

**Canvi ED50 a
ETRS89**

versió 3.1
16/09/2009

Fe d'errates del document 'Canvi ED50 a ETRS89' versió 3.1

A continuació es detalla l'errata detectada en el document 'Canvi ED50 a ETRS89' versió 3.1 (que duu data del 16/09/2009).

Errata 1:

Ubicació:

L'errata es troba en l'apartat '*Exemple de coordenades transformades*' de l' '*Annex*' del document (a la pàgina 13), on s'inclou una taula que mostra dos conjunts de coordenades amb l'objectiu que es puguin emprar a mode de comprovació.

Descripció:

En aquesta taula hi ha tres valors de coordenades transformades que difereixen 1 mm del seu valor correcte, com a conseqüència d'un error d'arrodoniment en el moment del càlcul.

Correcció:

La taula correcta és la que es mostra a continuació, on es marquen en **vermell** els valors corregits respecte el document amb les errates:

Transformació "De ED50 a ETRS89"				Transformació "De ETRS89 a ED50"			
ED50		ETRS89		ETRS89		ED50	
X(m)	Y(m)	X(m)	Y(m)	X(m)	Y(m)	X(m)	Y(m)
300000,000	4500000,000	299905,060	4499796,515	300000,000	4500000,000	300094,938	4500203,485
315000,000	4740000,000	314906,904	4739796,774	315000,000	4740000,000	315093,094	4740203,227
520000,000	4680000,000	519906,767	4679795,125	520000,000	4680000,000	520093,231	4680204,876
420000,000	4600000,000	419906,005	4599795,760	420000,000	4600000,000	420093,993	4600204,241

Índex

1 Estat Actual.	5
2 Xarxa Utilitària (XU).	5
3 Cartografia (escales fins 1:1000).	6
4 Cartografia (escala 1:500).	10
5 Suport a xarxes locals.	10
Annex	12

1 Estat Actual.

Abans de començar amb el càlcul de la transformació pròpiament, s'introdueix breument el marc legal on s'empara el nou sistema de referència i la forma com es materialitza sobre el territori.

1.1. Publicació del Real Decreto 1071/2007

El BOE, amb data de 29 d'agost de 2007, publicava el Real Decreto 1071/2007 pel qual es regula el nou sistema de referència oficial a Espanya. L'articulat del Real Decreto estableix el sistema ETRS89 com el sistema geodèsic oficial a Espanya per a la referenciació geogràfica i cartogràfica oficial d'elements en l'àmbit de la Península Ibèrica i les Illes Balears, al mateix temps que explicita les projeccions a emprar per a la representació planimètrica oficial i la distribució dels fulls del Mapa Topogràfic Nacional en base al nou tall geodèsic.

Segons el Real Decreto, tota la cartografia i bases de dades d'informació geogràfica i cartogràfica produïda o actualitzada per les Administracions Públiques, s'haurà de compilar i publicar d'acord al que descriu aquest Real Decreto a partir de l'1 de gener de 2015. Fins aleshores, la informació geogràfica i cartogràfica oficial es podrà compilar i publicar en qualsevol dels dos sistemes, ED50 o ETRS89, sempre que les produccions en ED50 continguin la referència a ETRS89. Per altra banda, a partir de l'1 de gener de 2012 no es podrà inscriure en el Registre Central de Cartografia ni incloure en el Pla Cartogràfic Nacional, cap projecte nou que no s'atingui a les especificacions del Real Decreto 1071/2007.

5

1.2. Establiment del marc de referència oficial en ETRS89

El conveni establert entre l'Institut Cartogràfic de Catalunya i l'Instituto Geográfico Nacional amb l'objectiu d'homogeneïtzar les coordenades ETRS89 de la xarxa ROI (que ambdues entitats publiquen per al territori de Catalunya) va finalitzar amb l'acceptació d'un únic conjunt de coordenades en ETRS89 i de dotar a la ROI d'una coherència concordant amb les precisions dels mètodes d'observació actuals (GPS). Aquesta homogeneïtzació era necessària, no tant sols per a les institucions que hi col·laboraven, sinó també per als usuaris que utilitzen la infraestructura geodèsica per recolzar els seus treballs; i és aquest conjunt de coordenades el que, actualment, es considera el marc de referència oficial del sistema ETRS89.

2 Xarxa Utilitària (XU).

Per a determinar les coordenades de la XU en el nou sistema de referència ETR89 s'ha descartat realitzar una transformació de les coordenades en el sistema vell i s'ha optat per a tornar a ajustar les prop de 13000 bases que es van mesurar en el desplegament de la XU. Aquesta decisió s'ha pres per garantir la màxima precisió en la determinació de les coordenades de la XU en ETRS89. El fet de prescindir de les coordenades en el sistema antic ED50 ha permès descartar que les incoherències de la ROI en ED50 es propaguin en la transformació de la xarxa a ETRS89.

3 Cartografia (escales fins 1:1000).

En relació a la cartografia s'ha procedit a definir un model matemàtic per a transformar tots els seus elements de ED50 a ETRS89. El model proposat es tracta d'una solució global apte per a transformar la cartografia fins a escala 1:1000 que és l'escala de treball del MUC (Mapa Urbà de Catalunya). La transformació de cartografies d'escales més grans (i per tant que requereixen una precisió major) es tractarà en el proper capítol.

La cartografia existent es pot transformar a ETRS89 o bé aprofitar el moment d'actualització de la mateixa per a realitzar el canvi. Per a actualitzar en ETRS89 una cartografia generada en ED50 es procedirà a la realització d'un nou vol, s'aerotriangularà en ETRS89 (a partir de punts de camp en aquest sistema) i juntament amb la transformació de la cartografia antiga es procedirà a actualitzar en ETRS89 la cartografia 1:1000.

Hem de definir doncs un procediment (el més senzill possible) per a transformar la cartografia disponible en el sistema ED50 al nou sistema ETRS89.

Elecció del model matemàtic

Abans d'entrar en l'estudi del model matemàtic pròpiament, és important fer dos aclariments. En primer lloc, les transformacions de semblança (tridimensional o bidimensional de les que es parlarà a continuació) són conformes per definició i, per tant, poden canviar la mida dels objectes però sempre en mantenen la forma. En segon lloc, des del punt de vista oficial (RD 1071/2007), el sistema de referència altimètric continua essent el nivell mig del mar a Alacant i, per tant, el canvi de sistema de referència de ED50 a ETRS89 es pot abordar amb un model bidimensional per a les coordenades UTM i conservant la cota ortomètrica original. Cal dir, que el canvi de l'el·lipsoide de referència sí que motiva un canvi en la cota el·lipsoïdal, però en ser la cota ortomètrica la que apareix a la cartografia aquest fet no té massa importància i només comporta una adaptació del model de geoide a aplicar.

Pel que fa a l'elecció del model matemàtic, *a priori*, es podria plantejar l'adopció d'una transformació de semblança tridimensional (transformació de 7 paràmetres), ja que aquesta és la transformació teòrica que relaciona dos sistemes de referència tridimensionals, sempre que els dos sistemes de referència siguin perfectament coherents. Si existeix una certa incoherència entre els dos marcs de referència hi haurà una part de la transformació que no serà assumible pel model de 7 paràmetres i per tant que hi haurà un cert error residual. La forma de contemplar aquesta deformació passaria per adoptar, per exemple, models matemàtics amb més paràmetres (i.e. transformació afí) o una malla de transformació (i.e. NTV2).

La coherència entre els dos marcs de referència, així com el model matemàtic que s'esculli, determinen directament la precisió que es pot assolir en la transformació d'elements. En el cas teòric de dues xarxes amb una precisió i coherència molt altes no hi hauria cap problema, però si això no és així, a mesura que augmenten les incoherències entre els marcs de referència cal emprar models matemàtics més complexes o malles de transformació. Aquests models matemàtics poden modelar les incoherències, però obliguen a renunciar al manteniment de la topologia dels elements de la cartografia transformats (com és el cas de les transformacions per mínima curvatura).

Conseqüentment, i considerant els elements de la cartografia que es transformaran, cal avaluar quin factor és més important: la possible pèrdua de precisió motivada per l'ús d'una transformació conforme, o la deformació que sofreixen els objectes per l'ús de, per exemple, una malla de transformació. En el cas de Catalunya, en que partim d'una xarxa reobservada amb un nivell de coherència molt alt, l'ús d'una transformació conforme comporta una pèrdua molt petita de precisió i els beneficis derivats de realitzar una transformació conforme.

En conclusió, el model matemàtic escollit és basa en una transformació de semblança bidimensional aplicada directament a les coordenades UTM dels elements. Tal i com es veurà en els estadístics i gràfics posteriors, el greuge que pugui suposar la pèrdua de precisió és considera menor que el benefici de mantenir la conformitat dels elements juntament amb la simplicitat de la transformació. A més, el fet que sigui bidimensional assegura que es conservarà intacte el sistema de referència altimètric.

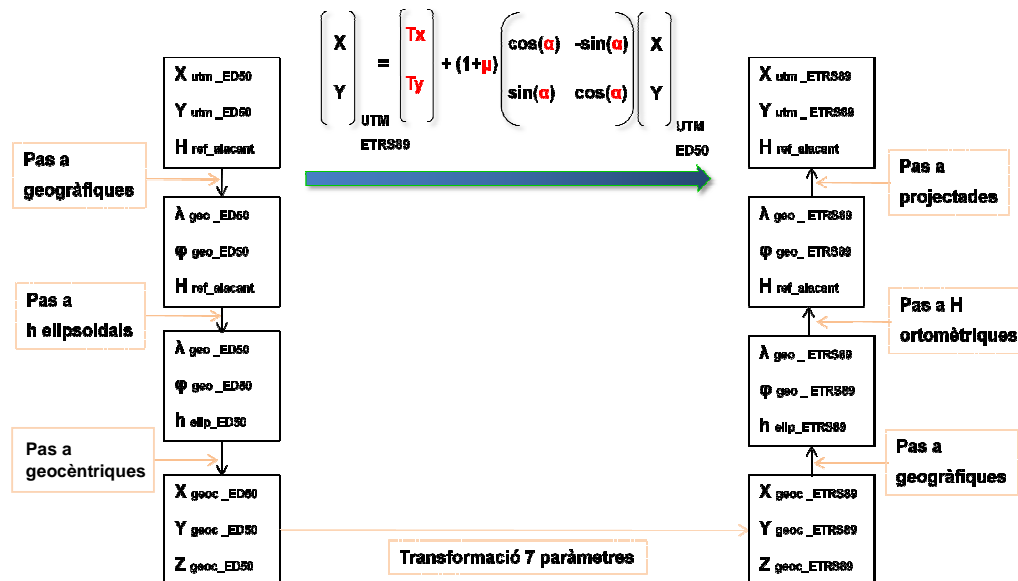
L'expressió matemàtica de la transformació de semblança bidimensional (també coneguda com transformació de Helmert bidimensional) és:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \end{pmatrix}_{UTM_ETRS89} = \begin{pmatrix} T_x \\ T_y \end{pmatrix} + (1 + \mu) \begin{pmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}_{UTM_ED50} \quad (1)$$

on:

- T_x : Translació en l'eix X
- T_y : Translació en l'eix Y
- μ : Variació de l'escala
- α : Rotació

En el moment d'aplicar aquesta transformació a unes dades en concret, es podria fer en base al model matemàtic expressat a (1); o podria aplicar-se en base a la parametrització d'un gir, un factor d'escala i una translació. Aquesta última opció seria vàlida, per exemple, per aquells programaris que no implementin el model matemàtic (1) però disposin d'eines de disseny assistit per computador (CAD).



Per al càlcul de la transformació és necessari disposar d'un conjunt de punts que tinguin coordenades en ambdós sistemes de referència, en aquest cas ED50 i ETRS89. A més, és necessari que el conjunt de punts a emprar tingui una distribució geogràfica homogènia, per tal que tot el territori de Catalunya tingui el mateix pes en el moment de calcular la transformació. És per aquest motiu que el càlcul de la transformació és basa, només, en els punts de la xarxa ROI (Red de Orden Inferior).

La xarxa ROI disposa de coordenades en els dos sistemes de referència, i els punts que la formen estan homogèniament distribuïts per tota Catalunya. Per una banda, les coordenades que materialitzen el sistema de referència ED50 provenen dels ajusts realitzats per l'Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC). Per l'altra, les coordenades que materialitzen el sistema de referència en ETRS89 són les obtingudes com a resultat del conveni entre l'Instituto Geográfico Nacional (IGN) i l'Institut Cartogràfic de Catalunya per ajustar la xarxa ROI a Catalunya, finalitzat el febrer de 2008 (veure apartat 1.2).

A continuació es mostren els resultats del càlcul d'una transformació global per tota Catalunya.

1.3. Transformació de semblança bidimensional global

La densificació progressiva de la Xarxa Utilitària ha fet necessari que al llarg dels anys s'hagin calculat successius ajusts de tota la xarxa en ED50. Això ha motivat que, des del primer ajust publicat, icc19982, i fins a l'icc20060, les coordenades dels vèrtexs hagin sofert algun canvi. No obstant això, i per facilitar el canvi de sistema de referència, és necessari calcular una única transformació que permeti passar coordenades ED50 a coordenades ETRS89. En un pas previ a la transformació, s'ha estudiat la variació de les coordenades al llarg dels ajustos, conclouent quins són els grups més significatius: icc19982, icc20044, icc20050 i icc20060. Les coordenades ED50 que entren en el càlcul de la transformació de semblança bidimensional són les de tots els punts ROI que apareixen en aquests ajusts i, si apareixen en més d'un, són la mitjana aritmètica de les mateixes. D'aquesta forma es garanteix que una única transformació s'ajusta el màxim als valors més significatius de les coordenades ED50 de què es disposa.

En base a les consideracions efectuades en els paràgrafs anteriors, i un cop eliminats els errors grollers (bàsicament errors de numeració) que poguessin haver-hi en algun dels conjunts de coordenades, es disposa d'un núvol de 683 punts distribuïts per tota Catalunya amb coordenades en els dos sistemes de referència.

Un ajust per mínims quadrats en base al model matemàtic (1), permet obtenir una transformació de semblança global per a tota Catalunya, amb els següents resultats (en l'annex es descriu amb més claredat com aplicar aquests paràmetres):

$$\begin{aligned} T_x &: & - 129,549 \text{ m} \\ T_y &: & - 208,185 \text{ m} \\ \mu &: & 1,5504 \cdot 10^{-6} \\ \alpha &: & - 1,56504 \text{ ''} \end{aligned}$$

Els resultats de l'ajust per mínims quadrats mostren els següents residus per als 683 punts que han intervingut en el càlcul:

	X (m)	Y (m)	Mòdul (m)
Min:	-0,050	-0,042	-
Max:	0,038	0,047	0,065
Mitjana:	0,000	0,000	0,021
Desv. est.:	0,016	0,017	0,010
RMS:	0,016	0,017	0,024

Taula 1 Residus de l'ajust per mínims quadrats del càlcul de la transformació global

Si apliquem la transformació a la base de dades de 15000 punts utilitzada per a les aerotriangulacions dels projectes d'urbana i comparem amb la seva determinació directe en ETRS89 (equivalent a avaluar la precisió de la transformació en projectes d'urbana) tenim els següents resultats:

	Component X	Component Y
Diferència Max.	0.07 m	0.06 m
Diferència Min.	-0.10 m	-0.07 m
Diferència Mitjana	-0.01 m	-0.01 m
RMS	0.04 m	0.03 m

Taula 2 Residus en aplicar la transformació als punts de camp en comparació amb la seva determinació directe en ETRS89

Els resultats empírics de la precisió de la cartografia urbana de l'ICC, a partir de mesures realitzades al camp, donen una precisió de la cartografia d'uns 9 cm (σ_{MUC_ED50}) per component. Per altra banda hem constatat, en la taula 2, que la transformació a ETRS89 comporta un error d'uns 4 cm (σ_{trafo}), per tant si transformem una cartografia compilada en ED50 a ETRS89 tindrà un error final de:

$$\sigma_{MUC_ETRS89} = \sqrt{\sigma_{MUC_ED50}^2 + \sigma_{trafo}^2}$$

Que aplicat al cas del MUC (Mapa Urbà de Catalunya) en aplicar l'equació resulta:

$$\sigma_{MUC_ETRS89} = \sqrt{8.7^2 + 4^2} \approx 9.6 \text{ cm} \quad \text{Per la component X}$$

$$\sigma_{MUC_ETRS89} = \sqrt{9.1^2 + 3^2} \approx 9.6 \text{ cm} \quad \text{Per la component Y}$$

Si tenim que l'error per component de la cartografia en ED50 és de l'ordre dels 9cm RMS i que l'error final després de la transformació d'uns 9.6cm tenim per una banda que la cartografia transformada segueix complint les especificacions (20cm el 90% dels casos $\Rightarrow 12.2\text{cm } 67\% \approx 1\sigma$) i que la contribució de la transformació en l'error final està per sota del cm.

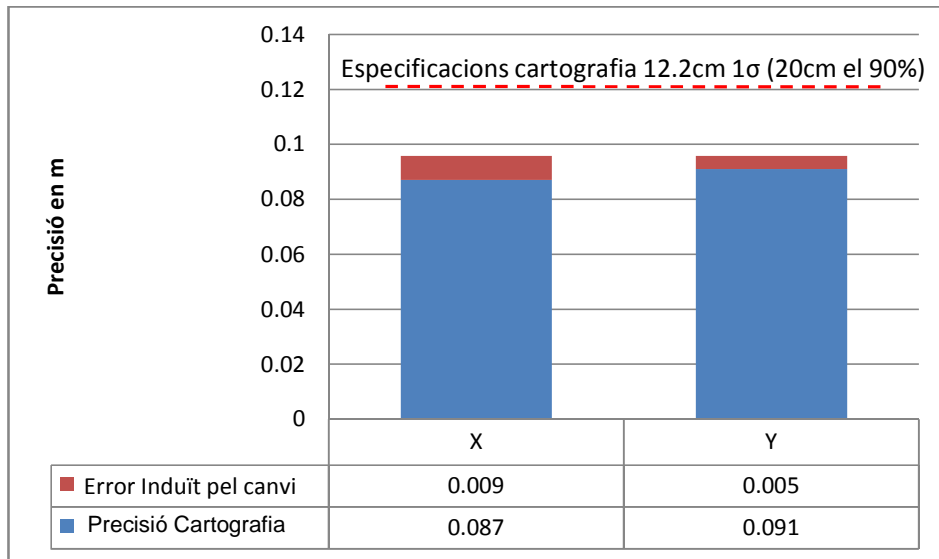


Figura 1 Errors de la cartografia abans i després de la transformació juntament amb la precisió de les especificacions (cartografia 1:1000)

4 Cartografia (escala 1:500).

Les cartografies a escala 1:500 impliquen treballar amb una precisió més alta que el cas de la cartografia a escala 1:1000. Aquest augment de precisió pot invalidar la solució global presentada en el capítol anterior. Així doncs, les precisions necessàries per a la cartografia 1:500 (10cm 90% → 6.1cm 1σ) requereixen d'un estudi previ per determinar si l'error introduït per la transformació global en la zona d'actuació de la cartografia és suficientment baix de manera que es segueixin mantenint les precisions requerides per la cartografia un cop transformada a ETRS89.

L'estudi de la precisió de la transformació es pot realitzar a partir de la transformació dels punts de la XU existents en la zona d'actuació de la cartografia i la comparació de les coordenades transformades amb el resultat del seu ajust en ETRS89. Si es determina que la precisió de la transformació global és suficient en relació a la precisió requerida es procedirà a la transformació de la cartografia utilitzant la transformació global, en cas contrari es procedirà a calcular una transformació específica per a transformar la cartografia 1:500.

Pel càlcul de la transformació específica l'ICC donarà suport als municipis que ho sol·licitin per a determinar una transformació local a ETRS89 prou precisa.

5 Suport a xarxes locals.

Un cop establertes les directius per a calcular les noves coordenades de la Xarxa Utilitària en ETRS89 (a partir d'un nou ajust) i de la transformació de la cartografia (a partir d'una transformació Helmert 2D aplicada directament a les coordenades UTM) l'ICC ha definit unes recomanacions per a la transformació de les xarxes locals establertes en diferents municipis de Catalunya i recolzades en la Xarxa Utilitària de Catalunya.

Donada la xarxa local d'un municipi les recomanacions per a transformar les coordenades d'aquesta xarxa venen donades per el següent punts:

- 1) **Reajust de la xarxa local a partir de les noves coordenades de la XU en ETRS89:** Aquesta seria la opció que donaria més precisió i coherència a la xarxa local. Es tractaria de tornar a ajustar les observacions de la xarxa local fixant com a punt de partida les noves coordenades en ETRS89 de la Xarxa Utilitària. Tot i ser la opció aconsellada s'ha de reconèixer que per a molts municipis aquesta opció no és viable ja que no disposen de les observacions originals utilitzades per a determinar la xarxa local.
- 2) **Utilització del canvi de datum del marc en el que està recolzada la xarxa local:** Tota xarxa local recolzada en la XU té definides les seves coordenades en un marc determinat (ICC1999, ICC2004, ...), el marc de la xarxa local és el mateix que el de les coordenades de la XU en el moment de fer l'ajust de la xarxa local. Una segona opció per transformar les coordenades de la xarxa local fóra utilitzar la transformació específica definida pel marc utilitzat en l'ajust de la xarxa. Aquesta transformació del marc de la XU l'ha calculat l'ICC per a la totalitat dels punts de Catalunya definits en aquest marc. Per transformar la xarxa local a ETRS89 caldria aplicar la transformació del marc a tota la xarxa juntament amb els punts de la XU en que es va recolzar. Tenint en compte que es disposen de les coordenades en ETRS89 els punts de la XU en que es va recolzar la xarxa local, analitzant les diferències entre els punts de la XU transformats amb la xarxa local comparats amb les seves coordenades en ETRS89 es pot determinar la bondat de la transformació i determinar si la precisió és suficient o no.
- 3) **Determinació d'un canvi de datum específic per a la xarxa local:** En cas que les opcions anteriors no fossin possibles o suficientment precises llavors es procediria a calcular un canvi de datum específic per a la xarxa local. Per a calcular aquest canvi de datum específic es partiria dels punts de la Xarxa Utilitària utilitzats per ajustar la xarxa local. Considerant que es disposen de coordenades precises d'aquests punts en els dos sistemes (xarxa local—ETRS89), es calcularia un canvi de datum a partir de les coordenades d'aquests punts de la XU en el marc d'ajust de la xarxa local i les noves coordenades de la XU en ETRS89. En cas de que no existís la XU es podria procedir a remesurar en ETRS89 un conjunt de punts de la xarxa local per a calcular seguidament el canvi de datum específic per aquesta xarxa. En la realització d'aquesta opció l'ICC donarà suport tècnic al municipis que ho sol·licitin.
- 4) **Anàlisis individualitzat de la xarxa local:** Si les opcions anteriors no fossin satisfactòries estaríem davant d'un problema de coherència de la xarxa local que caldria corregir per a disposar d'una xarxa precisa i coherent en ETRS89. Per a corregir aquest problema caldria realitzar un anàlisis individualitzat i detallat de la xarxa local en qüestió per valorar la problemàtica de la transformació i decidir la viabilitat del pas a ETRS89.

Annex:

El present annex és una guia tècnica que descriu dos processos de transformació entre ED50 i ETRS89, aplicables a elements cartogràfics amb coordenades en la projecció UTM i dins el territori de Catalunya.

MODEL MATEMÀTIC DE LA TRANSFORMACIÓ BIDIMENSIONAL DE SEMBLANÇA

La transformació bidimensional de semblança (també denominada transformació de Helmert bidimensional) és la recomanada a Catalunya per transformar dades cartogràfiques entre ED50 i ETRS89, i el model matemàtic és:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \end{pmatrix}_{Sortida} = \begin{pmatrix} T_X \\ T_Y \end{pmatrix} + (1 + \mu) \cdot \begin{pmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}_{Entrada} \quad (2)$$

amb els paràmetres:

- T_X : Translació en la direcció de l'eix X
- T_Y : Translació en la direcció de l'eix Y
- μ : Variació de l'escala entre "Entrada" i "Sortida"
- α : Rotació

PARÀMETRES DE LA TRANSFORMACIÓ ENTRE ED50 I ETRS89

Els paràmetres de la transformació bidimensional de semblança són funció del sentit en què es vulgui realitzar el càlcul: conversió de dades des de ED50 a ETRS89 o conversió de dades des de ETRS89 a ED50.

	De ED50 a ETRS89	De ETRS89 a ED50
T_X (m)	-129,549	129,547
T_Y (m)	-208,185	208,186
μ	0,0000015504	-0,0000015504
α (")	-1,56504	1,56504

Taula 2 Paràmetres de la transformació entre ED50 i ETRS89

Aquests paràmetres es poden aplicar, tal i com es descriurà a continuació, en base al model matemàtic descrit a (2), o en base a determinades eines de les que puguin disposar alguns programaris de CAD, GIS...

TRANSFORMACIÓ EN BASE AL MODEL DE LA TRANSFORMACIÓ BIDIMENSIONAL DE SEMBLANÇA

Un cop escollits els paràmetres de la Taula 2 segons el sentit de la transformació a realitzar, poden aplicar-se emprant el model matemàtic descrit a (2), i en base a un dels següents casos:

- Si a la Taula 2 s'han escollit els paràmetres "De ED50 a ETRS89", en el model matemàtic (2) cal entendre ED50 com a "Entrada" i ETRS89 com a "Sortida".

- Si a la Taula 2 s'han escollit els paràmetres “De ETRS89 a ED50”, en el model matemàtic (2) cal entendre ETRS89 com a “Entrada” i ED50 com a “Sortida”.

TRANSFORMACIÓ EN PROGRAMARIS CAD O GIS

Un cop escollits els paràmetres de la Taula 2 que correspongui, poden aplicar-se emprant les eines “Girar”, “Escalar” i “Desplaçar” de què disposi un programari de CAD o GIS, tenint en compte les següents consideracions:

- L'ordre d'aplicació dels paràmetres ha de ser un dels següents:
 - o “Girar” (α), “Escalar” ($1+\mu$) i “Desplaçar” (T_X i T_Y).
 - o “Escalar” ($1+\mu$), “Girar” (α) i “Desplaçar” (T_X i T_Y).
- El factor d'escala ($1+\mu$) ha de prendre les coordenades (0,0) com a origen de la homotècia (o escalat).
- El gir (α) ha de prendre les coordenades (0,0) com a centre de rotació.
- L'angle (α) s'ha de considerar levogir (en el sentit contrari a les agulles del rellotge).

EXEMPLE DE COORDENADES TRANSFORMADES

A continuació es mostren dos conjunts de coordenades, transformades emprant la transformació “De ED50 a ETRS89” i la transformació “De ETRS89 a ED50”, amb l'objectiu que es puguin emprar a mode de comprovació.

Transformació “De ED50 a ETRS89”				Transformació “De ETRS89 a ED50”			
ED50		ETRS89		ETRS89		ED50	
X(m)	Y(m)	X(m)	Y(m)	X(m)	Y(m)	X(m)	Y(m)
300000,000	4500000,000	299905,061	4499796,515	300000,000	4500000,000	300094,938	4500203,485
315000,000	4740000,000	314906,905	4739796,773	315000,000	4740000,000	315093,094	4740203,227
520000,000	4680000,000	519906,767	4679795,125	520000,000	4680000,000	520093,231	4680204,876
420000,000	4600000,000	419906,005	4599795,760	420000,000	4600000,000	420093,993	4600204,241