

Taller de geofísica: geomagnetisme

Curto, J.J., Vallès, M. i Blanch, E.
 Observatori de l'Ebre (Roquetes, Baix Ebre)
jjcurto@obsebre.es

El magnetisme i en particular el camp magnètic de la Terra s'ensenya als alumnes des de la primària fins al batxillerat en diferents moments i amb un aprofundiment progressiu. Aquest article pretén complementar l'estudi del camp magnètic al batxillerat amb una activitat pràctica sobre una tempesta magnètica enregistrada a l'Observatori de l'Ebre.

El treball consta d'una introducció als conceptes bàsics que permeten comprendre el camp geomagnètic, les tempestes magnètiques i l'enregistrament que se'n fa en un observatori magnètic. L'objectiu final serà donar una mesura de l'activitat magnètica. La resolució d'un qüestionari ajudarà a reforçar aquests conceptes i facilitarà la mesura dels índexs d'activitat magnètica.

1. CAMP MAGNÈTIC DE LA TERRA

Què és un camp magnètic?

Certs materials que podem trobar a la natura exerceixen forces d'atracció i repulsió que són de naturalesa magnètica; són els que coneixem com imants.

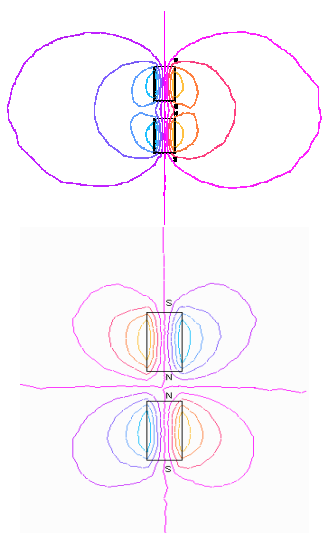


Figura 1. Línies de força de dos imants propers en pols oposats (a dalt) pols iguals (a sota).

Dos imants situats encarant els pols oposats s'atrauen i amb els pols iguals es repel·leixen. Això

és degut a la força del camp magnètic que el material del qual estan formats crea en el seu si (figura 1). També una càrrega elèctrica en moviment produeix un camp magnètic, adquirint totes les propietats d'un imant.

Com és el camp geomagnètic? Com es crea?

El camp magnètic que genera la Terra es pot comparar al camp magnètic creat per un dipol (imant) gegantí centrat al seu interior (figura 2) (Udías i Mezcuca, 1997). Es troba lleugerament inclinat respecte de l'eix de rotació terrestre (uns 11°).

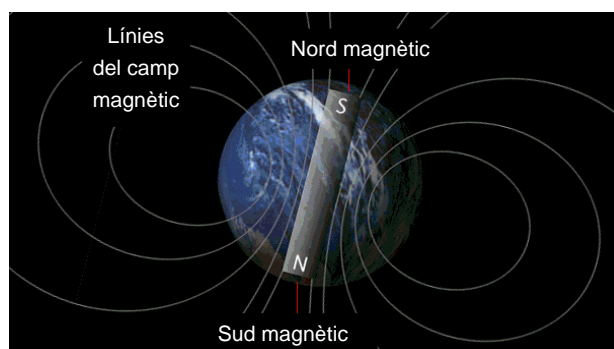


Figura 2. Diagrama del camp magnètic de la Terra mostrant-ne la polaritat.

La distribució espacial del camp magnètic de la Terra la podem comprovar amb una brúixola senzilla. La brúixola és una agulla magnetitzada que pot girar lliurement en un pla, de manera que si la situem en un pla horitzontal s'orientarà aproximadament en la direcció nord-sud de forma espontània. Sempre que no hi hagi altres fonts magnètiques properes, el moment de força que fa orientar l'agulla de la brúixola prové del camp geomagnètic.

Les línies que representen el camp magnètic són les línies de força del camp (figura 3). Es tracen de forma que siguin, en tots els punts, tangents al vector camp. Cal fixar-se que en algunes regions de la Terra properes als pols les línies són pràcticament perpendiculars a la superfície.

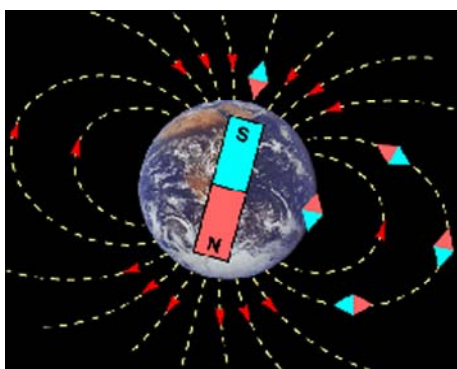


Figura 3. Línies de força del camp geomagnètic i orientació de la brúixola.

Aquest camp geomagnètic prové de l'interior de la Terra (De Miguel, 1980). El nucli extern és líquid i està compost majoritàriament de ferro i es troba en rotació respecte el nucli intern. Per tant, es comporta com un corrent elèctric en moviment i crea un camp magnètic conegut com a camp principal.

Propietats

El camp geomagnètic evita que totes les partícules que provenen del Sol amb el vent solar penetrin a l'atmosfera terrestre. Funciona com un "escut" que preserva la vida (Campbell, 2001).

Mesura del camp geomagnètic: aparells

El camp magnètic terrestre és molt variable, i es mesura contínuament amb *magnetòmetres* (figura 4), enregistrant-se tres components en un suport físic (paper fotogràfic) o virtual (disquet) que s'anomena magnetograma.

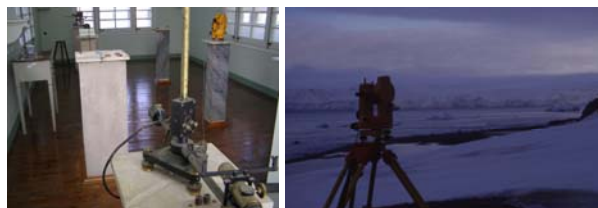


Figura 4. (Esquerra) Pavelló d'absolutes de l'Observatori de l'Ebre. (Dreta) magnetòmetre DIFLUX durant una observació a l'Antàrtida.

Els components del camp geomagnètic poden expressar-se en diferents sistemes de referència (figura 5):

- en coordenades cilíndriques H (mòdul del component en el pla horitzontal), D declinació (angle que forma aquest vector amb el nord geogràfic) i Z (component vertical) o bé
- en coordenades cartesianes X (positiu cap al nord geogràfic), Y (positiu cap a l'est geogràfic), Z (positiu cap al nadir, és a dir cap avall).

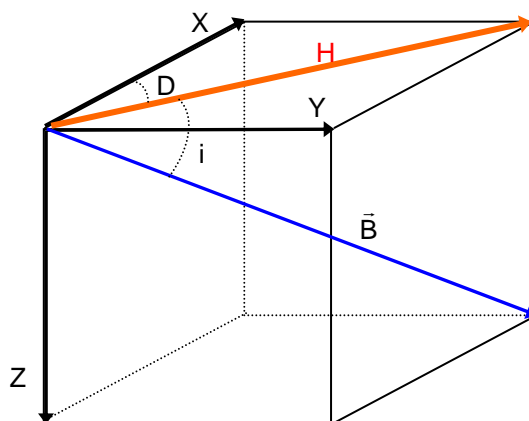


Figura 5. Components del camp magnètic.

Unitats de mesura

En el Sistema Internacional, la unitat que mesura el camp magnètic és el Tesla (T). El valor del camp magnètic de la Terra és molt petit en relació al valor d'un tesla, així que s'utilitza el "nanotesla" ($1 \text{ nT} = 1 \cdot 10^{-9} \text{ T}$).

Els valors habituals del camp geomagnètic són de l'ordre de 10^4 nT . Per exemple, un valor possible enregistrat a l'Observatori de l'Ebre podria ser 45000 nT.

2. TEMPESTES MAGNÈTIQUES

Calma magnètica Sq i tempestes magnètiques

El camp geomagnètic és resultat de diferents fonts. La més important és el camp principal, que prové de l'interior de la Terra; però el camp geomagnètic també depèn d'efectes externs, com ara de l'activitat solar.

- **Camp magnètic principal.** És el més important. És d'origen endogen i presenta variacions en el temps (variacions al llarg dels segles, anomenades seculars) i en l'espai (anomalies magnètiques geogràfiques). A l'Observatori de l'Ebre el mòdul del camp val, com hem dit abans uns 45000 nT.
- **Camp variable d'origen extern.** Presenta variacions de caràcter periòdic (diürnes, mensuals, anuals i undecenals) i de caràcter irregular (Bardasano i Elorrieta, 2000). A l'Observatori de l'Ebre la variació diürna en temps de calma és de l'ordre de 30 nT i en episodis de tempesta les variacions poden arribar a 350 nT.

En aquest treball aprendrem a mesurar les variacions que corresponen al períodes de tempesta magnètica a través dels índex K.

Durant les èpoques que l'activitat solar és baixa, el camp geomagnètic presenta poques variacions; és el que es coneix com a *calma magnètica*. En canvi, quan l'activitat solar és important, es produeixen les *tempestes geomagnètiques* degut a l'arribada de partícules del vent solar que, en augmentar en abundància i velocitat, fan variar bruscament el camp magnètic.

Normalment el Sol emet un flux continu de matèria compost de protons, electrons i nuclis d'heli (vent solar). Quan es pertorba el camp magnètic de la corona solar aquest flux augmenta injectant en el medi interplanetari una gran quantitat de partícules d'alta energia que arriben a la Terra al cap d'algunes hores o dies (Parkinson, 1983).

Com és una tempesta magnètica?

Una tempesta magnètica presenta tres fases (figura 6):

- **SSC (Sudden Storm Commencement, Començament Sobtat d'una Tempesta).** Es detecta com un augment brusc en la component H del camp geomagnètic degut a l'augment sobtat de la pressió dinàmica del vent solar.

- **Fase principal.** Es caracteritza per un descens continu durant unes hores del component H del camp i és degut al reforçament dels corrents d'anella (figura 7) que tenen forma toroïdal envoltant la Terra.
- **Fase de recuperació.** Es caracteritza per la recuperació del valor del camp magnètic. En general necessita alguns dies i ve causat per l'afebliment dels corrents d'anella degut a la recombinació dels ions que havien entrat durant la fase principal.

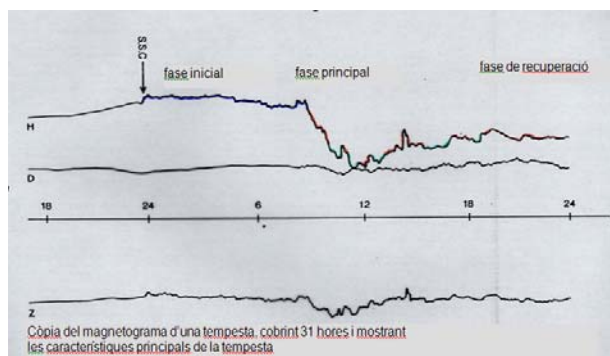


Figura 6. Fases d'una tempesta geomagnètica.

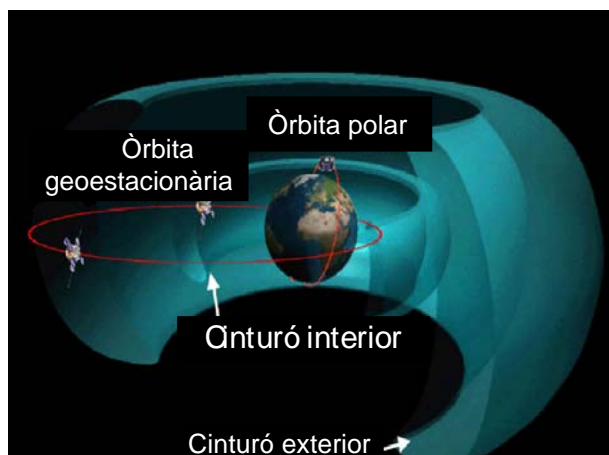


Figura 7. Corrents d'anella equatorials que envolten la Terra.

3. MESURAMENT DE LES TEMPESTES MAGNÈTIQUES

Com és mesura la "força" d'una tempesta magnètica?

Els índexs geomagnètics serveixen per a mesurar quantitativament la pertorbació magnètica.

La manera més obvia d'estudiar un fenomen és agafar la mesura de la variació de la seua intensitat sobre un cert interval. És el cas de l'índex *Dst*, que indica la força del corrent d'anella equatorial. Està basat en els magnetogrames dels observatoris de

latituds baixes. Representa la mesura dels valors de les variacions geomagnètiques produïdes per aquest corrent dins d'una hora, després de substraure'ls la variació regular diürna.

El més usat, però, és l'índex K, que té un sentit físic bastant significatiu. Representa bàsicament les perturbacions degudes als corrents polars que es desenvolupen durant les tempestes i dona molta informació sobre les fonts solars de l'activitat geomagnètica i és essencial en els models d'interacció Sol-Terra (Mayaud, 1980).

L'índex K va ser desenvolupat per Bartels per controlar objectivament les variacions magnètiques irregulars observades en un observatori donat durant un interval de tres hores de Temps Universal de Greenwich (TU), comptant a partir de les 0 hores. Es basa en l'amplitud de les variacions dels components horitzontals (H i D) després de substraure'ls la variació diürna regular del dia. Es van definir 10 classes, amb límits proporcionals a aquells definits per Bartels en l'Observatori de Niemegk, a Alemanya.

Donada la gran variabilitat de les variacions s'utilitza una escala quasi logarítmica:

Valor de K	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Rang (Ebre)	[0,3]	[3,7]	[7,14]	[14,28]	[28, 49]	[49, 84]	[84, 140]	[140, 231]	[231, 350]	>350
Rang (Niemegk)	[0,5]	[5,10]	[10,20]	[20,40]	[40, 70]	[70, 120]	[120, 200]	[200, 330]	[330, 500]	>500

Taula 1. Límits en nanotesles de les 10 classes per als índexs K a l'Observatori de l'Ebre i al de Niemegk.

Així si la variació del camp magnètic a Ebre és de 35 nT, el valor de l'índex K seria 4. Per observatoris de latitud més baixa que Niemegk -com és el cas d'Ebre- s'aplica un coeficient corrector per determinar els límits entre classes. Així l'índex K trihorari és un número enter, entre 0 i 9, corresponent a la major amplitud mesurada en els components horitzontals (H o D).

L'escalat (mesura) es fa amb una escala graduada (plantilla) que s'aplica sobre els magnetogrames de manera que les divisions mesurades donen directament el valor de l'índex dins d'un interval trihorari (figura 8).

Com a complement a la tasca docent i en l'ànim d'ajudar a fixar els conceptes exposats abans, trobareu un qüestionari a l'annex 1.

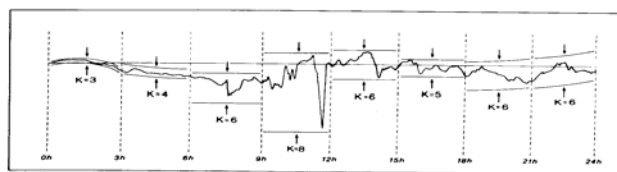


Figura 8. Exemple de mesura de l'índex K per un dia d'enregistrament.

4. INTERPRETACIÓ DE GRÀFIQUES

Material per fer la pràctica

Magnetogrames

Estan inclosos com imatge en l'annex 2 (Annex 2_2004-11-07A_A4.pdf, Annex 2_2004-11-07B_A4.pdf, ...). Per comoditat d'impressió s'ha dividit cada dia en dos trossos, A representa el primer i B el segon. Cal vigilar de no fer cap tipus de reducció o ampliació en les còpies ja que una variació en l'escala tant en la plantilla com en els magnetogrames produiria un error en els resultats.

Plantilla

Està inclosa com imatge en l'annex 3 (Annex 3_plantilla_Ks.pdf). Haurà de ser impresa sobre un acetat transparent per permetre la visió dels magnetogrames quan es faci la superposició durant la mesura.

Previs

Imprimir els magnetogrames des dies 7 i 8 de novembre de 2004 i la plantilla (còpia dels originals enregistrats a l'Observatori de l'Ebre) que trobareu als annexos. Per poder distingir bé una corba de l'altra, la impressora hauria de ser en color.

Exercici pràctic

- Observa els períodes de calma i d'activitat magnètica. Detecta quan comença la tempesta i les seues diferents fases.
- Mesura els índex trihoraris K d'activitat magnètica per als dos dies i completa la taula 2 contrastant-ho amb les mesures que va donar l'observador a l'Observatori de l'Ebre (que us facilitarà el professor en el seu moment).

Una manera adient de mesurar les variacions geomagnètiques, dins del grup trihorari a considerar, és: superposant la plantilla transparent sobre el gràfic enrasar la línia de zero en el punt de mínima i buscar on cau el punt de màxima. El nombre se calcula buscant la línia d'escala immediata inferior. S'ha de

fer per a la H (gràfica roja) i per a la D (gràfica blava) i triar el màxim valor dels dos. Un exemple de com s'ha de fer la mesura el trobareu a la figura 9.

	0 - 3	3 - 6	6 - 9	9 - 12	12-15	15-18	18-21	21-24
7_11_04								
8_11_04								

Taula 2. Índex K's dels dies 7 i 8 Novembre 2004, a completar per l'alumne.

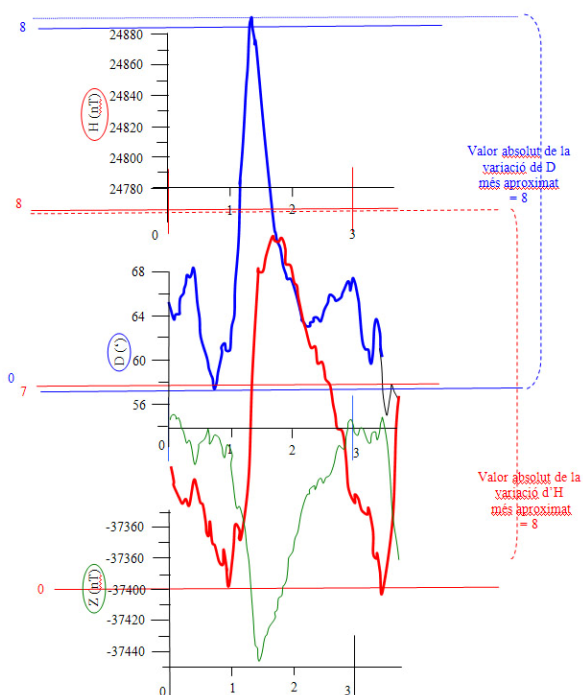


Figura 9. Exemple d'ajust de la plantilla sobre els gràfics per fer la mesura de l'índex K en l'interval trihorari [0,3] del dia 08 de Novembre de 2004 (Annex 2_2004_11_08A_A4.pdf). El desplaçament de les corbes respecte als seus eixos ve donat per la necessitat d'encabir la variació diària dins del registre gràfic. El valor més gran entre les dues variacions és 8; a l'índex K li donaríem valor 8.

5. REFERÈNCIES

Bardasano, J.L. i Elorrieta, J.I. (2000). *Bioelectromagnetismo. Ciencia y salud*, Mc Graw Hill.
 Campbell, W. (2001). *Earth magnetism, a guided tour through magnetic fields*, Harcourt-Academic Press.
 De Miguel, L. (1980). *Geomagnetismo*, pub. IGN.
 Mayaud, P.N. (1980). *Derivation, meaning and use of geomagnetic indices*, AGU.
 Parkinson, W.D. (1983). *Introduction to geomagnetism*, Scottish Academic Press.
 Udías, A i Mezcua, J. (1997). *Fundamentos de geofísica*, Alianza Editorial.

ANNEXOS

A la secció **Suplement** d'aquest mateix número de **Ciències** us podreu descarregar els fitxers corresponents a:

- 1. Qüestionari d'opcions múltiples com a avaluació del tema.
Annex_1_Qüestionari.pdf
- 2. Gràfiques de Z, D i H en funció del temps corresponents al 7 de novembre del 2004
Annex_2_2004-11-07A_A4.pdf
Annex_2_2004-11-07B_A4.pdf
- 2. Gràfiques de Z, D i H en funció del temps corresponents al 8 de novembre del 2004
Annex_2_2004-11-08A_A4.pdf
Annex_2_2004-11-08B_A4.pdf
- 3. Plantilla per a elaborar gràfiques Ks
Annex_3_plantilla_Ks.pdf
- 4. Respostes al qüestionari i a la taula 2
Annex_4_solucions.pdf