REPOSITORI DIGITAL
AGRICULTURA DE PRECISIÓ

Universitat de Lleida
Grup de Recerca
AgròTICa i Agricultura de Precisió (GRAP)

agrotecnio

Posicionament i navegació: sistemes satel·litaris de navegació global

Tal com s'ha dit en altres documents d'aquest repositori, en Agricultura de Precisió (AP) és important saber on som. Les dades de posició es poden fer servir amb diverses finalitats (**Figura 1**). Bàsicament, saber on som ens permet enregistrar les dades de localització o **georeferenciació** de persones, equips, mostres o actuacions. Saber on som també permet anar a un altre lloc, altrament dit **navegar**. Sí, sí, es pot navegar pel mar però també per terra ferma i, fins i tot, per l'aire! En AP els dispositius utilitzats per saber on som són els **receptors dels Sistemes Satel·litaris de Navegació Global (SSNG)**, en anglès anomenats ***Global Navigation Satellite Systems (GNSS)***. Així, un receptor SSNG permet determinar les coordenades de les extraccions de mostres de sòl o bé permet georeferenciar les dades d'un sensors o d'un equip (documentació de dades). També permet saber en quin punt del camp són els equips quan treballen i ajustar l'operació al lloc on són (control d'equips). Finalment, pel que fa a la navegació, els receptors SSNG permeten fer el guiatge d'equips i gestionar flotes senceres (**Figura 1**).



Figura 1. Aplicacions dels Sistemes Satel·litaris de Navegació Global a l'Agricultura de Precisió (Adaptada d'Auernhammer, 2001. DOI: 10.1016/S0168-1699(00)00153-8).

Activitat finançada a través de l'Operació 01.02.01 de Transferència Tecnològica del Programa de desenvolupament rural de Catalunya 2014-2022

Generalitat de Catalunya
Departament d'Acció Climàtica, Alimentació i Agenda Rural

Fons Europeu Agrícola de Desenvolupament Rural:
Europa inverteix en les zones rurals

I què són els Sistemes Satel·litaris de Navegació Global?

Doncs com bé indica el seu nom, els SSNG són **sistemes** compostos de diversos subsistemes basats en **satèl·lits** per a poder **navegar** per tot el planeta Terra. El més conegut d'aquests sistemes és el Global Positioning System o **GPS**. Tanmateix, el GPS no és l'únic SSNG sinó que n'hi ha 3 més: el GLONASS rus, el GALILEO europeu i el BEIDOU xinès (**Figura 2**). Tots els SSNG estan formats per 3 subsistemes o segments: el segment espacial (que inclou tots els satèl·lits), el segment de control (que inclou tots els elements i centres terrestres que en garanteixien el seu correcte funcionament) i, finalment, el segment d'usuaris (que inclou les persones i els equips que determinen les coordenades, és a dir, **els receptors**).



Figura 2. Reproducció d'un satèl·lit del Sistema Satel·litari de Navegació Global GALILEO (Font: ©EUSPA, ©European Agency for the Space Programme).

El receptors són aquells dispositius que fem anar per a determinar les coordenades a partir dels senyals que emeten els satèl·lits. Actualment, els receptors professionals utilitzats en agricultura són compatibles amb diversos SSNG o amb tots ells i, per tant, anomenar-los simplement GPS no és del tot correcte. El terme genèric adequat per a referir-se a un d'aquests aparells que calcula coordenades és **receptor SSNG o receptor GNSS**. A la **Figura 3** es poden veure diferents receptors.



Figura 3. Esquerra: imatge de catàleg del primer receptor GPS comercial (revista GPS World). Centre: receptor GNSS per a Agricultura de Precisió i pantalla de visualització (Trimble). Dreta: receptor miniaturitzat per a incorporar en dispositius o elements diversos (U-blox).

Activitat finançada a través de l'Operació 01.02.01 de Transferència Tecnològica del Programa de desenvolupament rural de Catalunya 2014-2022

Generalitat de Catalunya
Departament d'Acció Climàtica, Alimentació i Agenda Rural

Fons Europeu Agrícola de Desenvolupament Rural:
Europa inverteix en les zones rurals

La trilateració

Per tal que un receptor SSNG pugui calcular les coordenades d'allà on es troba és necessari que rebi els senyals de ràdio emesos per, com a mínim 4, satèl·lits compatibles (d'una o diverses constel·lacions, segons la seva compatibilitat). Aquests senyals de ràdio li permetran saber exactament on estan situats aquests satèl·lits i també li permetran estimar a quina distància es troben del receptor. Amb aquestes dades, el receptor aplicarà un procés anomenat **trilateració** que li permetrà calcular les seves coordenades.

Tanmateix, l'estimació de la distància entre els diferents satèl·lits i el receptor està subjecta a diversos errors que faran que les coordenades siguin més o menys exactes i precises. Cal tenir ben present que les coordenades obtingudes per trilateració, sense cap ajuda o correcció externa, poden tenir errors que oscil·len entre pocs metres i més de 10 m. Per a algunes aplicacions com la localització de parcel·les, una exactitud de 10 m pot ser perfectament suficient però amb aquest error és impossible fer un guiatge automàtic d'un tractor. És per aquest motiu que moltes vegades caldrà corregir les coordenades per tal d'augmentar-ne la seva exactitud.

Sistemes de correcció de coordenades

El principi bàsic de la correcció de coordenades és el que s'anomena **correcció diferencial**. Aquest principi es basa en utilitzar dos receptors diferents. Un d'ells, anomenat ***rover***, és el que es desplaça pel camp i del quan volem conèixer la seva posició. L'altre, anomenat **base**, està estacionat sobre un punt de coordenades conegudes, fet que li permet conèixer, per diferència, l'error comès en la trilateració. Una vegada determinat aquest error, es comunica al rover per tal que corregeixi les seves coordenades obtingudes per trilateració i millorin la seva exactitud.

Aquest principi es pot portar a la pràctica de diverses maneres. Una possibilitat és que un mateix usuari disposi del seu propi *rover* (probablement embarcat al tractor), de la seva pròpia base i d'un punt de coordenades conegudes en la seva explotació on estacionar-la. En aquest cas, la base es comunica amb el *rover* per mitjà d'un enllaç de ràdio. Aquest sistema s'anomena **GNSS-RTK** perquè es fa servir un receptor GNSS i la correcció és del tipus *Real-Time Kinematics* o bé en moviment i en temps real. Si bé aquesta solució és la més cara de totes perquè l'usuari ha de comprar dos receptors, també és la més exacta de totes, podent arribar a obtenir coordenades amb errors de pocs centímetres.

Una alternativa al sistema GNSS-RTK és que no disposi d'una base sinó que es comuniqui amb una base d'un servei aliè, que pot ser públic o privat.

Activitat finançada a través de l'Operació 01.02.01 de Transferència Tecnològica del Programa de desenvolupament rural de Catalunya 2014-2022

Generalitat de Catalunya
Departament d'Acció Climàtica, Alimentació i Agenda Rural

Fons Europeu Agrícola de Desenvolupament Rural:
Europa inverteix en les zones rurals

Aquesta connexió es pot realitzar amb una base que estigui propera al *rover* de l'usuari, tot procurant que no estigui a més de 40 km de distància. En cas que no sigui possible, també hi ha l'opció que el receptor de l'usuari es connecti a un servei que disposi d'una xarxa d'estacions base que li subministri una correcció que tingui en compte diverses de les estacions bases més properes per a pal·liar la pèrdua d'exactitud provocada per la distància. En aquest cas, la comunicació entre receptor i servei ha de ser bidireccional per tal que el servei sàpiga aproximadament on és el receptor i pugui generar una correcció personalitzada a partir de les estacions més properes. Finalment, també hi ha l'opció de connectar-se a un servei que generi correccions per a tot un territori, independentment de la posició del receptor de l'usuari.

Parlarem de **correccions terrestres** quan el sistema de comunicacions utilitzat entre el receptor i la xarxa d'estacions base sigui un sistema de comunicacions terrestre (via ràdio terrestres o via dades de telefonia mòbil). En anglès, aquests sistemes de correcció s'anomenen ***Ground-Based Augmentation Systems*** o ***GBAS***. Parlarem de **correccions satel·litàries** quan les correccions s'emetin des de satèl·lits. En anglès, aquests sistemes de correcció s'anomenen ***Satellite-Based Augmentation Systems*** o ***SBAS***.

Exactitud de les correccions

Degut als errors en l'estimació de les distàncies entre satèl·lits i receptors, dos coordenades d'un mateix punt obtingudes amb pocs minuts de diferència seran més semblants entre elles que si el temps entre una mesura i una altra és més gran (dies, setmanes, mesos o anys). Això passa amb tots els receptors i amb tots els sistemes de correcció, tot i que el sistema GNSS-RTK és molt menys sensible a aquestes diferències. Anomenarem **exactitud relativa** a l'exactitud de les coordenades obtinguda en intervals petits de temps. Per contra, es parla d'**exactitud absoluta** quan s'analitza l'exactitud d'unes coordenades o d'un receptor a llarg termini.

Amb els sistemes de correcció terrestres es poden assolir exactituds absolutes centimètriques (encara que menors que amb un sistema GNSS-RTK), decimètriques i submètriques. Amb els sistemes de correcció satel·litaris habitualment es poden aconseguir exactituds submètriques encara que també hi ha serveis amb els que es poden arribar a exactituds decimètriques i, en algun cas, centimètriques.

Activitat finançada a través de l'Operació 01.02.01 de Transferència Tecnològica del Programa de desenvolupament rural de Catalunya 2014-2022

Generalitat de Catalunya
Departament d'Acció Climàtica, Alimentació i Agenda Rural

Fons Europeu Agrícola de Desenvolupament Rural:
Europa inverteix en les zones rurals

Tipus de coordenades

Les coordenades d'un punt poden ser **relatives** o **absolutes**. Les **coordenades relatives** indiquen la posició de punts de manera relativa a un altre punt que actua com a origen de coordenades i que és un punt totalment arbitrari. En canvi, les **coordenades absolutes** fan servir un sistema de coordenades de referència acceptat a nivell global que permet situar un punt de manera inequívoca sobre la superfície terrestre.

En AP hi ha dos maneres d'expressar les coordenades absolutes: mitjançant **coordenades geogràfiques** i mitjançant **coordenades projectades**.

Les **coordenades geogràfiques** indiquen la posició d'un punt sobre la terra a partir de dos angles i, opcionalment, una altitud. Un dels angles, la **longitud**, indica la posició del punt respecte d'un meridià de referència, com pot ser el meridià de Greenwich. L'altre angle, la **latitud**, indica la posició del punt respecte de l'equador. L'altitud del punt es comentarà en una secció més endavant.

Les unitats utilitzades en les coordenades geogràfiques són les unitats d'angles del sistema internacional d'unitats: els graus (º), els minuts (') i els segons ("). Així, les coordenades geogràfiques de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària de la Universitat de Lleida es poden expressar de les següents tres maneres, totes elles indicant el mateix punt:

Longitud: 0,597118º	Latitud: 41,628577º	ETRS89
Longitud: 0º 35,82708'	Latitud: 41º 37,71462'	ETRS89
Longitud: 0º 35' 49,6248"	Latitud: 41º 37' 42,8772"	ETRS89

Com es pot apreciar, a més de la longitud i la latitud, és imprescindible indicar el sistema de coordenades de referència. En aquest cas l'**ETRS89**.

MOLT IMPORTANT:

- En coordenades geogràfiques expressades en graus (gg.ggggggggg), amb 6 decimals de grau es pot arribar a una exactitud d'1 m. Si es vol arribar a 1 mm, calen 9 decimals.
- En coordenades geogràfiques expressades en graus, minuts i segons (gg mm ss.sssss), amb 2 decimals de segon s'arriba a una exactitud d'1 m. Si es vol arribar a 1 mm són necessaris 5 decimals.

Activitat finançada a través de l'Operació 01.02.01 de Transferència Tecnològica del Programa de desenvolupament rural de Catalunya 2014-2022

Generalitat de Catalunya
Departament d'Acció Climàtica, Alimentació i Agenda Rural

Fons Europeu Agrícola de Desenvolupament Rural:
Europa inverteix en les zones rurals

Les **coordenades projectades o cartesianes** indiquen la posició d'un punt sobre una projecció plana de la superfície terrestre mitjançant les coordenades X, Y i, opcionalment, Z, totes elles expressades en metres. En AP, la projecció més habitual és la **UTM** (*Universal Transverse Mercator*). Aquesta projecció requereix dividir la superfície terrestre en una quadrícula de 24 files (anomenades amb les lletres de la A a la Z) i 60 columnes, numerades de l'1 al 60 (**Figura 4**). Catalunya, per exemple, es troba a la zona 31T i això cal referir-ho quan se citin les coordenades, a més a més de les unitats de les coordenades i el sistema de coordenades de referència utilitzat. De manera general, la coordenada X varia entre 250.000 m i 750.000 m en cadascuna de les zones. La coordenada Y és la distància del punt a l'equador, en l'hemisferi nord, o bé la distància al pol sud, a l'hemisferi sud. Així, les coordenades projectades UTM inclouran, com a mínim, les coordenades X i Y del punt i també la zona de la quadrícula UTM on es troben les coordenades i el sistema de coordenades de referència. En el cas de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària de la Universitat de Lleida, la zona és la 31T i les coordenades cal expressar-les de la següent manera:

X = 299 839 m Y = 4 611 328 m UTM 31T ETRSS89

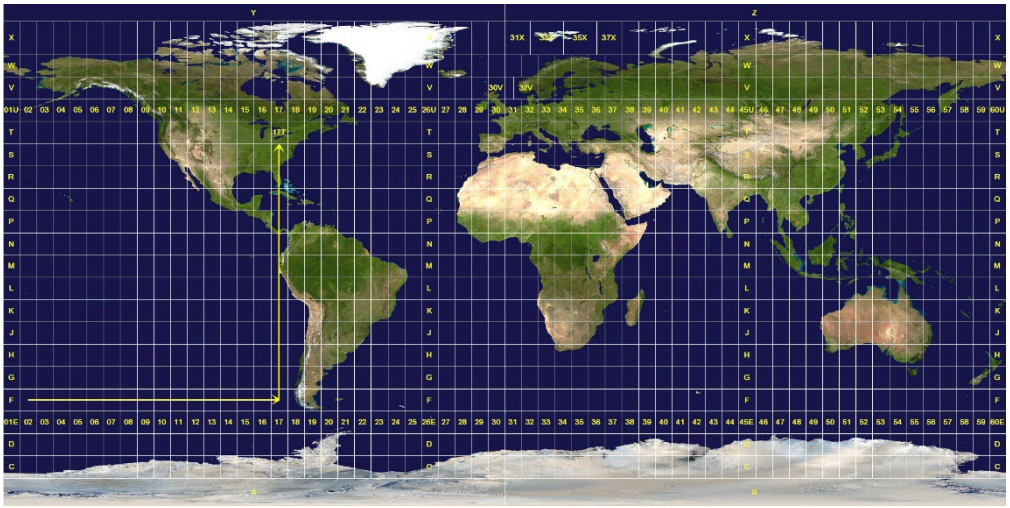


Figura 4. Quadrícula UTM. Autoria: Domini públic, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1601744

Sistema de coordenades de referència i dàtum

Com s'ha dit anteriorment, les coordenades sempre han d'anar acompanyades del sistema de coordenades de referència utilitzat o el seu dàtum per tal de induir a error. A Catalunya i a Espanya, regulat per Reial Decret, i a tot Europa, el dàtum oficial és l'**ETRS89** (*European Terrestial Reference System* 1989). Però, anteriorment, es feia servir l'***European Datum***

Activitat finançada a través de l'Operació 01.02.01 de Transferència Tecnològica del Programa de desenvolupament rural de Catalunya 2014-2022

Generalitat de Catalunya
Departament d'Acció Climàtica, Alimentació i Agenda Rural

Fons Europeu Agrícola de Desenvolupament Rural:
Europa inverteix en les zones rurals

1950 o ***ED50*** un sistema de referència totalment diferent. Tant és així, que **les mateixes coordenades expressades en ETRS89 i en ED50 poden diferir en alguns centenars de metres!** És molt important tenir això en compte quan es fan servir coordenades antigues. En un tutorial del repositori s'explica com transformar coordenades expressades en diferents dàtums o sistemes de referència.

També cal tenir en compte que el sistema nord-americà GPS i la resta de SSNG fan anar un altre sistema de coordenades de referència, el **WGS84** (*World Geodetic System* 1984). En aquest cas, les mateixes coordenades expressades en ETRS89 i en WGS84 difereixen només en alguns centímetres o decímetres.

En els **Sistemes d'Informació Geogràfica** (SIG), la manera més habitual d'indicar el tipus de coordenades i el seu dàtum és amb el codi EPSG, ideat per l'*European Petroleum Survey Group*. Així, el codi EPSG 25831 indica que les coordenades utilitzades són projectades i estan situades a la zona 31T. En canvi, el codi 4326 indica coordenades geogràfiques (latitud i longitud) i dàtum WGS84, el que empra el sistema satel·litari de navegació global GPS.

Altituds

L'altitud de les coordenades obtingudes amb els receptors SSNG fa referència a l'el·lipsoide de referència indicat en el sistema de coordenades de referència o dàtum (ETRS89 o WGS84). Si es desitja obtenir l'altitud respecte del nivell del mar cal que el receptor tingui la capacitat de poder carregar un geoide o bé l'usuari haurà de fer el càlcul fora del receptor. Un geoide és una superfície matemàtica que uneix el nivell mitjà de mars i oceans de tot el món per tal de poder referir l'altitud dels punts al nivell del mar. Les altituds calculades en base a un el·lipsoide de referència s'anomenen altituds el·lipsoidals (**h**) i les altituds referides a un geoide s'anomenen altituds ortomètriques (**H**). La relació entre ambdues és la següent:

$$H = h - N$$

On **N** és el que s'anomena ondulació del geoide o bé la diferència entre l'el·lipsoide i el geoide en aquelles coordenades.

Per tal de no cometre errors en altimetria, és important conèixer i configurar correctament els receptors SSNG per tal d'obtenir altituds ortomètriques.

Activitat finançada a través de l'Operació 01.02.01 de Transferència Tecnològica del Programa de desenvolupament rural de Catalunya 2014-2022

Generalitat de Catalunya
Departament d'Acció Climàtica, Alimentació i Agenda Rural

Fons Europeu Agrícola de Desenvolupament Rural:
Europa inverteix en les zones rurals

Necessitats d'exactitud en operacions agrícoles

En el moment de decidir la compra d'un receptor SSNG cal tenir ben present quina és l'exactitud necessària o, el que és el mateix, quin és l'error admissible en la determinació de les coordenades. Aquesta exactitud ve determinada per les operacions que es realitzaran. A la **Taula 1** s'indica quin és l'error admissible recomanat per a diferents operacions agrícoles.

Taula 1. Error admissible recomanat per a diferents operacions agrícoles.

Operació	Error admissible
Identificació de parcel·les	±20 m
Identificació de zones dins les parcel·les Mostreig del sòl i Mapes de collita	±1 m
Treball del sòl general Polvorització i Fertilització uniformes	±30 cm
Polvorització i fertilització de precisió Sembra / Sega	±10 cm
Guiatge de tractors Preparació de llits de sembra	±5 cm
Sembra/Trasplantament de precisió Guiatge d'eines inter i intra línia de cultiu	<2 cm

L'autoria d'aquest document és del Grup de Recerca en AgròTICa i Agricultura de Precisió i ha estat elaborat per Àlex Escolà amb el suport de Carla Román.

Aquesta obra està sota una llicència de Creative Commons Reconeixement-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)

Activitat finançada a través de l'Operació 01.02.01 de Transferència Tecnològica del Programa de desenvolupament rural de Catalunya 2014-2022

Generalitat de Catalunya
Departament d'Acció Climàtica, Alimentació i Agenda Rural

Fons Europeu Agrícola de Desenvolupament Rural:
Europa inverteix en les zones rurals