Col·lecció:
Què és núm. 03

Localització i posicionament

I

ICGC
Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya

Generalitat de Catalunya
Departament de Territori i Sostenibilitat

Localització i posicionament

ICGC
Institut
Cartogràfic i Geològic
de Catalunya

Sumari

Pròleg

Part I: Introducció

Part II: La forma de la Terra

Part III: El posicionament dels elements

Part IV: L'interès de disposar d'una bona xarxa geodèsica

Part V: Serveis geodèsics que ofereix l'ICGC

Part VI: Cloenda

Pròleg

Aquest volum és dedicat a difondre les tasques de localització i geoposicionament que des de l'ICGC es fa en el camp de la geodèsia. La geodèsia és la ciència que estudia la forma i la mesura de la Terra, per tant, és el primer pas de la producció cartogràfica juntament amb la captació de dades. Gestionar un territori implica conèixe'l i per això cal mesurar-ne les dimensions, recollir les seves característiques i tenir present la seva evolució.

El volum tracta l'evolució del coneixement de la forma de la Terra, la seva representació cartogràfica, els càlculs per posicionar els elements sobre la superfície, el geoide, i dóna a conèixer els usos actuals que es fan a partir de la localització i del posicionament en la vida quotidiana.

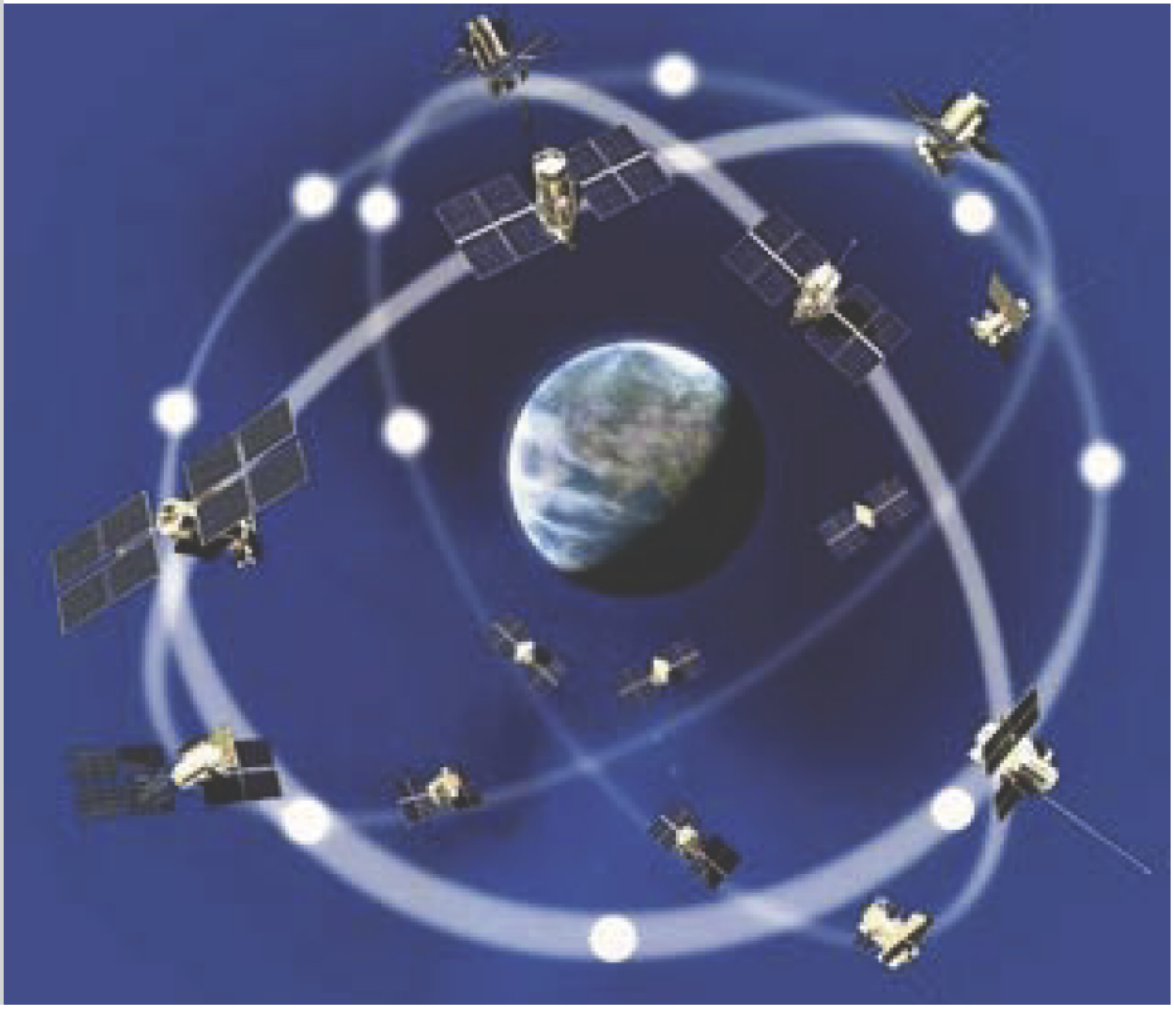
Els àmbits d'actuació de l'ICGC són productius, de recerca i de servei. Cada un d'aquests àmbits tenen una fita concreta: La de la producció és generar cartografia, geoinformació, actualitzada i adequada als dispositius digitals actuals sense oblidar la presència del mapa imprès. Entenem la recerca com la base indispensable per donar valor afegit als nostres productes, sense recerca no hi ha innovació. I, donar servei al govern i als ciutadans és la nostra obligació com a entitat governamental.

Aquesta col·lecció s'inclou dins l'àmbit "servei" i es crea amb la intenció de donar a conèixer a tots els ciutadans la informació que generem. El llibre té un component eminentment educatiu per als joves que acaben els estudis d'ensenyament mitjà o comencen estudis universitaris relacionats amb les ciències de la Terra.

Aquest número facilita informació sobre la geodèsia, la localització i el posicionament, punts de partida per disposar d'una cartografia de precisió i fiable.

Jaume Massó i Cartagena
Director General de l'Institut Cartogràfic
i Geològic de Catalunya

Part I Introducció



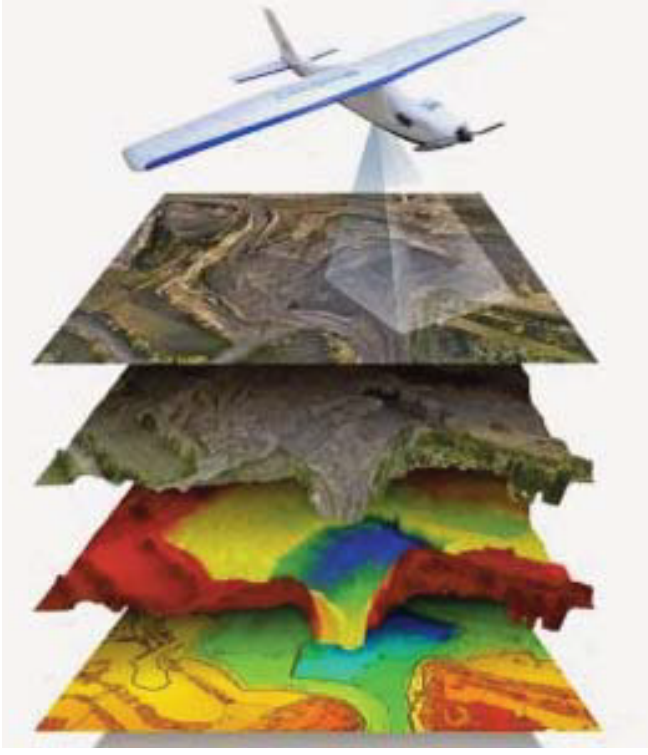
1

La geodèsia en la localització i en el geoposicionament

Les ciències de la Terra estudien el nostre planeta com un tot. N'estudien l'estructura, l'evolució, la composició de la crosta sòlida, dels mars i dels oceans, de l'atmosfera... La Terra és el nostre habitatge, per això des de sempre hi ha hagut un gran interès per conèixer-la, per representar-la i per mesurar-la.

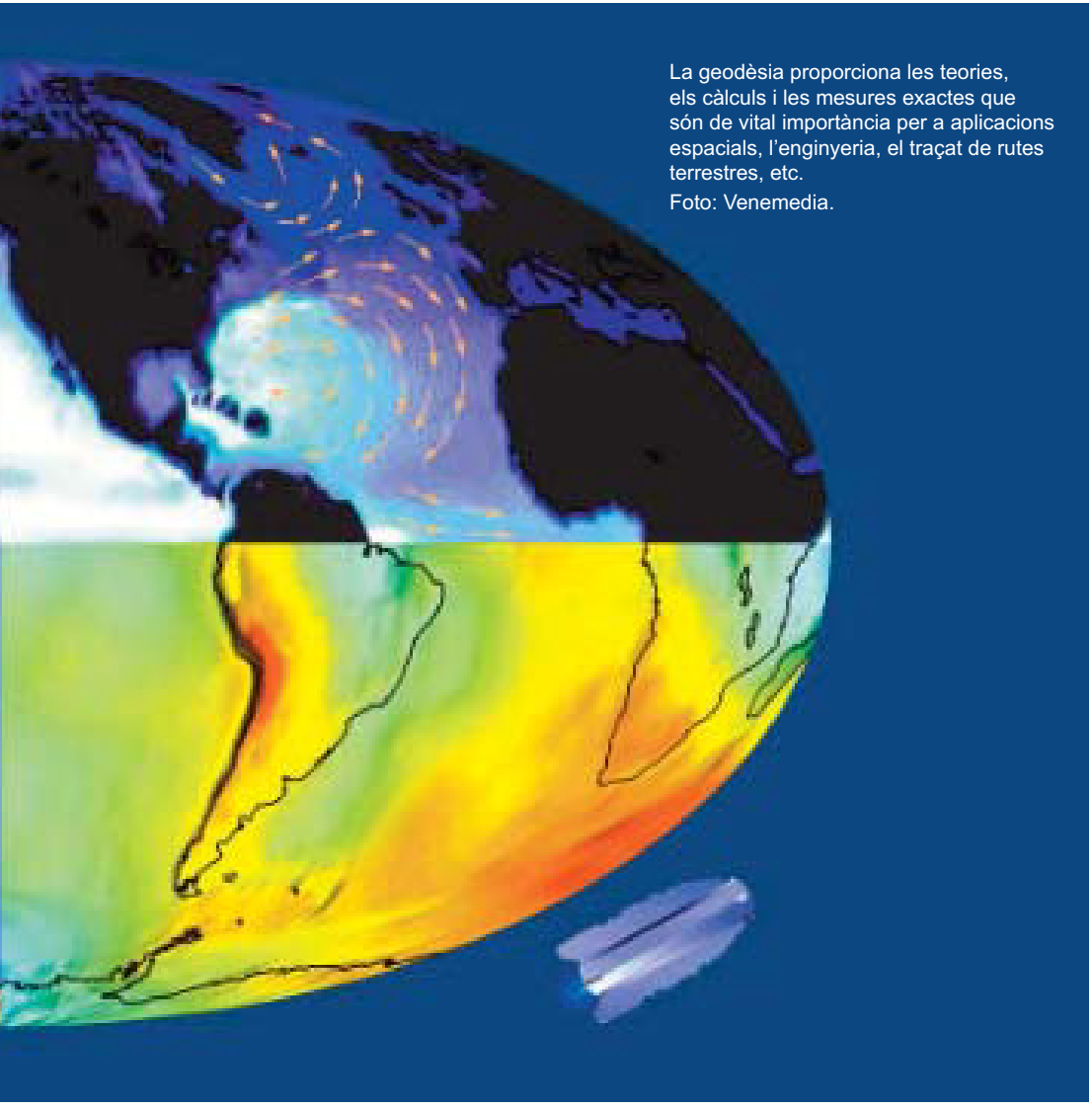
La geodèsia és la ciència que proporciona el coneixement de la forma i la mesura de la Terra i el seu camp gravitatori, proporciona les coordenades a punts sobre la seva superfície i facilita el posicionament per a la correcta navegació terrestre i marítima. És el pas previ a qualsevol representació cartogràfica.

Gestionar un territori implica conèixer-lo i per això cal mesurar-ne les dimensions, estudiar les característiques, l'evolució... Tot mapa és un compromís entre l'objectiu de la representació i les mesures que es volen representar.



La geodèsia juntament amb la captació primària de dades és el primer pas de la representació cartogràfica. Foto: Drupal.

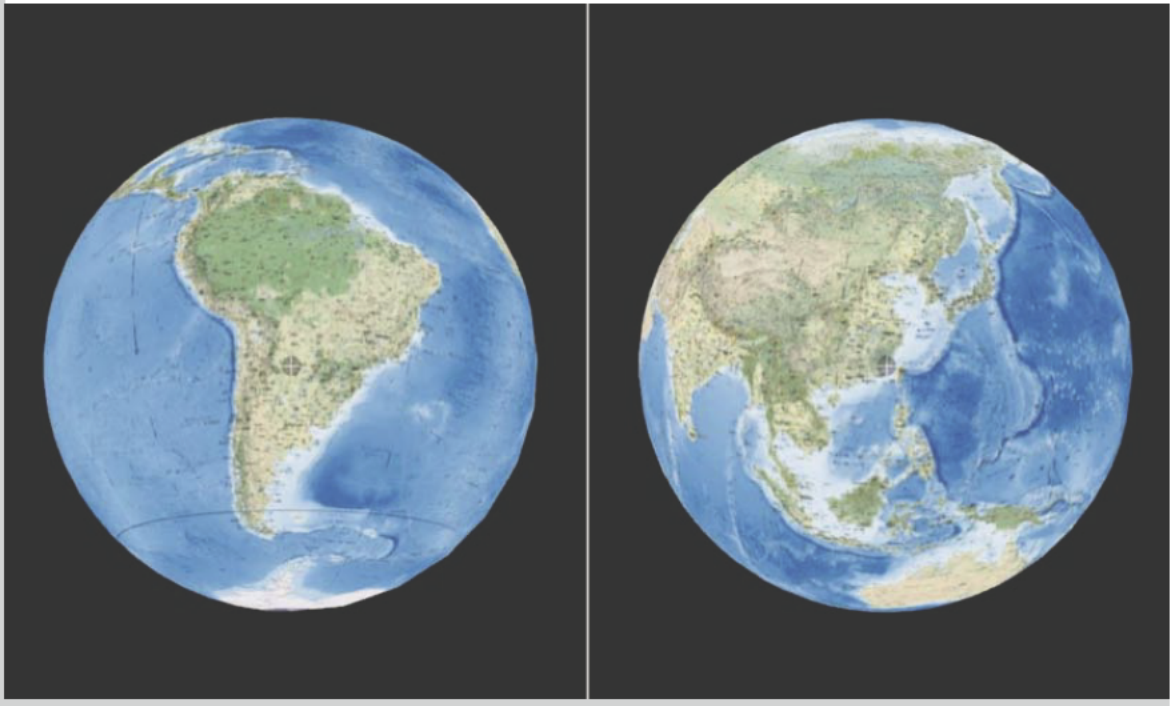
1



La geodèsia proporciona les teories, els càlculs i les mesures exactes que són de vital importància per a aplicacions espacials, l'enginyeria, el traçat de rutes terrestres, etc.

Foto: Venemedia.

Part II La forma de la Terra



2

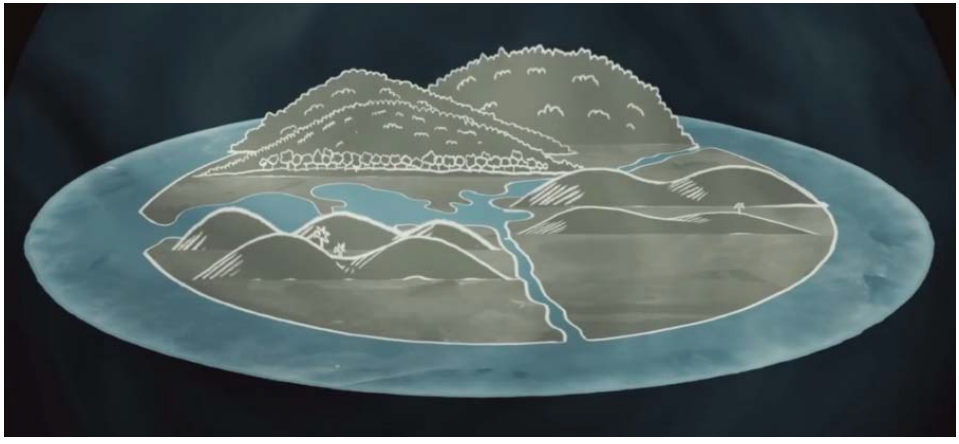
Evolució i representació

Breu evolució del coneixement de la forma de la Terra

En l'Antiguitat es pensava que la Terra era un disc pla que flotava sobre un oceà però Aristòtil, Eratòstenes, Ptolomeu, entre d'altres savis, van evidenciar que la Terra té forma esfèrica.

Aristòtil va tancar el debat de la forma de la Terra. Eratòstenes en va calcular el diàmetre. Ptolemeu va culminar la representació cartogràfica de la Terra coneguda.

Al segle XVII Isaac Newton va conjeturar que la Terra és aplatada, una forma que es coneix com el·lipsoide, i és formada per la força centrípeta generada en la rotació que provoca que a l'Equador la Terra s'eixampli i es comprimeixi als pols, així la forma que millor s'adapta a la Terra no és una esfera sinó un el·lipsoide.



Primeres representacions esfèriques de la Terra que surava sobre l'oceà.

Representació de la Terra de Ptolemeu.

La representació el·lipsoidal de la Terra sobre una superfície plana

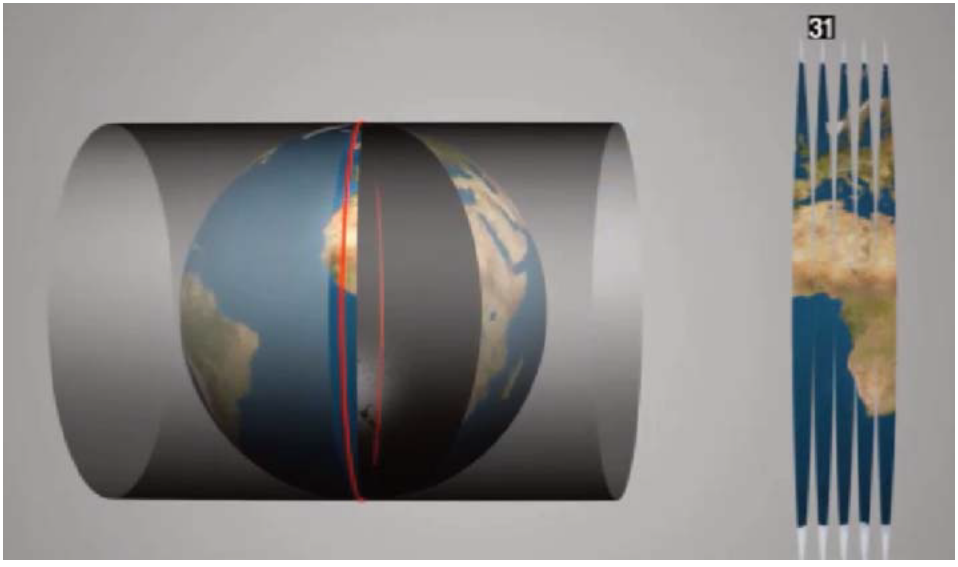
A l'hora de prendre mesures, la forma el·lipsoïdal de la Terra crea una sèrie de dificultats. Per exemple, quan es dibuixa un mapa: cartografiar un territori implica fer una projecció de la Terra sobre un pla.

Una projecció cartogràfica és un procediment matemàtic per a representar una part de la superfície de la Terra, que és esfèrica, sobre un mapa, que és una superfície plana. Les projeccions cartogràfiques no poden preservar al mateix temps les àrees, les distàncies i els angles. Per aquesta raó, no és possible enganxar un segell a una superfície esfèrica sense cap rebrec.

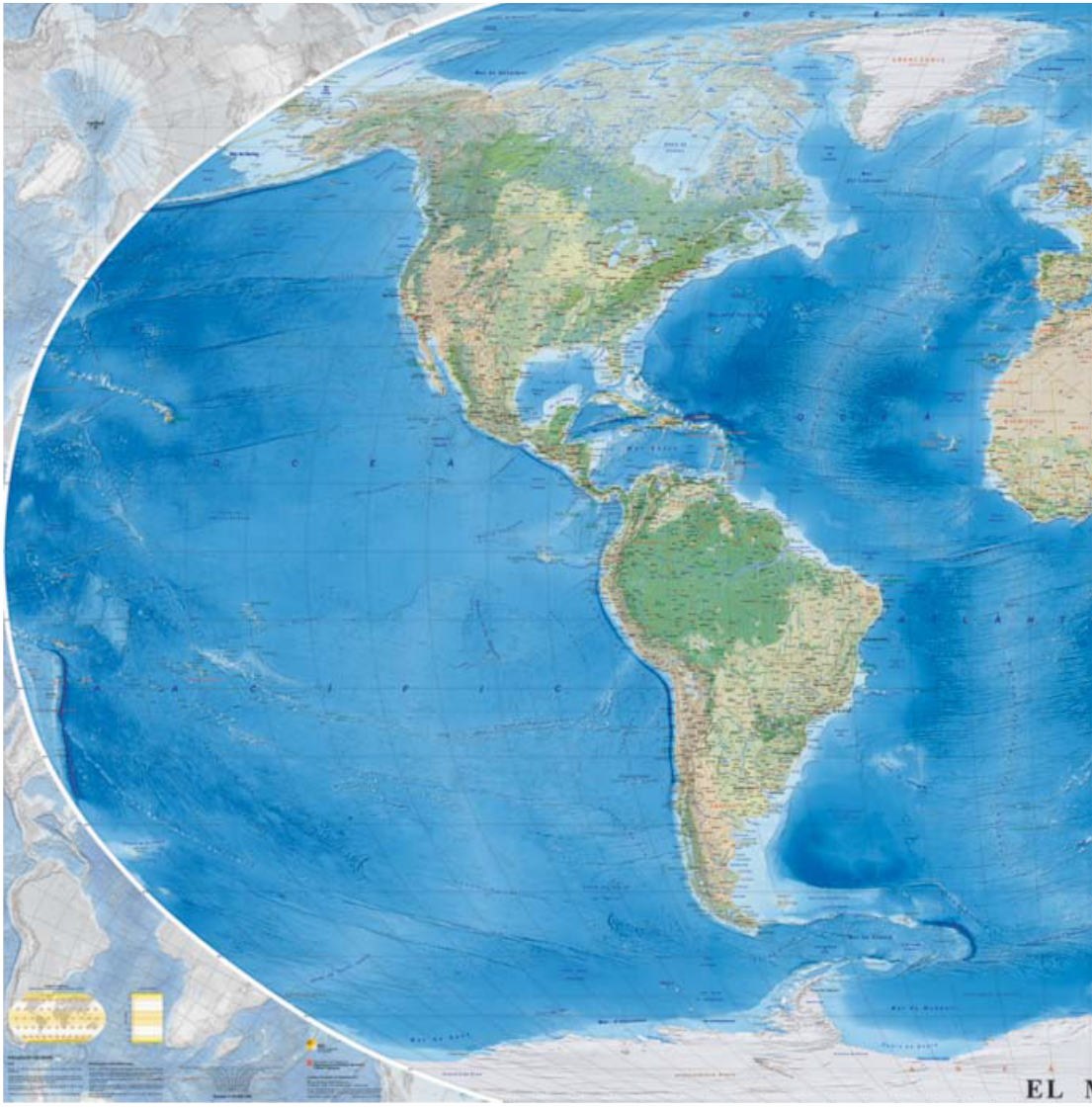
Segons sigui l'objectiu del mapa, pot ser important preservar els angles (per a la navegació), les àrees (per a l'estadística) o d'altres propietats. No hi ha, doncs, projeccions bones ni dolentes sinó inadequades per a la utilitat del mapa.

La navegació és el procés de monitoratge i control d'un vehicle per anar d'un punt a un altre. Per a distàncies no gaire grans és força útil navegar amb rumb constant i, per tant, molt aconsellable utilitzar mapes realitzats amb una projecció que conservi els angles (conforme). En aquest tipus de projecció les línies de rumb constant es representen com una recta.

En els mapes que publica l'ICGC s'aplica la projecció transversa de Mercator UTM en el fus 31. Aquesta projecció és conforme, és a dir, que conserva els angles i gairebé no distorsiona les formes, però inevitablement sí que ho fa amb distàncies i àrees. La Terra es divideix en 60 fusos de 6º de longitud, la zona de projecció de l'UTM es defineix entre els paral·lels 80º S i 84º N. Cada fus es numera amb un número entre l'1 i el 60, Catalunya es situa al fus 31.

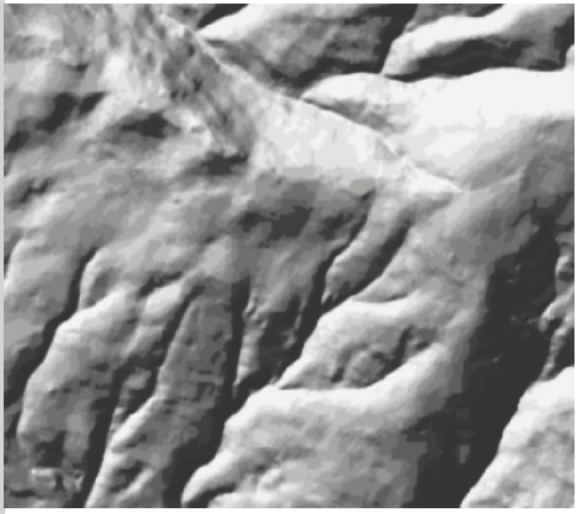


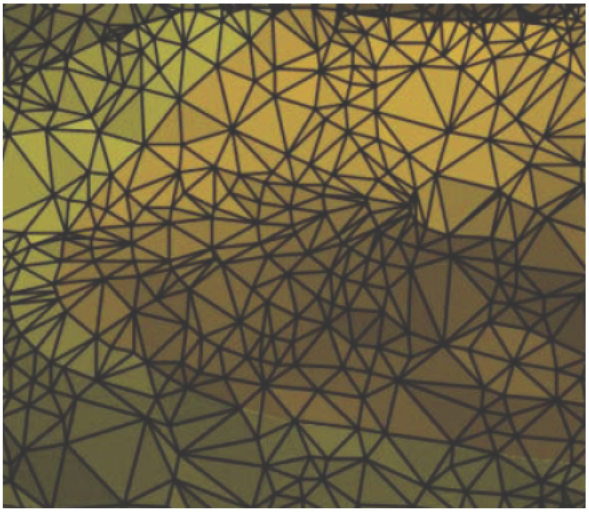
Catalunya es situa en el fus 31.

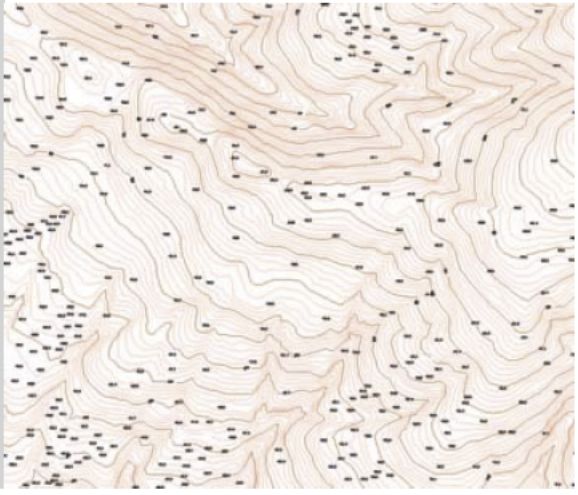

O C E A
A C I F I C
O C E A
A T L A N T
EL

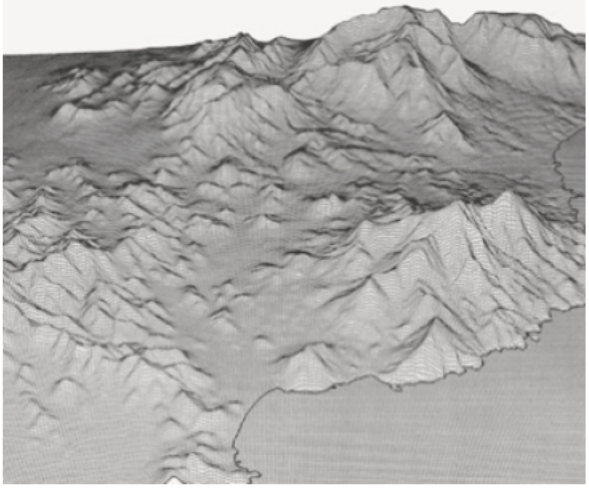
Representació de la Terra sobre una projecció pseudocilíndrica de Robinson.

Part III El posicionament dels elements









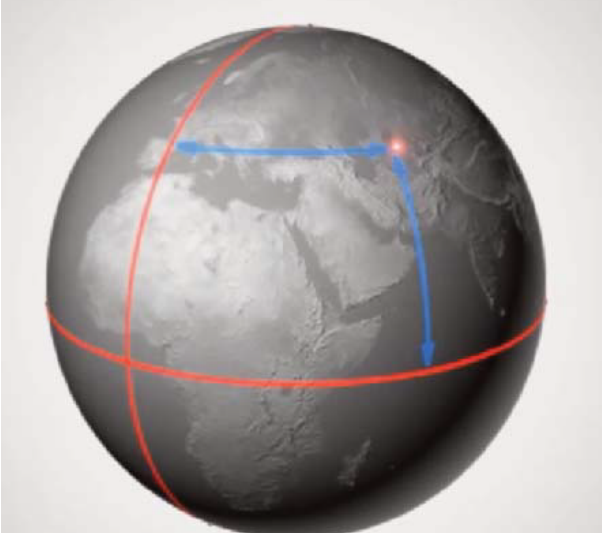
3

El càlcul del posicionament

Posicionament d'un punt terrestre

Una de les mesures més importants abordades per la geodèsia és el càlcul de la posició d'un punt sobre el planeta. Es pot determinar, per exemple, per dues coordenades: la latitud –l'arc en relació a l'equador– i la longitud –l'arc en relació al meridià zero.

La latitud és la distància angular, mesurada sobre un meridià, entre una localització terrestre i l'equador. La longitud descriu la localització d'un punt determinat de la Terra respecte a una línia nord-sud anomenada meridià principal (que antigament es va determinar a l'observatori de Greenwich), els punts poden ser a l'est o a l'oest d'aquesta línia.



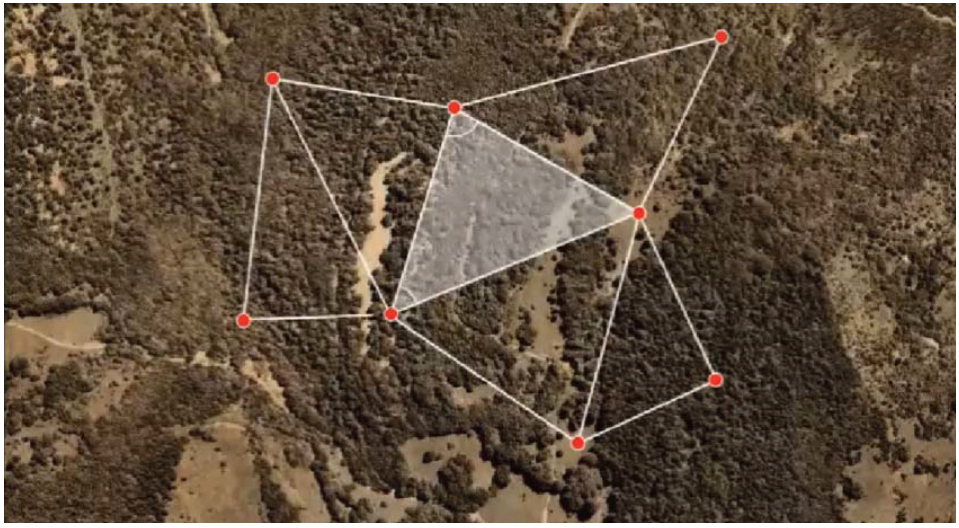
Càlcul d'un punt sobre el planeta.

A més de la latitud i la longitud, un punt es caracteritza per una tercera coordenada: l'altitud, que és la distància vertical d'un objecte respecte d'un punt d'origen donat, considerat el "nivell zero". En termes geogràfics, com a nivell zero es pren el nivell mitjà del mar.

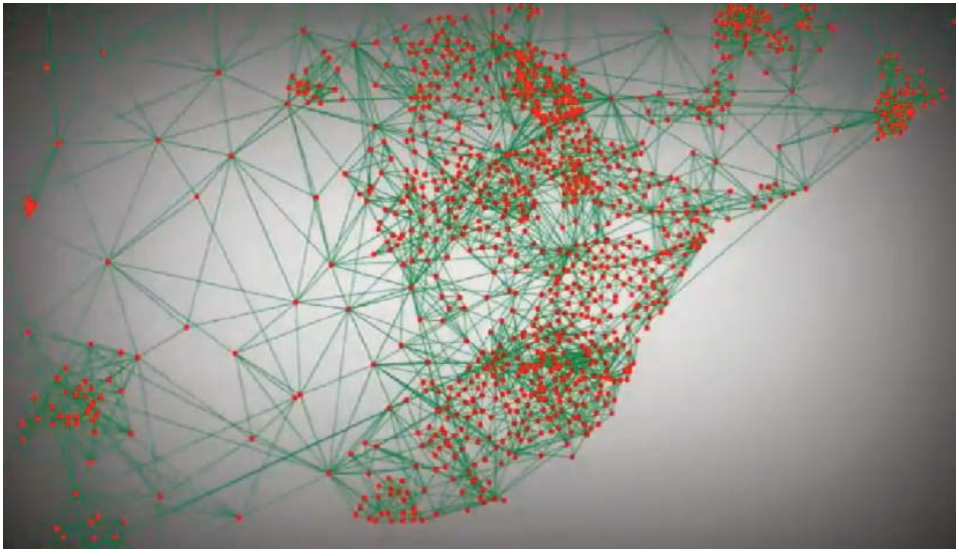
Per donar coordenades a elements del terreny els geodesistes marquen sobre el territori uns punts concrets dels quals es coneixen les seves coordenades amb precisió, anomenats vèrtexs geodèsics. Amb els sistemes globals de navegació per satèl·lit (GNSS) ens recolzem en una constel·lació de satèl·lits artificials per prendre mesures tridimensionals sobre la superfície terrestre, aquestes mesures ens permeten posicionar-nos en qualsevol part de la Terra de manera ràpida i eficaç, i mesuren les distàncies a l'element del terreny. Aplicant el mètode de triangulació en resulten les coordenades amb una notable precisió.

Així, doncs, la triangulació es fa servir per a determinar els punts singulars d'un territori mitjançant el càlcul exacte dels vèrtexs geodèsics que conformen conjunts de triangles molt extensos anomenats xarxes geodèsiques.

Vèrtex geodèsic situat sobre el terreny.



Triangulació per mesurar la distància entre punts.



Xarxa geodèsica.

El càlcul de posicions: avui

A més de produir mapes, l'ICGC proveeix el Servei de Posicionament Geodèsic Integrat de Catalunya (SPGIC) que facilita el posicionament precís arreu del territori. El SPGIC comprèn un conjunt d'estacions geodèsiques permanents, xarxes, procediments, dades, comunicacions, programari, maquinari i suport tècnic que permeten la determinació de coordenades al territori de Catalunya.

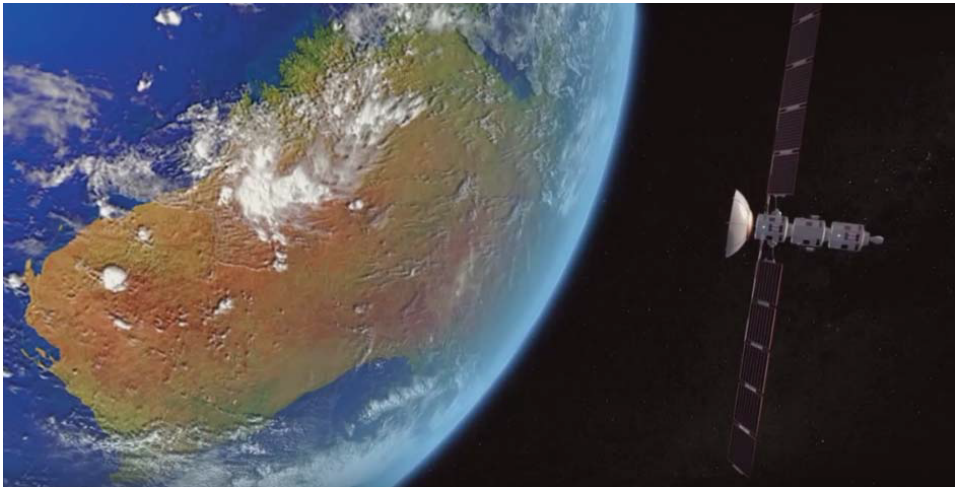
Els vèrtexs geodèsics clàssics tenen l'inconvenient que poden ser de molt difícil accés (en el cas dels Pirineus poden requerir de més de 5 hores de caminada). Per això, entre 1991-2018 l'ICGC ha desplegat (i ara manté) la xarxa utilitària de Catalunya que és una xarxa geodèsica tridimensional que abasta tot el territori

Estació geodèsica permanent de Cap de Creus.

Vèrtex geodèsic de difícil accés.

del nostre país i que és formada per un conjunt de punts amb coordenades ben determinades i ubicats en llocs accessibles. N'hi ha, sobretot, en les zones de major dinamisme, com les àrees urbanes. En total, comprèn més de 3 000 punts distribuïts per tot Catalunya.

Actualment, per a calcular posicions es disposa dels satèl·lits artificials distribuïts en xarxes de satèl·lits que s'anomenen GNSS (Global Navigation Satellite System). El 2018 hi ha actives les xarxes GNSS dels EUA –coneguda popularment com a GPS–, GLONASS de Rússia, GALILEO d'Europa, BEIDOU de la Xina, QZSS del Japó, entre d'altres.



Satèl·lits artificials en òrbita.

Els sistemes globals de navegació per satèl·lit (GNSS) ens permeten obtenir la posició d'un receptor passiu relativa a la Terra només amb la lectura d'uns senyals rebuts des dels satèl·lits.

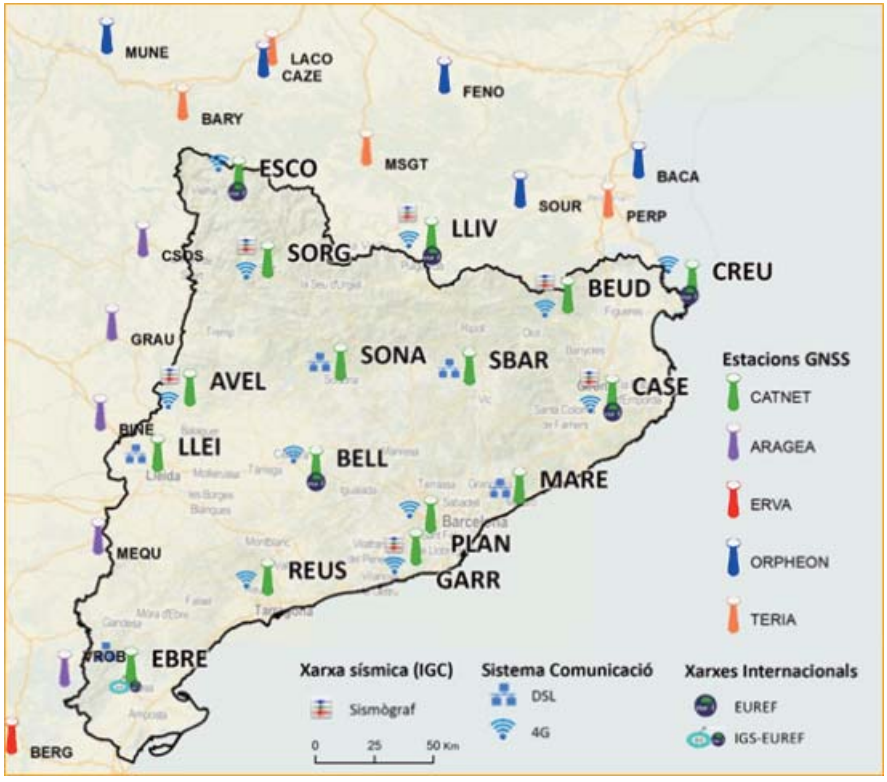
Per calcular la posició d'un punt, el receptor rep el senyal, calcula la distància en què es troba del satèl·lit GPS i dedueix l'esfera sobre la qual és situat. Repetint l'operació amb uns altres dos satèl·lits, i per intersecció de les tres esferes, s'obtenen les coordenades del punt. Per a mesurar les distàncies correctament, intervé un quart satèl·lit.

La xarxa CatNet

Per donar el servei de posicionament (Servei de Posicionament Geodèsic Integrat de Catalunya, SPGIC) l'ICGC ha desplegat pel territori, de manera adient per cobrir tots els indrets, estacions geodèsiques que formen la xarxa CatNet. Aquestes estacions recullen dades de les constel·lacions GNSS i les envien ininterrompudament (segon a segon les 24 hores del dia) a la seu de l'Institut on s'emmagatzemen, es processen i es distribueixen al públic mitjançant serveis de posicionament, tant en temps real com en postprocés. La xarxa és formada per 15 receptors GNSS situats en punts dels quals s'han determinat les coordenades amb molta precisió.

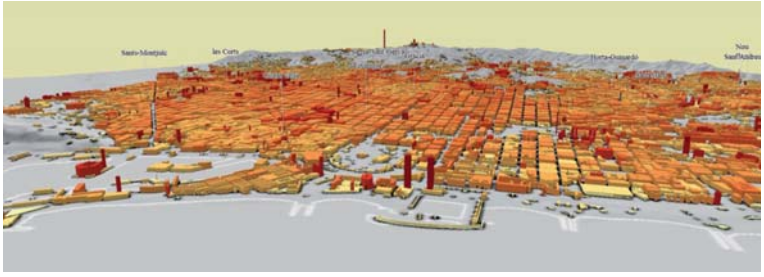
Quan un usuari vol saber la posició d'un punt, se situa sobre ell amb un receptor GPS amb capacitats geodèsiques, i envia les dades, per exemple per telèfon mòbil, a l'ICGC. A l'Institut es determina la magnitud dels errors que afecten els senyals en el lloc en què es troba l'usuari i s'envien de retorn. Al cap d'uns quants segons, l'usuari té la informació necessària que li permet calcular les coordenades precises del seu emplaçament.

Els errors són els factors que modifiquen els senyals de les constel·lacions GNSS (com ara el GPS) i poden ser de diferent naturalesa: errors atmosfèrics (retard que experimenta el senyal GPS en propagar-se en un espai no buit), errors ionos-



Distribució de les estacions GNSS.

fèrics (avançament de la fase en travessar la part de l'atmosfera ionitzada anomenada ionosfera), errors de correccions de les òrbites dels satèl·lits, etc.

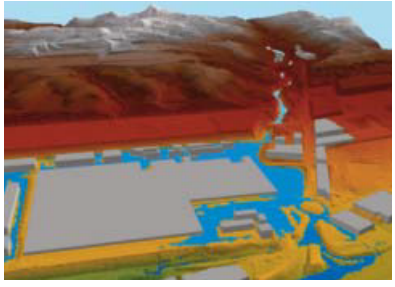


Barcelona en 3D amb les illes urbanes acolorides per alçades.

La geodèsia en la representació 3D

La mètrica per a la representació de cartografia topogràfica, geològica i temàtica en 2D (sistema bidimensional) i en 3D (sistema tridimensional) s'obté a partir de la calibració. Amb la combinació: marc geodèsic i sensors calibrats es té la capacitat de fer mesurables les imatges que s'obtenen i a partir d'aquí construir models 3D.

El model 3D es genera a partir de les dades recollides des d'una càmera aèria fotogramètrica, de capçals oblics. Les imatges obliqües capten l'escena amb un angle d'inclinació més gran que les vistes que utilitzem normalment per fer cartografia. Aquesta inclinació permet visualitzar les façanes dels edificis i d'altres estructures verticals, per bé que ens obliga a obtenir un nombre elevat de fotogrames per tal de visualitzar la totalitat del territori en zones de carrers estrets.



Model 3D per a l'estudi d'inundabilitat al Baix Llobregat nord.

Processos de càlcul intensius permeten convertir les imatges recollides en una malla continua de petits triangles que defineix les elevacions del model en 3D. A cada triangle s'hi associa la corresponent imatge.

La visualització en 3D facilita la comprensió geogràfica del territori. Els models 3D es fan servir per representar la topografia del terreny i la geologia. És una eina fonamental per a la gestió del territori i per a la previsió d'impactes ambientals causats per possibles actuacions, i per a estudis històrics i arquitectònics, entre d'altres usos, perquè mostra una visió real del territori.

La Sagrada Família en 3D.

L'evolució dels navegadors web i del maquinari possibilita anar assolint noves maneres de visualitzar grans volums de dades geogràfiques en tres dimensions, cosa que fins ara només era possible des de programaris d'escriptori.

Part IV L'interès de disposar d'una bona xarxa geodèsica

4

Quins són els usos quotidians de la geodèsia

Fins a l'actualitat l'ús de la geodèsia estava restringit a professionals que necessitaven una precisió acurada per a desenvolupar les seves activitats. Ara, el nombre d'usuaris que fan servir indirectament la geodèsia ha augmentat considerablement per la massificació de l'ús dels dispositius mòbils amb posicionament. Però la precisió que demana un usuari o un altre és diferent. El professional necessita una precisió entre centimètrica i mètrica i consistent, mentre que per a l'usuari en general el que és important és la disponibilitat d'una solució, i la precisió, si bé és rellevant en funció de l'aplicació, passa a un segon terme.

Usos a través del posicionament

A partir del posicionament es pot:
– **Localitzar:** Determinar la posició de l'usuari.
– **Cercar:** Determinar la posició de persones, organitzacions, serveis, esdeveniments o llocs d'interès per a l'usuari.
– **Navegar:** Determinar la ruta òptima des de o vers la localització de l'usuari a una altra localització
– **Consultar:** Explorar les característiques d'un lloc, una organització o un esdeveniment en una determinada localització.
– **Trobar:** Cercar o explorar serveis, esdeveniments o persones en la localització de l'usuari.
– **Visualitzar en el mapa:** Veure les localitzacions resultants de les cerques i la pròpia localització sobre un mapa, interactuar (consultar o seleccionar informació) sobre el mapa, i navegar (desplaçar-se, ampliar o reduir, etc.) sobre el mapa.

Amb aquestes funcionalitats, els programes de serveis basats en la localització s'utilitzen per als següents tipus d'aplicacions.

Geolocalització del servei més proper a l'usuari. Foto: Internet.

Informació de serveis

Proporcionen serveis de pàgines grogues o directoris de serveis per a informar automàticament el servei seleccionat per l'usuari que li és més proper. Requereixen una precisió de desenes de metres, ràpid temps de resposta i alta fiabilitat.

Guies turístiques

Proporcionen informació de llocs d'interès a l'usuari en funció de la localització on es troba. Requereixen una precisió de desenes de metres, ràpid temps de resposta i alta fiabilitat.

Guies d'activitats locals
Proporcionen informació a l'usuari d'esdeveniments en funció del lloc on es troba. Eventualment, poden incloure valoracions i recomanacions en funció del perfil d'usuari si l'aplicació ho contempla. Requereixen una precisió de desenes de metres, ràpid temps de resposta i alta fiabilitat.

Guia d'activitats locals.
Font: Internet.

Seguiment de persones
S'usen principalment per al seguiment de menors, gent gran, persones amb necessitats d'atenció especial, etc. i per a localitzar amics en una àrea determinada. Requereixen una precisió de pocs metres, ràpid temps de resposta i alta fiabilitat.

Seguiment i gestió de béns
Permeten mantenir actualitzats inventaris localitzats de béns. Requereixen una precisió de pocs metres, ràpid temps de resposta i alta fiabilitat.

Serveis d'emergència
Localització de trucades d'emergència per a serveis mèdics, de policia o bombers. Requereixen una precisió de pocs metres, ràpid temps de resposta i alta fiabilitat.

Seguiment de vehicles
Especialment en el cas d'aplicacions de gestió de flotes. Requereixen una precisió de pocs metres, ràpid temps de resposta i alta fiabilitat.

Navegació assistida en temps real
Són les aplicacions populars d'ajuda a la navegació amb automòbils, disponibles per mitjà de dispositius dedicats (navegador GPS) o d'aplicacions per a telèfons

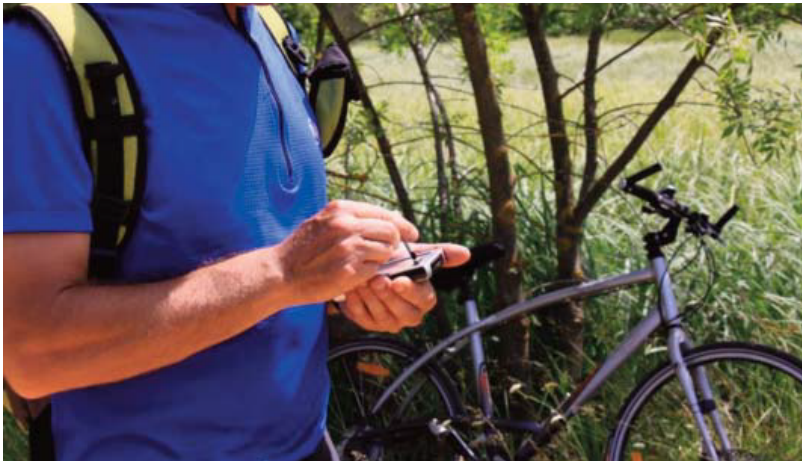
Ús del GPS per a la navegació des de vehicles.

mòbils. La majoria d'aplicacions solen incloure instruccions de veu a més de visualització de rutes sobre el mapa i instruccions escrites. Requereixen una precisió de pocs metres, ràpid temps de resposta i alta fiabilitat.

Navegació per anar d'excursió

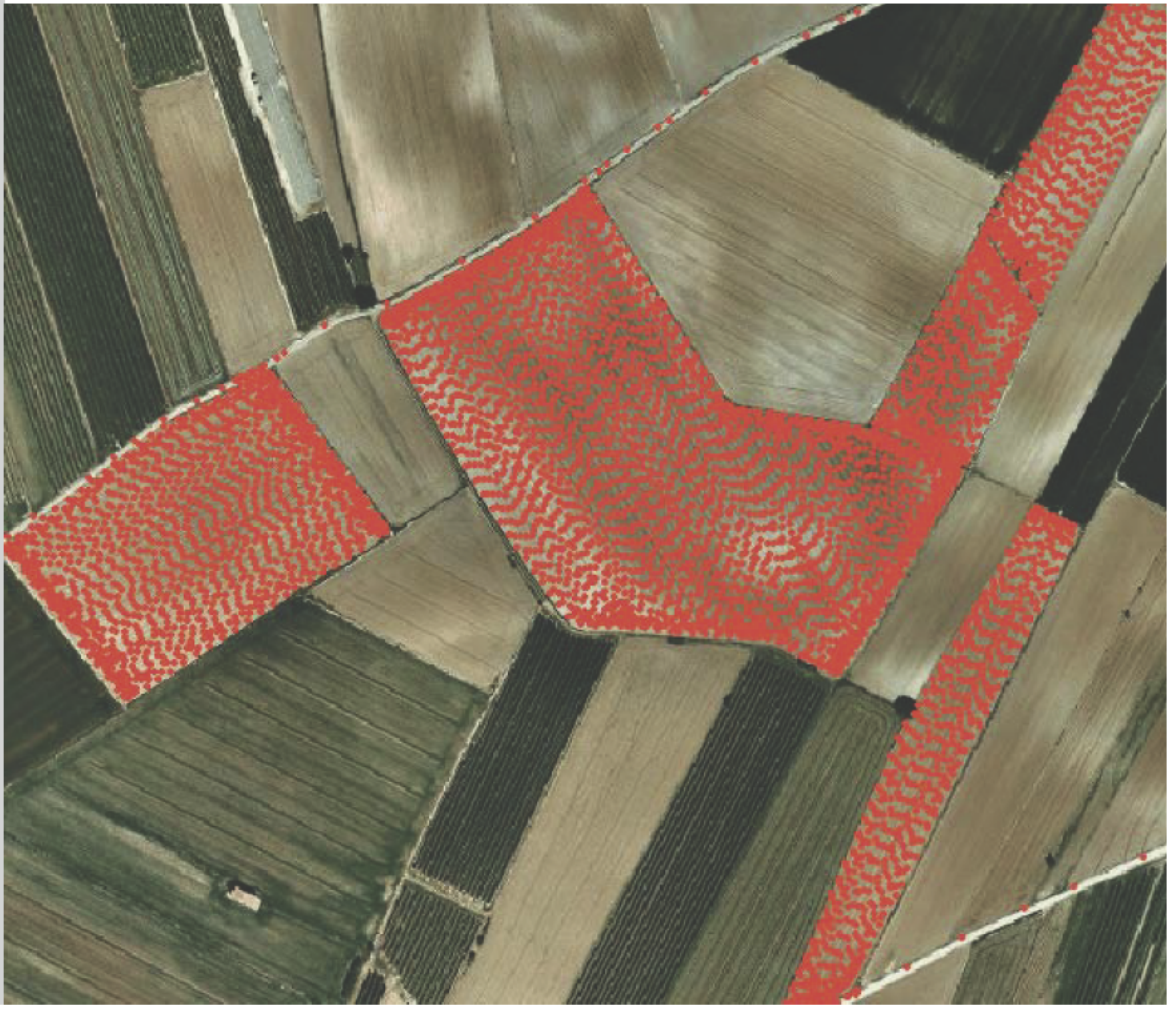
Aquest navegador es pot instal·lar en un dispositiu mòbil per orientar-se o per traçar la ruta d'una excursió sobre cartografia navegable.

4



Posicionament
per traçar rutes
o per orientar se.

Part V Serveis geodèsics que ofereix l'ICGC



5

Quins serveis ofereix l'ICGC?

La unicitat del sistema de referència utilitzat per a georeferenciar qualsevol tipus d'informació que tingui un component espacial és fonamental per a garantir el posicionament coherent sobre el territori de les dades georeferenciades.

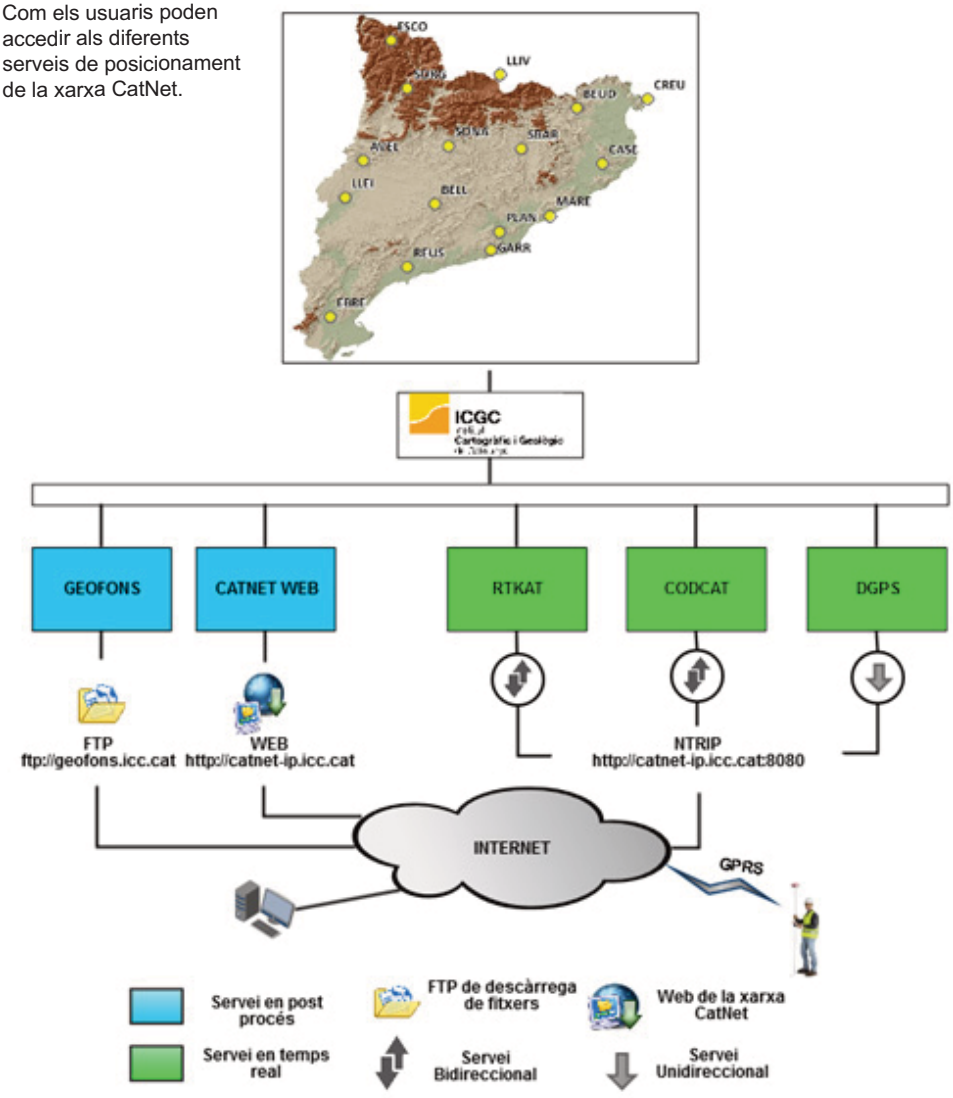
Dins l'àmbit de les competències de la Generalitat de Catalunya, el Servei de Posicionament Geodèsic Integrat de Catalunya (SPGIC) dóna suport a les sèries cartogràfiques de gran escala, a la planificació territorial i urbanística, a l'activitat de l'obra pública a Catalunya i a les activitats anàlogues en què sigui aplicable. El Servei i els seus resultats es coordinen amb els estàndards estatals i europeus aplicables en aquest àmbit.

Una part fonamental del SPGIC és la xarxa CatNet d'estacions permanents GNSS que proporciona accés als serveis de posicionament d'alta precisió en temps real i en postprocés. L'accés a aquests serveis fa que l'usuari pugui treballar amb un únic receptor, amb una important reducció de costos i temps. Aquests serveis proporcionen un accés eficient al marc de referència geodèsic oficial a Catalunya que es basa en la densificació del marc europeu (ETRS89) materialitzat amb la xarxa EPN d'estacions permanents europees i el marc oficial a l'estat espanyol materialitzat amb la xarxa ReGeNTE.

Servei de correccions de posicionament

Els serveis de posicionament, tant els de temps real com els de postprocés, es distribueixen a través d'Internet, on els usuaris també disposen de serveis de suport per consultar la informació publicada al web sobre temes geodèsics, descàrrega de dades com ara el geoide EGM08D595 del servei Geofons o bé adreçar consultes als tècnics.

Com els usuaris poden accedir als diferents serveis de posicionament de la xarxa CatNet.



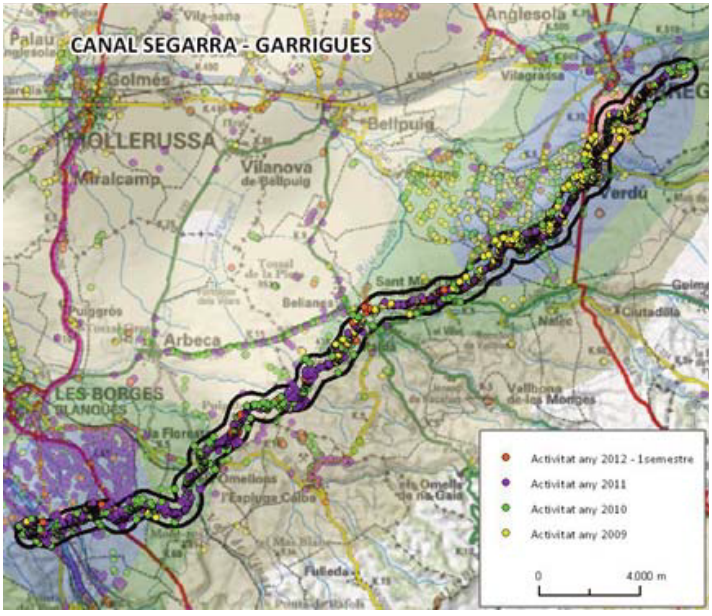
Els serveis de correccions en postprocés que l'ICGC ofereix són:
– RINEX (Geofons i CatNet Web): Servei de descàrrega de fitxers RINEX per als càlculs en postprocés, vàlid per a qualsevol receptor que tingui capacitat d'enregistrament de dades.

Els serveis de correccions en temps real que l'ICGC ofereix són:
– RTKAT: Servei de correccions de xarxa destinat a receptors geodèsics (precisió centimètrica).
– CODCAT: Servei de correccions de xarxa destinat a receptors GIS (precisió submètrica).
– DGPS: Servei de correccions diferencials respecte cadascuna de les estacions de la xarxa destinat a receptors GIS (precisió submètrica).

Valor afegit que aporta la geodèsia als mapes

La geodèsia dóna als mapes la referència geomètrica dels elements cartogràfics que s'hi representen. Si es parteix d'una bona geodèsia i d'una bona precisió, el resulat és consistent en el temps. La geodèsia proporciona la base on el cartògraf representa els elements terrestres. Hi dóna el marc geomètric, les coordenades, la projecció adequada a l'aplicació del mapa i així poder representar el planeta, esfèric en un pla. Una geodèsia consistent aporta un valor afegit que facilita el manteniment de la geoinformació en el temps en garantir que la representació dels elements cartogràfics recollits en moments diferents es puguin representar en la mateixa cartogràfica. També facilita la fusió de dades per a crear productes que combinen dades de diferents sensors, com ara productes de contaminació lumínica on s'empren sensors òptics pancromàtics i multiespectrals, o de gestió forestal i agricultura, on el corregistre de dades lidar i sensors òptics és essencial per a la producció d'informació de qualitat.

Traçat del Canal Segarra Garrigues.



Transformador de coordenades.

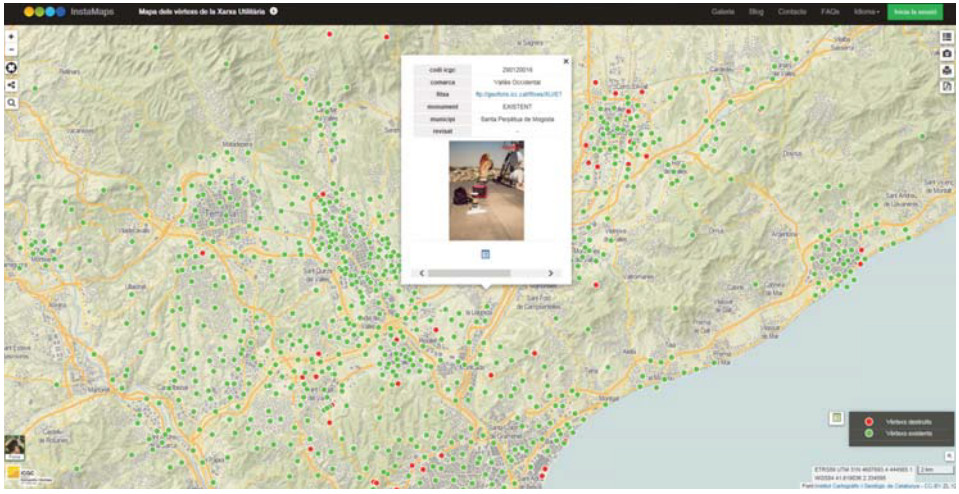
Suport al canvi de sistema de referència

El marc de referència geodèsic és l'eina imprescindible per a materialitzar el posicionament en un territori. Sense referència no hi ha mesura.

L'Institut ha donat i dóna resposta als usuaris sobre les qüestions al canvi de sistema de referència d'ED50 a ETRS89 implantat per la comunitat geodesista europea per a unificar en un únic sistema europeu la representació del territori. Aquest canvi de sistema té un impacte que fa que hàgim d'informar i formar els tècnics i els usuaris de la geodèsia.

Calculadores geodèsiques

El web de l'ICGC ofereix un servei en línia de calculadores geodèsiques que permet la conversió de coordenades i un servei de descàrrega d'arxius d'observacions generats per les estacions de la xarxa CatNet.



Consulta de les fitxes dels vèrtexs geodèsics.

Altra suport geodèsic

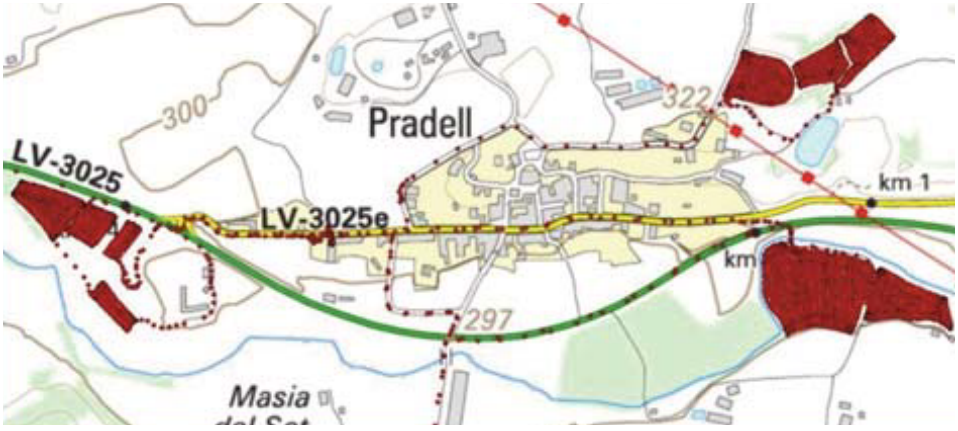
Es dóna servei de suport a consultes sobre temàtiques geodèsiques, ja sigui als ciutadans que s'adrecen a l'Institut amb consultes genèriques, ja sigui a entitats públiques i empreses privades que requereixen de suport per resoldre qüestions sobre sistemes de referència geodèsics o projeccions que no els permet emprar la seva geoinformació de forma eficient.

Pel que fa al suport que es dóna als ens locals, s'han generat eines específiques i guies tècniques per a implementar una metodologia de canvi en els programaris que s'empren en cada ens i, evidentment, també vàlides per a altres empreses, institucions o particulars. Aquestes guies faciliten informació sobre el canvi de sistema de referència, sobre la transformació de fitxers entre diferents formats.

La geodèsia en l'agricultura de precisió

Els serveis de posicionament de precisió en temps real en l'agricultura de precisió suposen un dels avenços més importants des de la mecanització de les explota-

cions agràries. Els sistemes de guiatge dels vehicles agrícoles s'estan convertint en equips imprescindibles per a agricultors que cerquen optimitzar la despesa de combustible, de fertilitzants i de productes químics que apliquen a les explotacions. Tot això facilita l'obtenció d'un major productivitat de llurs explotacions i que els processos en general siguin molt més sostenibles.

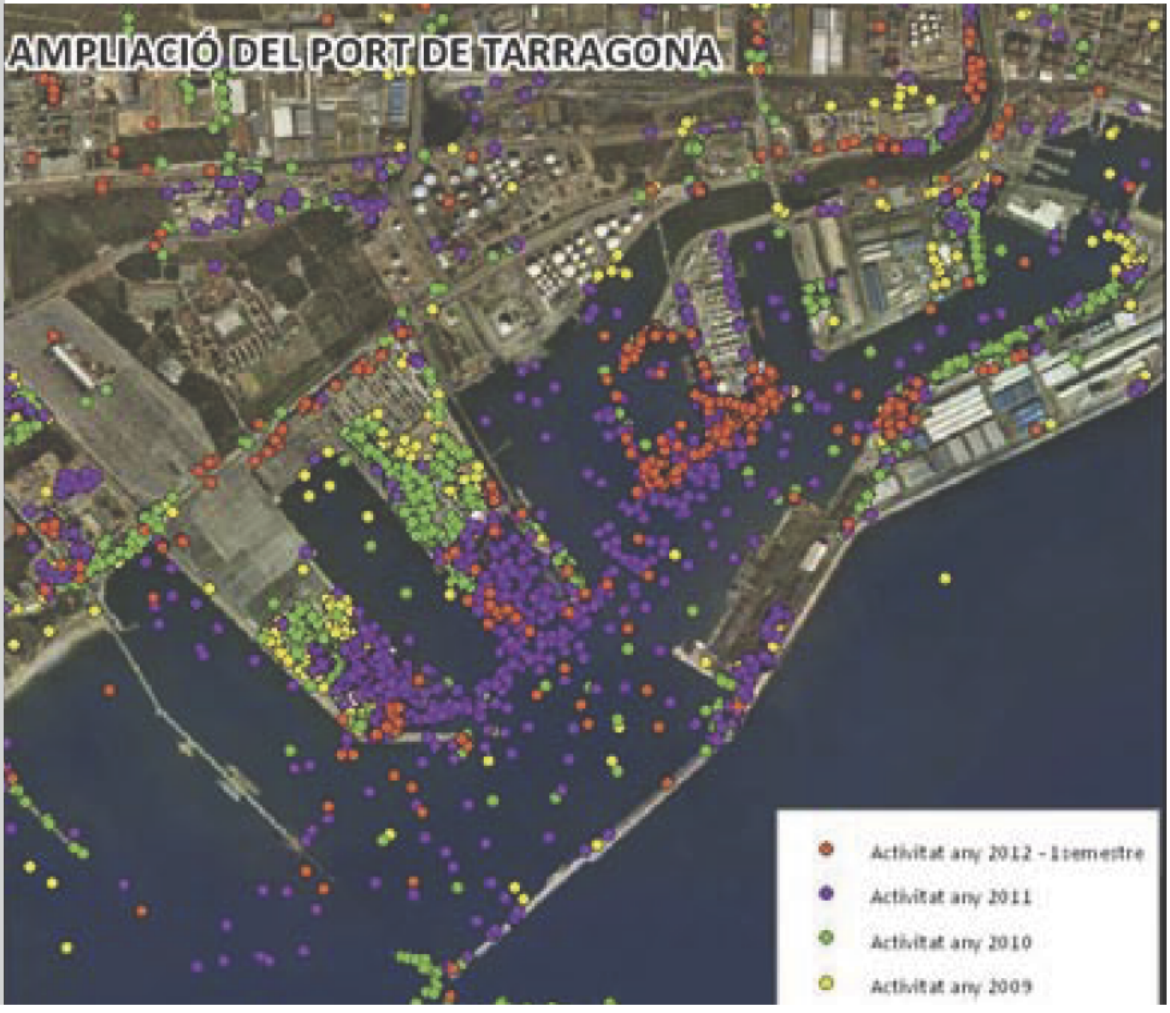


Traça de guiatge en temps real.

5

La geodèsia en l'agricultura de precisió.

Part VI Cloenda



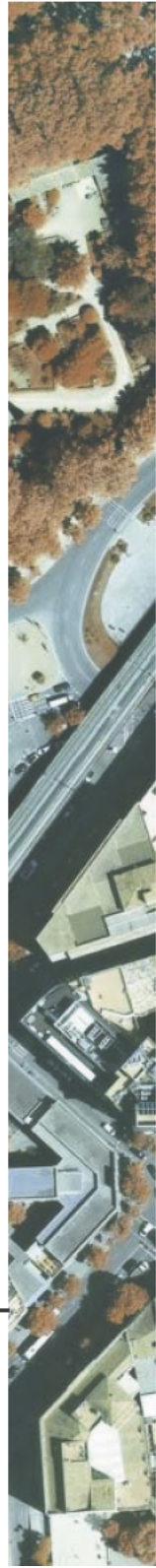
6

Per finalitzar

La geodèsia moderna permet representar la Terra amb gran detall i establir les coordenades de qualsevol punt amb una alta precisió.

L'Institut té la funció d'establir la gestió, la conservació i la millora de la infraestructura física i els sistemes tecnològics necessaris per a construir i gestionar el Servei de Posicionament Geodèsic Integrat de Catalunya i el manteniment de les bases de dades topogràfiques que hi donen suport.

La geodèsia té moltes aplicacions tècniques i en l'àmbit personal. Un mapa implica el reconeixement de l'espai i el concepte d'escala. La representació i el mesurament de la Terra amb el propòsit de desplaçar-se, planificar, posicionar-se s'ha desenvolupament amb el procés científic.



ICGC
Institut
Cartogràfic i Geològic
de Catalunya

Generalitat de Catalunya
Departament de Territori i Sostenibilitat

Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya
Parc de Montjuïc 08038 Barcelona 41º22'12'' N, 2º09'20'' E (ETRS89)
Tel. (+34) 93 567 15 00 Fax 93 567 15 67
www.icgc.cat icgc@icgc.cat twitter.com/ICGCat facebook.com/ICGCat

1a edició: octubre 2018