



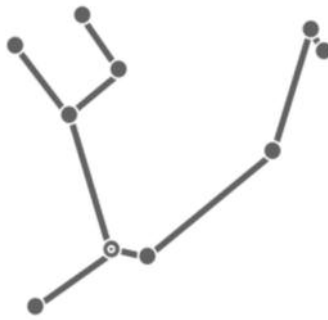
# Tot Andorra és un arbre

Alan WARD i KOECK

M'agradaria parlar-vos d'un tipus d'objecte matemàtic compost per nodes i els camins entre aquests nodes. Per fer-vos-en una idea i simplificant-les coses d'alguna manera, considereu-los com un objecte geomètric que pertany al pla. Si només ens quedem amb aquesta definició inicial, de fet estariem parlant del tipus d'objecte conegut com un graf.



Un graf constituït per nodes i els camins que els uneixen. Aquest graf no és un arbre, ja que hi ha més d'un camí possible entre algunes parelles de nodes



Un arbre obtingut a partir del graf anterior. S'ha escollit un node concret com a arrel, tot i que el node indicat no és l'única possibilitat

Si, a més, hi afegim un parell de propietats més obtindrem un arbre:

- En un arbre, ha d'haver-hi tan sols un únic camí possible entre dos nodes qualsevol.
- Un dels nodes de l'arbre és un node privilegiat, i li donarem el nom d'arrel de l'arbre.

En altres paraules, un arbre (matemàtic) no és res més que un graf amb unes propietats escollides. En aquesta petita aportació, m'agradaria explicar-vos de quina manera aquests objectes més aviat abstractes són del tot pertinents quan parlem dels boscos ben reals d'Andorra i de l'ordenació del territori en general.

### L'arbre dels rius

És bastant fàcil veure que el territori andorrà té, naturalment, les propietats d'un arbre. Si considerem, per exemple, l'estructura hidrogràfica de les Valls, podem observar que la majoria dels pobles es troben a prop de rius. De fet, podem anar més lluny i notar que alguns pobles particulars es troben, justament, a prop de la junció entre dos rius. Així, trobem Andorra la Vella al mesclant dels Valires del Nord i d'Orient, Escaldes a l'aiguabarreig del Valira d'Orient amb el Madriu, Canillo és allà on el riu de Montaup entra al Valira, i podríem continuar així per molts altres nuclis tradicionals de població. Així, si considerem els pobles com els nodes del nostre arbre i els rius com els camins que els connecten, l'estructura hidrogràfica del país ens dibuixa un arbre magnífic amb una arrel que es trobaria de manera natural a la frontera del riu Runer.



Mapa hidrogràfic d'Andorra, que constitueix un arbre dirigit. Bé, en realitat constitueix un bosc de dos arbres

Malauradament, també ens trobem el Pas de la Casa, que es troba a l'altre vessant de la carena del Pirineu, ja que forma part de la conca del riu Arieja. Tenim, doncs, un arbre hidrogràfic a la conca del Valira i un altre al vessant nord. Això ens mostra la mentida piadosa del meu títol. En realitat, la correcció matemàtica m'obliga a dir que tot Andorra és un bosc

compost per dos arbres disjunts —però això ja no funcionaria tan bé com a títol de la meua intervenció. Espero que em perdoneu aquesta petita imprecisió.

### El no-arbre de les carreteres

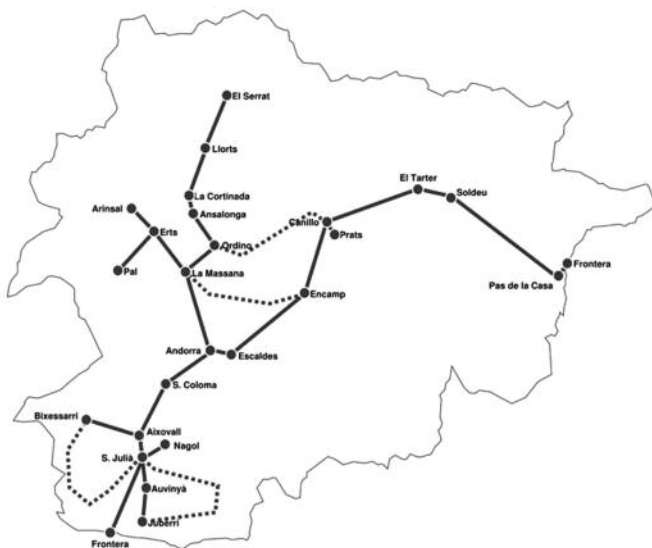
Anant una mica més lluny, podem gairebé sobreposar les primeres carreteres d'Andorra al traçat dels rius, cosa que és comprensible si tenim en compte que sovint els traçats més fàcils per a les vies entre dues poblacions es troben en els fons de vall, paral·lels al curs dels rius. Tot i això, aquesta vegada hi ha petites diferències, ja que en principi podem circular en qualsevol dels dos sentits per una carretera, mentre que l'aigua dels rius sol anar en l'únic sentit de la baixada. Hi observem la traducció material dels conceptes matemàtics de graf dirigit —el dels rius— o no dirigit —el de les carreteres.

Per a l'arbre de les carreteres, tenim més opcions raonables per escollir un dels nodes com a arrel. Podríem prendre com a arrel la frontera del riu Runer si ho volguéssim fer així, i aleshores l'arbre resultant ens indicaria el camí possible cap a qualsevol altre punt de la nostra geografia des d'aquest lloc. Alternativament, podríem escollir com a arrel Andorra la Vella, i aleshores els itineraris cap a altres nodes serien a partir d'aquesta població. Si, a més, coneixem la llargada de cada camí individual, podríem anar-les sumant i obtindríem la llargada del recorregut en cada cas. L'arrel més útil, amb aquesta concepció, seria aquell node que permet reduir al màxim la suma de les llargades de tots els recorreguts. De tot això, deduïm que la situació natural del quilòmetre zero a Andorra seria, evidentment, ni Andorra ni Escaldes, sinó un punt situat aproximadament a mig camí entre Escaldes i Encamp. L'antic Càmping Europa podria ser una bona opció.



Mapa de les primeres carreteres d'Andorra, que correspondria aproximadament a la situació a final dels anys 1960. Constitueix un arbre no dirigit, amb la seva arrel a Andorra

Va ser només en una segona etapa de construcció de carreteres que es van obrir vies secundàries com la carretera del coll d'Ordino o els diversos túnels que han anat aflorant arreu del país, cosa que ha fet perdre la puresa matemàtica de la forma arborescent de la xarxa de carreteres i l'ha convertit en un simple graf connex. Això té algunes conseqüències pràctiques, com ara la possibilitat de traçar circuits tancats que passen per diversos nuclis, però sense repetir el pas per cap nucli concret. Així, aquestes connexions suplementàries de sistema de carreteres permeten celebrar esdeveniments esportius com per exemple curses amb bicicleta o marxes cicloturistes.



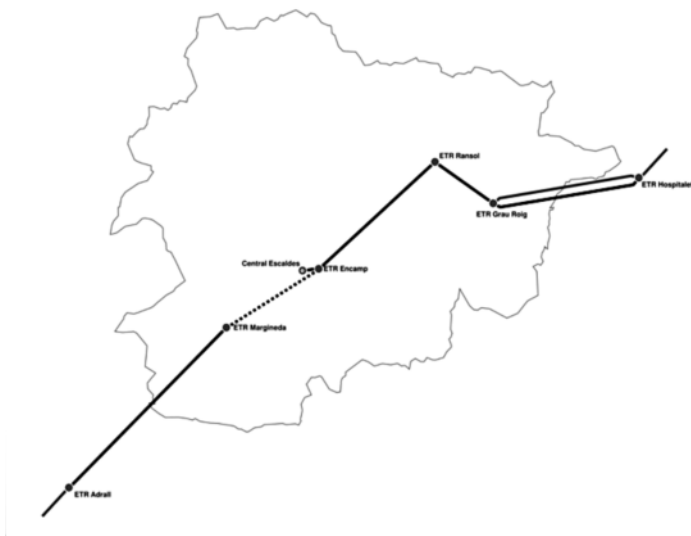
Mapa més actual de les carreteres d'Andorra. S'observa que ja no és un arbre, sinó un graf que presenta circuits tancats a causa de l'afegit de noves carreteres (en traç discontinu)

Tot i això, les característiques del graf de carreteres actual són tals que és impossible efectuar un circuit eulerià, en què els ciclistes visitarien cada camí del graf una única vegada. Ens podem imaginar que aquest fet sens dubte ha provocat alguna frustració als organitzadors de la Volta dels Ports, ja que els va obligar a fer transitar els ciclistes diverses vegades per algun dels camins. Això va ser el cas quan la Volta ha de visitar algun node terminal; és a dir, un node al qual es pot accedir a través d'un únic camí. Seria el cas d'alguns dels ports del nostre país, com ara els Cortals d'Encamp o la Coma d'Arcalís. Per contra, altres ports com el coll d'Ordino o el coll de la Gallina no són nodes terminals. Són més fàcils de visitar per una volta ciclista ja que s'hi pot accedir a través d'un dels camins que hi porten i tornar a marxar per un altre.

## Altres maneres d'organitzar la connectivitat

Més enllà de serveis essencials per a la vida moderna, com són l'aigua o els transports, podríem considerar la distribució elèctrica. En molts sentits, es pot considerar com una estructura d'arbre, en què el tronc i les branques principals són constituïts per les línies de molt alta tensió (més de 110 kV). A partir d'aquesta estructura central, ens trobem ramificacions —en terminologia matemàtica, subarbres—, que són les línies de mitjana tensió (entre 6 i 25 kV). Finalment, a partir de cada estació transformadora, poden sortir altres subarbres encara més petits que lliuren l'electricitat a les cases particulars amb una baixa tensió (380 a 400 V). És així en la majoria dels països i constitueix una il·lustració molt maca del caràcter recursiu dels arbres: l'arbre gran (alta tensió) té una estructura molt semblant a la dels arbres mitjans, i això es torna a trobar en els arbres petits. Podem parlar de la similitud de les estructures a diferents escales.

Si ara ens representem l'estructura de la xarxa de distribució elèctrica d'alta tensió a Andorra, ens trobem la situació següent:



Estructura de la xarxa de distribució d'alta tensió a Andorra. En verd, trobem les línies aèries de 220 kV. En blau, són les línies aèries de 110 a 130 kV. El traç discontinu correspon a la línia d'alta tensió soterrada

A primera vista, la seva estructura més aviat filiforme ens mostra que no estem parlant d'un arbre ben ample, com ho eren els altres exemples que hem vist fins ara. Això té un clar inconvenient, de no abastar gaire bé alguns sectors determinats del territori de les Valls. Molt concretament, tota la vall de la Massana i Ordino es troben del tot allunyats de la xarxa d'alta tensió. Això no deixa de ser un inconvenient, tenint en compte els grans consumidors

d'electricitat que són les pistes d'esquí d'aquestes dues parròquies. Vist així, el projecte recent d'ampliar la xarxa d'alta tensió a través de la construcció d'una ETR a la Gonarda s'entén com una voluntat de fer més ampli el ventall de terreny que cobreix l'arbre: es transforma una estructura bàsicament lineal en un arbre molt semblant a aquell dels rius o al de les carreteres. Això és exactament com si un arbre biològic fes créixer un ram principal en una direcció en què notava molta presència de llum solar per aprofitar millor el buit que li permet estendre's en aquella direcció.

Això no té només les conseqüències negatives que hom pot suposar a la construcció d'un nou equipament elèctric. En realitat, les línies de molt alta tensió poden suportar càrregues més grans que dues o més línies de mitjana tensió. Vist així, reemplaçar diversos d'aquests subarbres més petits per una sola branca de més importància es pot veure com una manera de racionalitzar l'estructura tot emprant menys recursos per abastar millor una àrea més gran. Si construïm un nombre menor de línies elèctriques, tant l'operadora en surt beneficiada (ha de pagar menys quilòmetres de cable) com també el bosc (cal talar menys metres lineals de tallafoc).

En realitat, els arbres biològics no ho fan pas d'una manera diferent que l'operador elèctric. L'objectiu principal dels arbres reals es pot veure com el d'augmentar els recursos disponibles alhora que es minimitzen les despeses energètiques necessàries per aconseguir-ho. Per fer això, la forma d'arbre matemàtic els serveix molt bé, ja que una de les seves propietats és reduir molt la llargada necessària del conjunt dels camins i augmentar el nombre de nodes que s'hi poden col·locar. Per a l'arbre, la reducció de la llargada dels camins seria la possibilitat de minimitzar la inversió en síntesi de cel·lulosa i lignina per formar menys branques (operació cara en energia i en recursos com l'aigua). D'altra banda, augmentar el nombre de nodes terminals seria augmentar el nombre de fulles i per a la mateixa ocasió millorar la captació d'energia solar per poder fer fotosíntesi.

Ara bé, aquesta estructura tan eficient no sempre satisfà les necessitats d'una distribució elèctrica, que té altres condicionants a més de la simple eficiència. Ho podem veure en la línia entre Grau Roig i l'Ospitalet, que és desdoblada. Sens dubte, aquest estat respon a una evolució històrica, però també ens demostra com —a vegades— una certa redundància pot ser desitjable en els processos tecnològics. Si algun cop caigués una línia, sempre disposaríem de l'altra. El mateix raonament es pot aplicar molt fàcilment a situacions com és la circulació en carretera. Els qui fem regularment el trajecte entre Sant Julià i el centre d'Andorra estem acostumats a considerar el pas per la recta de Santa Coloma i la carretera de l'Obac com a dos camins redundants. Si en un moment donat hi ha molta circulació o bé obres en curs en un dels dos itineraris, prendrem l'altra carretera per sortir del pas. La teoria és que seria molt difícil que totes dues opcions quedessin col·lapsades a la vegada. Malauradament, també coneixem com la sortida de les escoles a les cinc de la tarda a vegades pot més que la teoria.



Obres recents a l'avinguda d'Enclar d'Andorra la Vella, que han obligat a fer servir camins redundants per permetre la circulació. Font: Comú d'Andorra la Vella, URL: <https://www.andorralavella.ad/> (Consulta: 28.05.2021)

### Els arbres i la urbanització

Com hem vist, les propietats dels arbres com a objectes geomètrics són singulars. Permeten reduir la llargada dels camins de connexió i augmentar el nombre de nodes terminals. Quan tractem de la gestió del medi, sovint hem de considerar a la vegada els impactes antròpics sobre el medi així com les possibilitats d'interacció entre els humans i el medi.

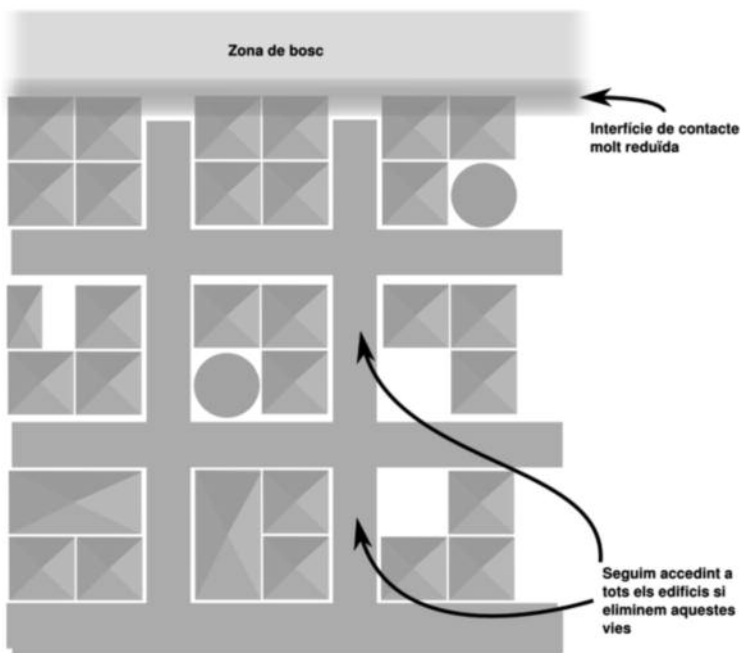
Entre els impactes antròpics, aquells causats per les vies de comunicació solen tenir certa importància, i bona part dels seus impactes són negatius. Crec que això es pot pregonar tant de les carreteres generals com de camins veïnals o àdhuc de pistes de muntanya. Per aquesta raó, ens interessa reduir el nombre de quilòmetres de vies existents i maximitzar-ne la utilització per fer-ne un ús eficient. Anant més enllà de la lògica de conservació del medi, els arguments purament econòmics van en el mateix sentit.

Però a la vegada és interessant que tant els habitants d'Andorra com els visitants puguin accedir al medi, i a diferents escales de distància. Això inclou coses tan simples com poder disposar d'una vista de la natura des de la finestra de casa o de l'habitació d'hotel, poder arribar fins al llindar del bosc per fer-hi activitats físiques o, per als més esportistes, tenir més vies d'accés per anar més enllà. En el sentit invers, si volem que les espècies de fauna o de flora puguin accedir a la ciutat, també convé que hi hagi una bona permeabilitat entre la zona més aviat urbana i el bosc.

Arribem així a la conclusió prou raonable que, per reduir els impactes de les vies de comunicació sobre el medi i millorar el contacte entre zona urbana i zona extraurbana, l'estructura geomètrica òptima per a l'establiment humà ha de ser, precisament, en forma d'arbre.

Per acabar-ho de veure, podríem plantejar alguns exemples. Un seria la típica graella rectangular de carrers, tan habitual des de les ciutats gregues i romanes fins al Pla Cerdà de Barcelona. Aquesta reixa no és òptima pel que fa a la llargada total de les vies, cosa que podem demostrar fàcilment si n'eliminem uns segments i constatem que, malgrat tot, els

edificis continuen sent accessibles. A la vegada, podem veure que el resultat és una ciutat molt replegada sobre ella mateixa, amb una frontera mínima amb la natura i en què és molt fàcil que els habitants es puguin quedar aïllats dins la seva jungla urbana sense tenir gaire contactes amb el bosc. De fet, sovint viuen d'esquena al medi natural. Addicionalment, sabem avui en dia que aquesta concentració d'humans —així com les seves màquines i calefaccions— té la conseqüència de la formació d'illes de calor urbanes, així com de zones d'alta concentració de pol·luents. Sens dubte, aquests dos temes no eren els més prioritaris en el moment de dissenyar l'Eixample.

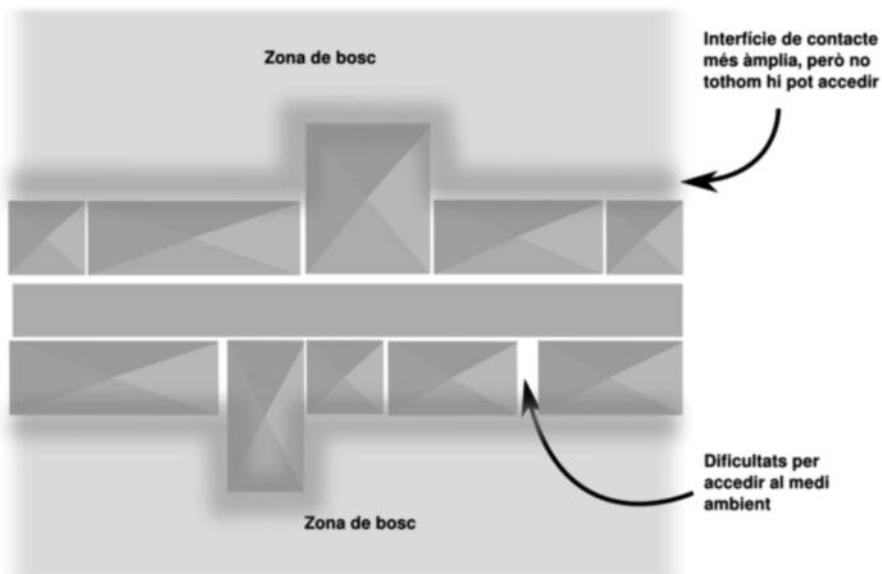


Esquema d'urbanització en forma de graella rectangular

Un segon exemple podria ser la urbanització lineal. Aquest model, molt practicat a Andorra, emprava una via de comunicació existent per establir una zona d'habitatge al llarg de la via. Té l'avantatge que el cost per al medi ambient no és excessiu, tenint en compte que la via ja existia abans de fer les cases. També té l'avantatge per als seus habitants, ja que, si més no,

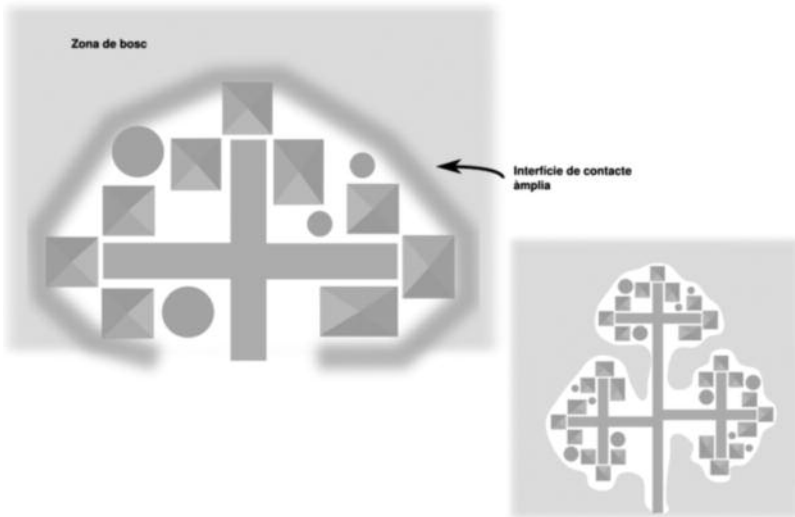


una de les seves façanes confronta amb la natura. Però també té l'inconvenient d'una interacció més gran entre les habitacions i la via, cosa que empitjora considerablement la qualitat de vida d'aquells que tinguin les finestres del menjador en un primer pis sobre la carretera general, per exemple. Addicionalment, podem veure com aquesta construcció d'habitatges sol esdevenir un element barrera entre la via i les grans zones naturals que queden a banda i banda. Es fa difícil accedir-hi, llevat dels (pocs) llocs en què s'ha previst d'antuvi que no s'hi pugui edificar per tal de deixar un pas, cosa que els propietaris dels terrenys afectats no solen apreciar gaire.



Esquema d'urbanització lineal, al llarg d'una via de circulació

Finalment, amb una urbanització planificada en forma d'arbre, és possible dissenyar un esquema en què es redueixen la llargada de les vies tot i augmentant el contacte amb la natura. Aprofitant les característiques fractals d'aquest esquema, es pot aplicar a diferents escales. El resultat final és un habitatge relativament dispers, però que no ocupa una proporció excessiva de l'espai disponible i que permet un bon contacte amb la natura.



Esquema d'urbanització fractal, basat en un arbre

## Conclusions

A través d'aquest curt passeig entre els conceptes matemàtics dels grafs i els arbres s'ha vist com permeten analitzar el medi distingint-ne les estructures preexistents a la intervenció humana. Seria el cas dels rius, entre d'altres. També s'ha vist com el disseny de les infraestructures de transport o de distribució elaborats pels humans sovint reproduïxen en part aquesta organització natural en forma d'arbre.

Els arbres i les seves característiques intervenen, igualment, per l'organització d'activitats humanes que fan servir les infraestructures, per exemple a l'hora de fer esdeveniments esportius. Però, damunt de tot, s'ha pogut observar com un coneixement de les propietats dels arbres permet fer propostes pel que fa a la concepció urbanística que permeten disminuir l'impacte de les vies de comunicació, tot i augmentar la interfície de contacte i la permeabilitat entre les zones de medi natural i aquelles zones urbanes en què la presència humana és més notable.

L'ús d'eines com els arbres no ens ha de sorprendre tenint en compte que són estructures que ja existeixen dins el món natural i es manifesten espontàniament. La qüestió, possiblement, seria, ¿si n'existeixen d'altres de semblants que potencialment podrien ser igualment útils per als propòsits humans i per fer més compatibles l'activitat antròpica amb les necessitats del medi?

**Alan Ward i Koeck,**  
professor i doctor en Societat de la Informació i del Coneixement