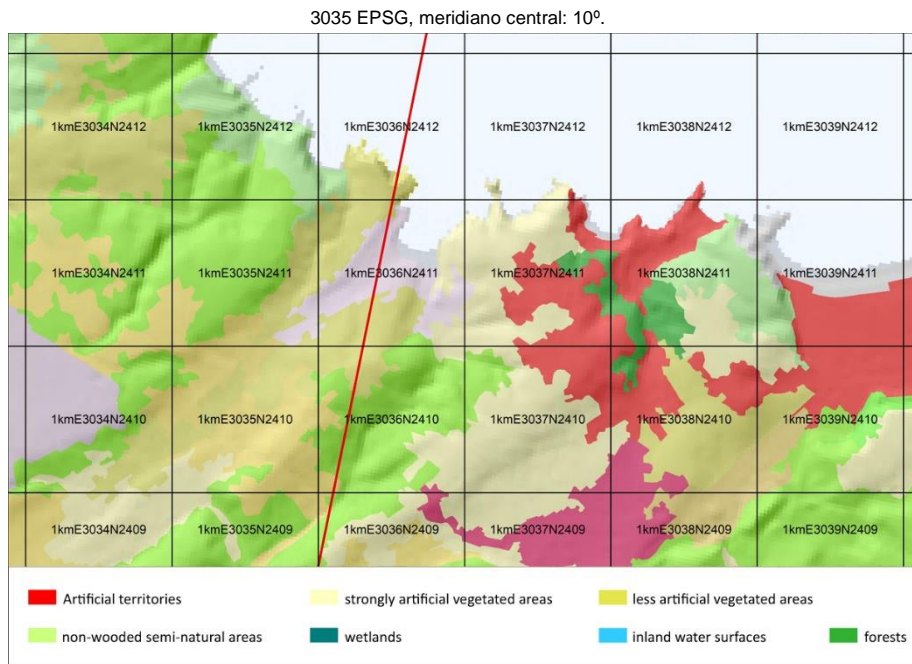
Cuadrícula 100 km ETRS_89_LAEA.



CC Javier Espiago - SCUAM

CORINE LAND COVER 2016. Asturias (detalle).

Cuadrícula 1 km ETRS_89_LAEA.



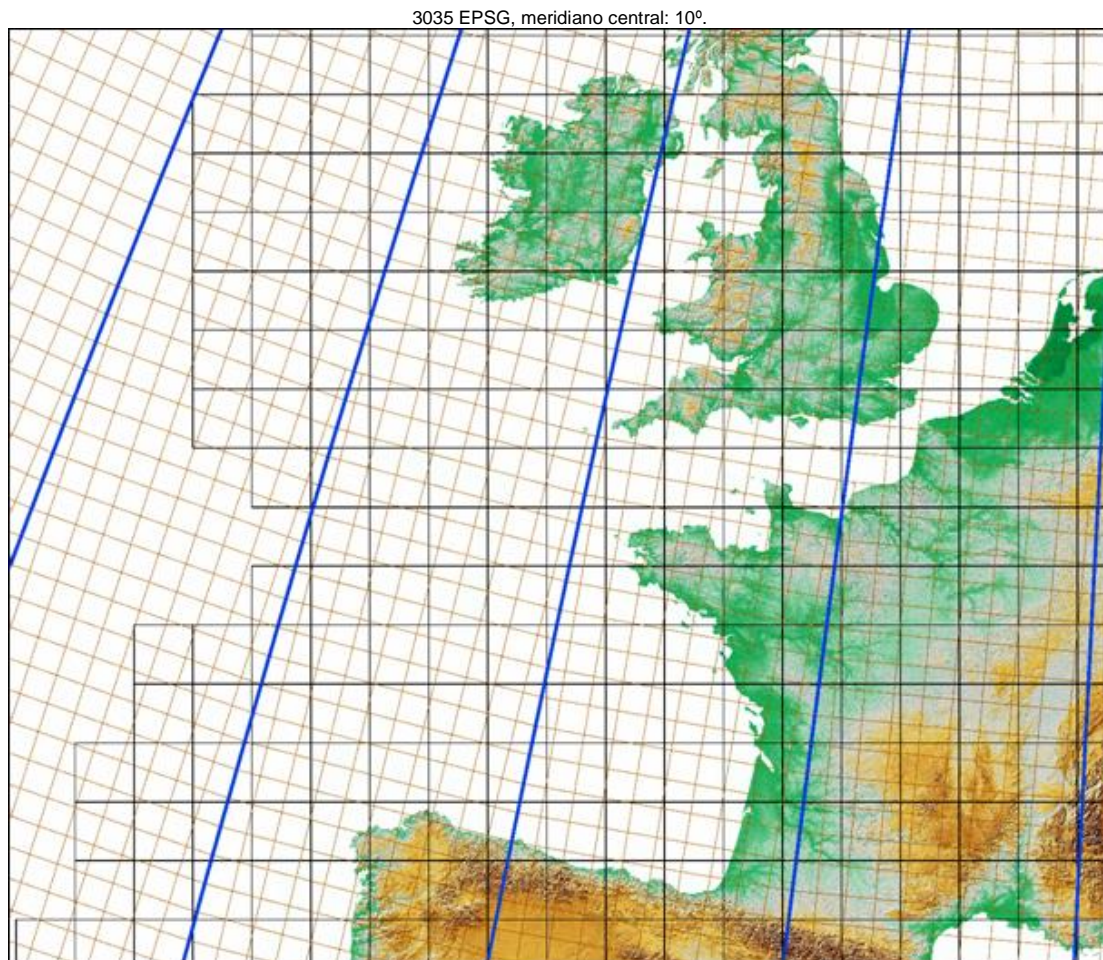
CC Javier Espiago – SCUAM

Estas rejillas se siguen subdividiendo lo que se aprecia en el pixelado de la línea litoral y en algunos polígonos temáticos.

Se autotitula como una *multipurpose grid* que es útil en las mediciones estadísticas y en el análisis espacial³⁶. Creemos que no invalida a otras mallas geográficas y retículas como MGRS o CGRS en una diversidad sin exclusiones que ha de atender a las distintas finalidades³⁷. Las diferencias con CGRS (lógicamente también con MGRS) se aprecian en la siguiente figura:

Relieve de Europa (detalle). (ASTER-SCUAM)

Cuadrícula ETRS_89_LAEA, CGRS y meridianos UTM.



CC Javier Espiago - SCUAM

En azul dibujamos los meridianos límite de UTM, en ocre la cuadrícula CGRS adaptada a ellos que en los bordes del huso reduce el tamaño de las teselas. En negro, la cuadrícula 100 km ETRS_89_LAEA que no sigue la dirección de los polos.

Javier Espiago
Servicio de Cartografía de la Universidad Autónoma de Madrid- SCUAM
Diciembre - 2017

³⁶ "For generalising data, statistical mapping and analytical work where an equal area of cells is important". También en la combinación de capas cartográficas, EEA operational guidelines (2006): Guide to geographical data and maps https://www.pik-potsdam.de/glowa/pdf/eea_gisguide_v2.pdf, pág 22.

³⁷ El estudio de las mallas y rejillas merece un apartado propio. En estos textos no las comparamos ni describimos sus posibles utilidades.