

Índice

- 1 Les ones de ràdio
- 2 Propagació: les ones i la matèria
- 3 Tipus de propagació
- 4 Comentaris finals

Índex

- 1** Les ones de ràdio
- 2 Propagació: les ones i la matèria
- 3 Tipus de propagació
- 4 Comentaris finals

Les ones de ràdio són ones electromagnètiques

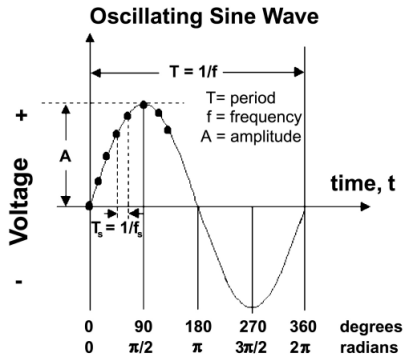
- Són variacions simultànies (en l'espai i en el temps) del camp elèctric i del camp magnètic.
- Aquestes variacions estan lligades entre si per les *equacions de Maxwell*.
- Viatgen **pel buit** (no necessiten matèria que les suporti) a la velocitat de la llum, $c = 299\,792\,458$ m/s.
- Són produïdes per corrents elèctrics variables en l'antena emissora.
- Indueixen corrents elèctrics variables en l'antena receptora.

Les ones de ràdio són ones electromagnètiques

Es poden descompondre en ones *sinusoidals* amb una *amplitud* A , una *freqüència* f i una *fase* ϕ .

Per exemple, en un punt determinat de l'espai, el potencial elèctric (voltatge) varia amb el temps així:

$$V(t) = A \sin(2\pi ft + \phi).$$



(en l'exemple, $\phi = 0$)

[Imatge de Wikipedia]

Les ones en el buit

- Les ones electromagnètiques en el buit **es propaguen en línia recta.**
- Res les atura (però s'atenuen amb la distància).
- L'espai interestel·lar s'assembla molt al buit:
 - Rebem la llum d'estrelles extremament llunyanes.
 - La NASA es comunica encara amb la Voyager 1 a 22.000.000.000 km en 2100, 2300 i 8400 MHz.

Índex

- 1 Les ones de ràdio
- 2 Propagació: les ones i la matèria**
- 3 Tipus de propagació
- 4 Comentaris finals

Propagació: les ones i la matèria

- Els fenòmens que anomenem *propagació* es deuen a la interacció de les ones electromagnètiques amb **la matèria**.
- Per tant, no és *màgia*: és *física*!
- La física d'algunes modalitats de propagació és molt complexa i no s'entén completament.
- Això fa que sovint siga difícil predir quan succeirà una determinada modalitat de propagació.

Propagació: les ones i la matèria: exemple 1

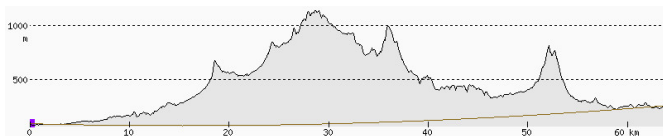
- “No et puc copiar en 70 cm perquè estic apantallat”:
 - un tros gran de matèria (edifici, muntanya) absorbeix o reflecteix en una altra direcció l’ona de 433 MHz.

Propagació: les ones i la matèria: exemple 2

- “Hui no he pogut fer un QSO amb Xile en 20 m”:
 - la capa de matèria ionitzada que havia de desviar l’ona de ràdio de 14 MHz (diverses vegades) entre EA i CE en la ionosfera per a salvar la curvatura de la terra no ho fa bé.

Propagació: les ones i la matèria: exemple 3

- “Com és possible que Felip (EC5AGC, IM98tv) i jo (EA5IYL, IM98ri) ens sentim sempre bé en 2 m si la Serra dels Plans (1300 m) és just al mig?”:
 - D'alguna manera, precisament l'ona, en lloc de viatjar en línia recta, es desvia cap avall després de fregar un tros gran de matèria sòlida: la cresta de Plans.



[imatge calculada amb heywhatsthat.com]

Propagació: les ones i la matèria: exemple 4

- “He fet un QSO en 2 m amb Mallorca”:
 - encara que Mallorca és clarament darrere de l'horitzó, l'aire (matèria gasosa) de la troposfera està distribuït de tal manera que ha corbat l'ona cap a terra i ha permès salvar l'horitzó.

Propagació: les ones i la matèria: exemple 5

- “EA5IHH i jo (EA5IYL) ens trobem a uns 3 km de distància en la ciutat d’Alacant. Ens copiem perfectament en algunes freqüències de 2 metres i en unes altres no”
 - Això es deu a les característiques del terreny i els obstacles (edificis, etc.) entre EA5IHH i jo.

Propagació: les ones i la matèria

La matèria pot

- absorbir (i reemetre en totes les direccions)
- reflectir
- refractar

les ones de ràdio.

La complexitat de la propagació és una de les coses que fan interessant la radioafició.

Índex

- 1 Les ones de ràdio
- 2 Propagació: les ones i la matèria
- 3 Tipus de propagació**
- 4 Comentaris finals

Tipus de propagació

[No podem veure'ls tots, ni amb massa detall]

- A la vista
- Efecte del tall de ganivet
- Propagació multicamí
- Ona de terra
- Troposfèrica
- Ionosfèrica
 - Capa F
 - Capa E (esporàdica)
 - Capa D
- Dispersió meteòrica
- Terra–Lluna–Terra

Propagació a la vista

- Emissor i receptor *es veuen*, en línia recta
- La terra és corba: límits, però sorprenents.

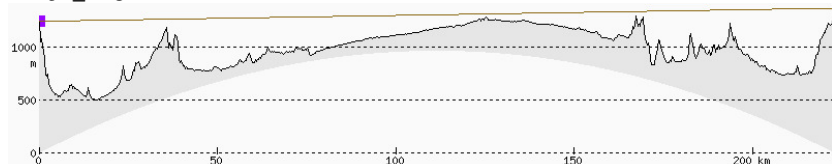
$$d \leq \sqrt{(2R_{\text{terra}} + h_1) \times h_1} + \sqrt{(2R_{\text{terra}} + h_2) \times h_2}$$

Maigmo (SOTA EA5/AT-008): $h_1 = 1296$ m;

Colativí (SOTA EA7/AL-014): $h_2 = 1386$ m;

$R_{\text{terra}} = 6\,371\,000$ m

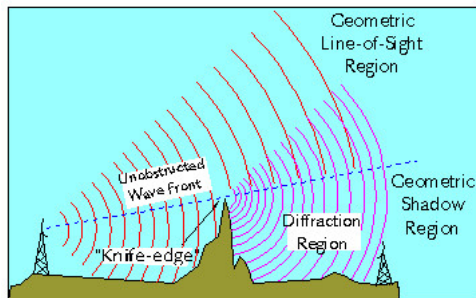
$\Rightarrow d \leq 261\,411$ m



[Imatge de <https://heywhatsthat.com>.]

Efecte del tall de ganivet

- En anglés, *knife-edge effect*.
- Obstacles de grandària similar a la longitud d'ona λ en la cresta d'una muntanya *difracten* (reemeten) el senyal.
- En VHF i UHF:
 $\lambda \approx 1 \text{ m}$
- Recepció en el que seria una zona d'ombra (exemple 3)

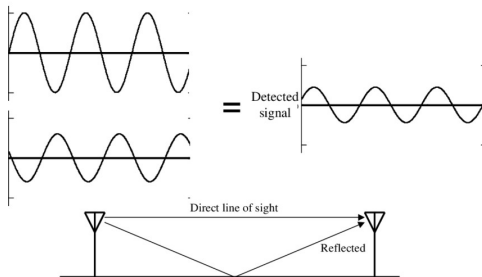


knife-edge effect

[Imatge de G0ISW, <https://www.qsl.net/g0isw/knifeedgeeffect.gif>.]

Propagació multicamí

- En anglés *multipath propagation*.
- El senyal es reflecteix (per exemple) i ens arriba per dos (o més) camins de longitud diferent.
- Si arriben *en fase*, es reforcen; si arriben *en contrafase*, s'anul·len.



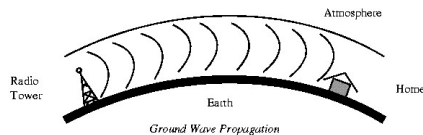
[Imatge de Stine, J.A. & Portigal, David. (2004). Spectrum 101: An Introduction to Spectrum Management. 220.]

Propagació multicamí

- Podem escoltar-nos bé en una freqüència i molt pitjor uns kHz més amunt o més avall (exemple 5):
 - Per a la mateixa configuració de camins, el desfasament depén de la freqüència
- A vegades dóna lloc a distorsió d'àudio en FM en VHF i UHF.
- La major part dels contactes en entorns urbans en VHF i UHF són el resultat de múltiples camins i de l'efecte del tall de ganivet en edificis.

Ona de terra

- Afecta ones llargues (MF, 300–3000 kHz; LF, 30–300 kHz; VLF, 3–30 kHz, i freqüències inferiors).
- Propagació similar a aquest efecte del tall de ganivet: difracció sobre la superfície de la terra.
 - El *tall* és més rom (arrodonit): el *obstacle* és més gran.
- Polarització vertical.
- Conductivitat: millor sobre l'aigua que sobre terra.

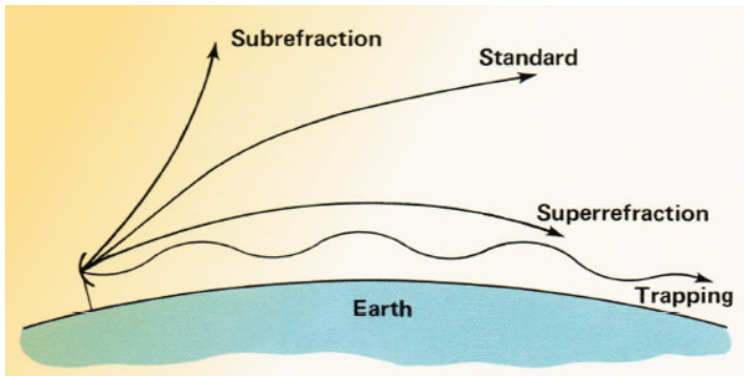


[Imatge d'Eugene Blanchard (2007), <https://www.telecomworld101.com/intro2dcrev2/>]

Propagació troposfèrica

- Les ones interaccionen amb l'aire en les capes baixes (<15 km) de l'atmosfera: la *troposfera*.
- L'índex de refracció de l'aire depèn de la freqüència i de la temperatura i de la humitat de l'aire.
- Si es produeixen capes estratificades de diferent temperatura o humitat (→ diferent índex de refracció), les ones es corben.
- Si es corben cap avall (superrefracció), podem *salvar l'horitzó* i arribar on no arriba la vista (exemple 3).
- Si es corben cap amunt (subrefracció), podem no arribar-hi.

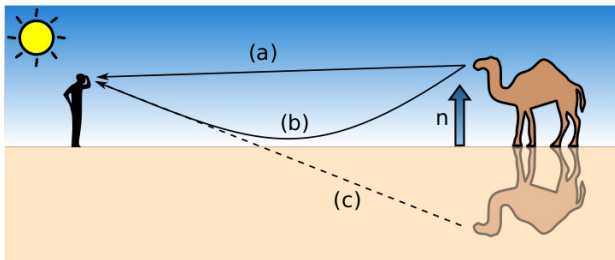
Propagació troposfèrica



[Imatge de <https://vu2nsb.com/> (excel·lent secció sobre propagació).]

Propagació troposfèrica

- Quan conduïm a l'estiu veiem “tolls” en la carretera calenta al lluny.
- Els exploradors assedegats veien aigua en el desert.
- La temperatura de l'aire disminueix amb l'altura: subrefracció.



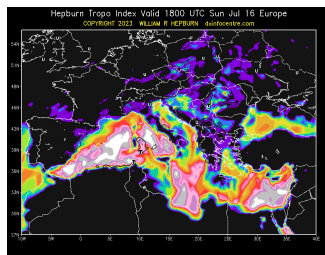
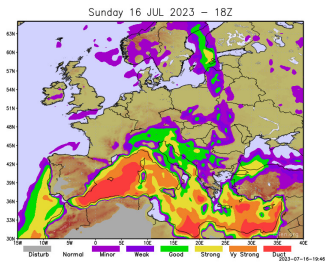
Propagació troposfèrica

- Quan la temperatura augmenta amb l'altura, la refracció és a l'inrevés: l'ona es corba cap avall.
- En determinades situacions d'estratificació de les capes d'aire, pot quedar *atrapada* entre dues altures.
- El 15 de juliol de 2023 s'arribava d'Alacant i de Sardenya al repetidor IT9ZYI (430,100 MHz) prop de Palerm (Sicília): 1200 km.

Propagació troposfèrica

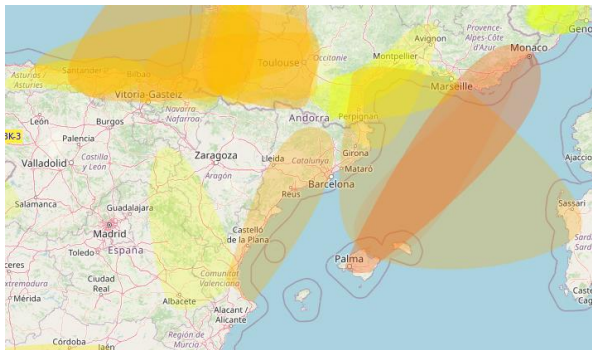
Usant les prediccions meteororològiques es pot intentar predir la propagació troposfèrica:

- F5LEN: <https://tropo.f51en.org/>
- W. Hepburn:
https://dxinfocentre.com/tropo_eur.html



Propagació troposfèrica

La xarxa APRS (*automatic packet reporting system*) en 144,800 MHz dóna informació interessant sobre la propagació en VHF.

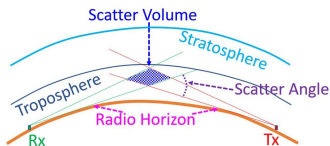


[Imatge de <http://vhf.dxview.org>]

Propagació troposfèrica

Existeix també la *dispersió troposfèrica* (*troposcatter*):

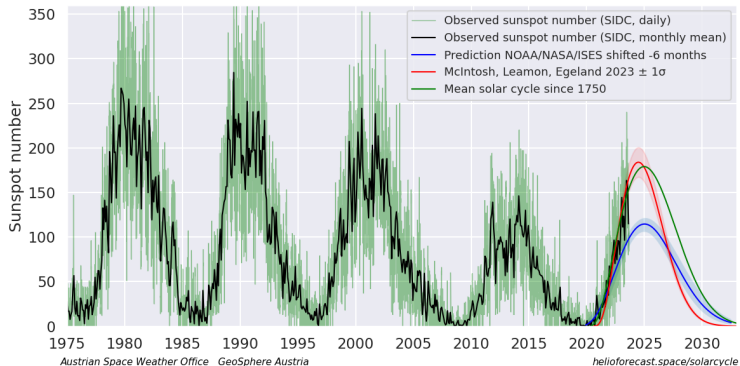
- UHF (300 MHz–3 GHz) i EHF (3 GHz–30 GHz)
- Usos militars i civils d'ençà dels anys cinquanta.
- Una petita fracció dels senyals pot ser dispersada aleatòriament.
- Turbulències → irregularitats en la densitat de l'aire → dispersió.
- Es pot usar el mode Q65 de WSJT-X (v. \geq 2.4.0).
- TX potents, RX sensibles, i antenes molt direccionals.



Propagació ionosfèrica

- Per efecte (fonamentalment) de la radiació solar, els àtoms de les capes altes (≈ 100 km) de l'atmosfera s'ionitzen (perden electrons, que queden solts).
- El *plasma* resultant actua de manera similar a una làmina de metall: reflecteix les ones de ràdio.
- La reflexió depèn de la freqüència i de l'angle.
- La formació d'aquests plasmes depèn fortament (exemple 2) de l'activitat solar (cicles d'11 anys). Alguns paràmetres:
 - Índex de flux solar (SFI, radiació rebuda en 2,8 GHz).
 - Nombre de taques solars (SSN): les vores emeten radiació UV ionitzant.

Propagació ionosfèrica



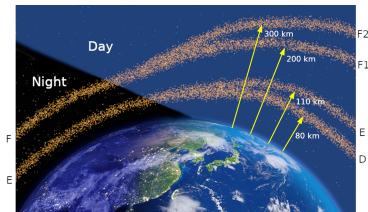
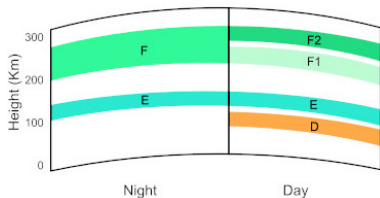
[Imatge de <https://helioforecast.space/solarcycle>]

El SFI es correlaciona amb el SSN.

Propagació ionosfèrica

Fonamentalment hi ha tres *capes*:

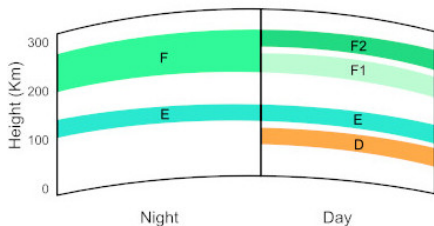
- La capa D (molt feble de nit, absorbeix/reflecteix $\lesssim 10$ MHz).
- La capa E (absorbeix/reflecteix $\lesssim 10$ MHz però a vegades $\gtrsim 10$ MHz.)
- La capa F (de dia i de nit F₁ activa)



[Imatges de Wikipedia]

Propagació ionosfèrica: La capa D

- 50–90 km.
- De dia absorbeix i reflecteix $\lesssim 10$ MHz
- Pràcticament desapareix de nit (per això sentim emissores distants en ona mitjana, reflectides en la capa F).



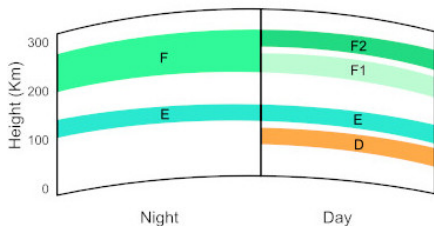
[Imatge de Wikipedia]

Propagació: Hi ha esporàdica E?

- Hi ha sistemes que avisen de la presència de propagació deguda a la capa esporàdica E:
 - Per exemple, el DX Robot (<http://www.gooddx.net/>) (pot enviar correu electrònic).
- Però el que fan és observar els QSO en *clústers* i els senyals detectats per receptors connectats a Internet.
- Per a estar segurs: llançar ràfegues de CQ (per exemple, en FT8) i veure si algú les rep en <https://pskreporter.info/>.

Propagació ionosfèrica: La capa F

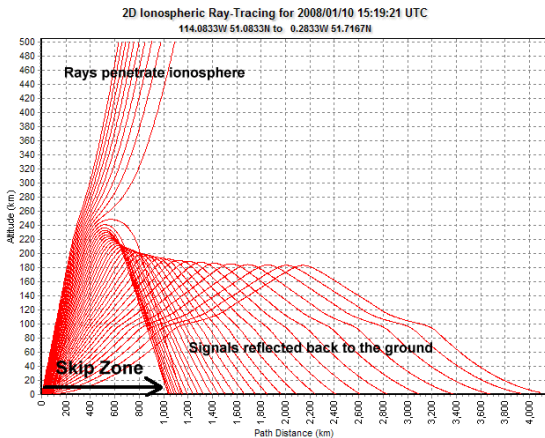
- 150–500 km;
- F_1 (part baixa) es fon amb F_2 de nit;
- (quasi) sempre útil en HF, molt usada en radiodifusió;
- Normalment absorbeix i reflecteix senyals fins a 15 MHz.



[Imatge de Wikipedia.]

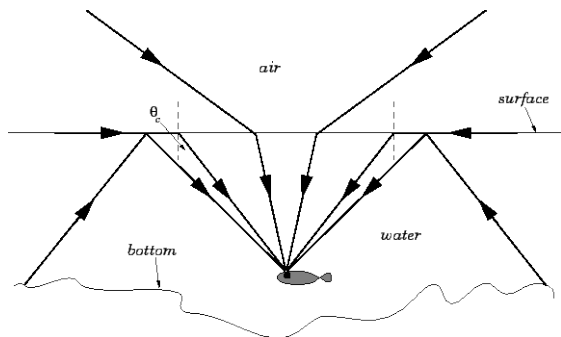
Propagació ionosfèrica: la zona de silenci

Zona de silenci = *skip zone*



Propagació ionosfèrica: la zona de silenci

És com quan un peix mira cap amunt de dins de l'aigua estant.



[Imatge de <https://farside.ph.utexas.edu/teaching/316/lectures/lectures.html>]

Propagació ionosfèrica: la zona de silenci

L'angle crític depén:

- de la freqüència
- de les condicions de la ionosfera

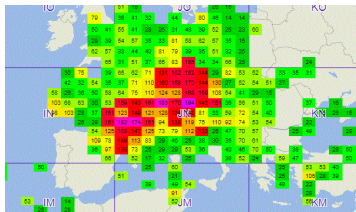
L'amplada de la zona de silenci depén:

- de l'angle crític
- de l'altura efectiva de la capa reflectora

Propagació ionosfèrica: freqüència màxima útil

Freqüència màxima útil (MUF): freqüència més alta per a arribar de *A* a *B* per reflexió ionosfèrica, independentment de la potència.

Hi ha webs que estimen mapes de MUF (marquen la MUF en el punt mitjà de *A* a *B*): p. ex. dxmaps.com d'EA6VQ.

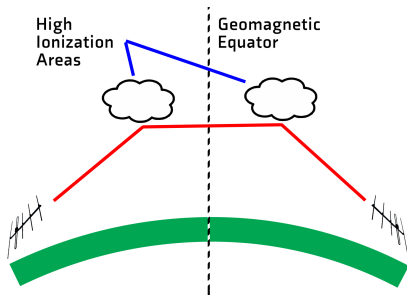


[imatge de

<https://www.dh8bqa.de/best-vhf-dx-day-ever/>]

Propagació ionosfèrica: propagació transequatorial

- En anglés TEP.
- La capa F2 es densifica a N i S de l'equador i a gran altura.
- Contactes N-S:
 - en VHF baixa (50 MHz)
 - 5000–8000 km
 - EA ↔ ZS, V51, LU, PY...
- Irregular, de vesprada o a boqueta de nit, equinoccis.



[Imatge de <https://k5nd.net>]

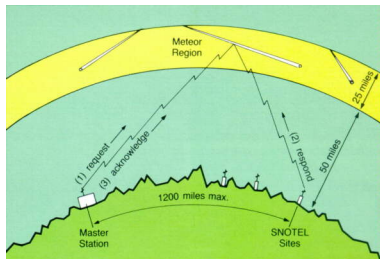
Propagació ionosfèrica: el que s'escapa

La radiofreqüència que no és absorbida o reflectida per les capes D, E o F escapa a l'espai exterior i ens permet:

- Usar els satèl·lits de radioaficionat:
 - Amb freqüències a partir dels 15 MHz.
 - (típicament a partir dels 144 MHz)
- Fer QSO per dispersió meteòrica:
 - Típicament en 50, 70 o 144 MHz.
- Fer QSO terra–lluna–terra.

Dispersió meteòrica ('meteor scatter')

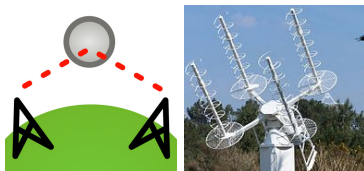
- Els deixants ionitzats dels meteors (bòlids) reflecteixen les ones quan entren en l'atmosfera.
- Rutes molt breus de comunicació ($\lesssim 1$ s, mentre es dispersa el deixant).
- Sempre disponibles, però molt potents en temporades de *pluja de meteors*.



Dispersió meteòrica

- Ús civil (els EUA): SNOTEL (xarxa de monitoratge de nevades).
- Usos militars (OTAN): COMET, AMBCS.
- El CNAF de 2021 (nota UN-131) assigna la banda de 39,0 a 39,2 MHz (recomanació ERC (00)04 de la CEPT).
- Abast fins a 2.000 km (similar a capa E)
- De 10 MHz a 1 GHz (però < sobretot en 2, 4 i 6 m)
- Modes digitals de missatges ràpids curts repetits: MSK441 i FSK144 (programari: WSJT-X, MSHV)
 - Anteriorment, telegrafia a gran velocitat.
- Són com *petits satèl·lits naturals* però fugaços.

Terra–lluna–terra



[Imatges de Wikipedia]

- També anomenat *rebot lunar*.
- Reflexió en la superfície de la lluna.
- Permet arribar pràcticament a l'altre costat de la terra.
- Bandes de 13 cm a 6 m.
- Antenes direccionals i grans potències.
- Modes: CW, JT65 (WSJT-X), fins i tot SSB.
- Retard de 2,7 s.

Índex

- 1 Les ones de ràdio
- 2 Propagació: les ones i la matèria
- 3 Tipus de propagació
- 4 Comentarís finals**

Comentarís finals

- Les ones de ràdio es propaguen en el buit.
- Però interaccionen amb la matèria:
 - muntanyes, edificis, l'atmosfera, cossos celestes...
s'hi reflecteixen, s'hi refracten, s'hi difracten →
propagació.
- La propagació no és *màgia* però a vegades no es pot predir fàcilment.
- La propagació i els seus *capritxos* fan interessant la radioafició.

Aquestes diapositives són lliures

El text d'aquest treball es pot distribuir segons els termes de

- la llicència *Creative Commons Reconeixement-CompartirIgual 4.0 Internacional* (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.ca>),



- o la Llicència General Pública v. 3.0 de GNU: (<https://www.gnu.org/licenses/gpl-3.0.ca.html>).



Llicència dual! Escriviu-me si voleu el codi font a \LaTeX :
`mikel.forcada@gmail.com`

Les diapositives es poden descarregar de

<https://t.ly/8eJym>

