

Geologia, canvi climàtic i arquitectura

6

David Brusi
Josep Mas-Pla
Carles Roqué

Introducció

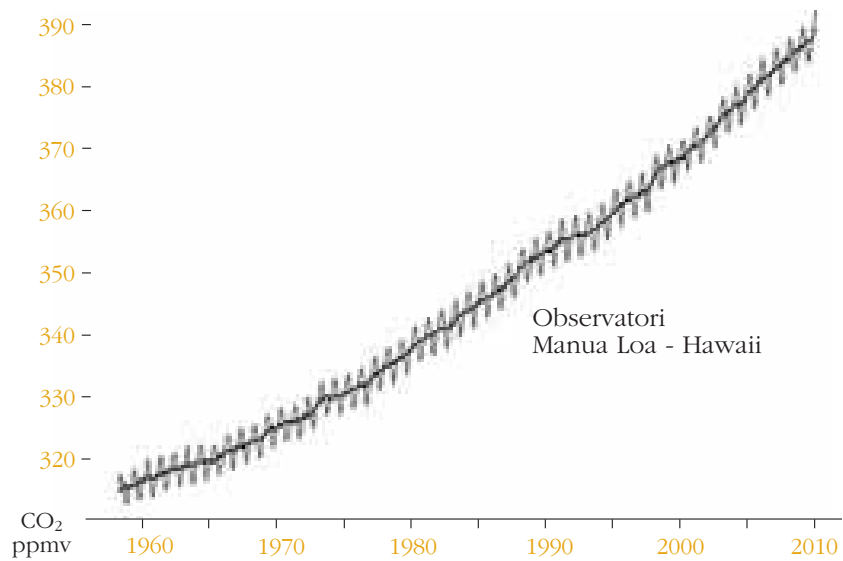
Nombroses investigacions han establert una relació directa entre l'activitat antròpica i el canvi climàtic. Malgrat que encara subsisteixen alguns corrents d'opinió que en discrepen, són una majoria aclaparadora els científics que han demostrat que l'ascens progressiu de les temperatures de les darreres dècades ha estat induït i accelerat per la incorporació artificial a l'atmosfera de quantitats creixents de gasos que accentuen l'efecte hivernacle (GEH). Com és sabut, l'absorció energètica de la radiació solar per part de diversos gasos com el diòxid de carboni, el metà o l'ozó, entre d'altres, contribueixen a l'escalfament de l'aire.

En aquest procés, adquireix un protagonisme especial l'increment de les concentracions atmosfèriques de CO₂ procedent de l'ús de combustibles fòssils, entre altres causes. Les mesures instrumentals contínues de la seva presència en l'atmosfera ja disposen de registres de més de 50 anys (vegeu Figura 1). El 2010, la densitat mitjana d'aquest gas a l'atmosfera va ser de 387 ppm, la concentració més elevada dels últims 420.000 anys. A més, durant el període 2000-2008 les emissions han augmentat a una taxa anual del 3,4%, comparada amb l'increment mitjà anual d'un 1% durant la dècada dels anys 90 (Llebot, 1997, 2009) i es preveu que continuïn a l'alça durant el segle XXI, en funció de determinats escenaris de desenvolupament (IPCC, 2001, 2007).

És evident que els efectes del canvi climàtic afecten la dinàmica de la Terra. Les perturbacions de l'equilibri entre l'atmosfera, la hidros-

Una majoria aclaparadora de científics han demostrat que l'ascens progressiu de les temperatures de les darreres dècades ha estat degut a la incorporació artificial a l'atmosfera de gasos que accentuen l'efecte hivernacle (GEH). És evident que els efectes del canvi climàtic afecten la dinàmica de la Terra

Figura 1. Dades instrumentals de la concentració atmosfèrica de CO₂ mesurades a l'observatori de Mauna Loa (Hawaii) al llarg dels darrers 50 anys. (Font: NOAA Earth System Research Laboratory Scripps Institution of Oceanography, <http://www.esrl.noaa.gov>, extret de Martín-Chivelet, 2010).



fera, la geosfera i la biosfera desencadenen interaccions complexes i ja han començat a influir en l'activitat humana i en l'ocupació del nostre planeta. Les conseqüències ambientals, socials i econòmiques de l'escalfament atmosfèric han generat certa alarma social i un fort ressò mediàtic. També han desvetllat la convicció ferma de promoure actituds i estratègies que minimitzin l'impacte antròpic que el provoca i que alhora permetin predir i prevenir els riscos que se'n puguin derivar.

No hi ha una certesa absoluta sobre el ritme dels canvis que pronostiquen els models climàtics ni sobre la capacitat de reequilibri natural del sistema. Tanmateix, la percepció pública dels presumibles efectes del canvi climàtic d'origen antropogènic ha servit per qüestionar la sostenibilitat d'un model de creixement i per promoure un debat que ha de conduir a una transformació profunda de moltes parcel·les d'activitat. Per enfrontar aquest reptes, s'imposen –individualment i col·lectivament– dues línies d'actuació. En primer lloc, treballar per la mitigació dels efectes responsables del canvi climàtic. El punt més rellevant fa esment a la disminució d'emissions de GEH, ja acordat en el protocol de Kyoto i ratificat en posteriors cimeres. És una tasca a nivell internacional, influïda per factors geopolítics i econòmics, que ha de permetre reduir les emissions i cercar noves estratègies que siguin curoses amb la preservació ambiental.

La segona línia d'actuació és l'adaptació als efectes del canvi global. Cal conèixer els riscos que es deriven dels possibles escenaris del forçament climàtic i adoptar mesures que ens preparin per enfrontar-los. En aquest context, l'activitat constructiva i el sector de l'edificació també hi estan implicats.

Activitat constructiva i ocupació del territori

El continu procés d'ocupació territorial per part de les activitats humanes ha comportat, especialment en el darrer mig segle, una

transformació molt elevada del medi que ha comportat diferents graus d'alteració dels processos naturals i de sobreexplotació dels recursos.

Aquesta transformació ha estat executada, fins fa poc, sense una planificació a gran escala i sense una avaluació metòdica dels impactes que podia causar, entenent com a tals les alteracions del medi que indefectiblement impliquen una pèrdua de qualitat de l'entorn, pertorben les característiques naturals i provoquen, en alguns casos, notables despeses per mantenir o recuperar els valors ambientals inicials.

La població es concentra a les àrees urbanes, on l'activitat industrial i la intervenció urbanística tendeix a desenvolupar-se en una superfície molt reduïda. A escala mundial, més de la meitat de la població viu en zones urbanes (aglomerada en grans ciutats). Es preveu que l'any 2050 tres quartes parts de la humanitat visqui en grans megalòpolis. D'altra banda, també és evident una major densificació del poblament de les àrees costaneres. Avui en dia, el 75% dels habitants del planeta es concentren en zones properes a les costes. A Catalunya, la franja litoral acull gairebé el 45% de la població, tot i que només representa un 6,6 % de la seva superfície. Si considerem com a zona litoral els 20 primers quilòmetres, les persones que hi viuen s'aproximen al 70% dels habitants de casa nostra. La població "flotant", les segones residències i l'oferta turística establerta a la zona costanera representen, respectivament, un 67,9%, un 74,9% i un 86% de la de tot el territori (Tulla *et al.*, 2005). Les àrees urbanes concentren els impactes directes de l'activitat

A escala mundial, més de la meitat de la població viu en zones urbanes, on l'activitat industrial i la intervenció urbanística tendeix a desenvolupar-se en una superfície molt reduïda. També és evident una major densificació del poblament de les àrees costaneres i la connectivitat entre aquestes zones provoca una ampliació continuada de les obres d'infraestructura

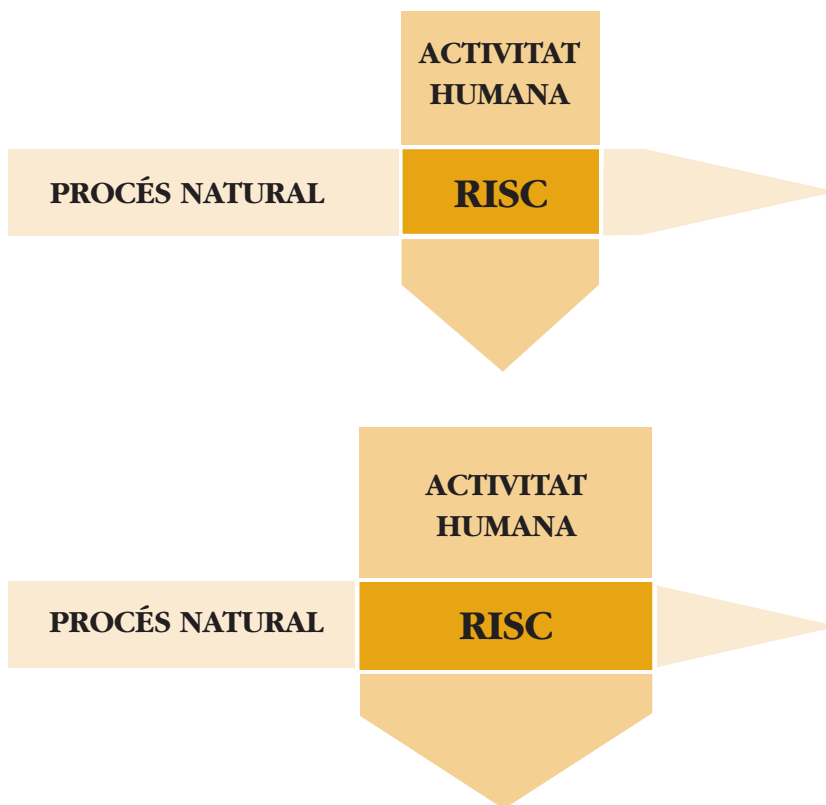


Figura 2. La idea de risc sorgeix de la interferència entre processos naturals actius i l'activitat humana. L'increment en l'ocupació del territori per part de l'activitat humana fa que augmenti la capacitat d'interferència amb els processos naturals i, amb això, el risc potencial. (Brusi i Roqué, 1998).

constructiva, que s'accentuen encara més a la façana litoral. D'altra banda, la connectivitat entre aquestes zones provoca una ampliació continuada de les obres d'infraestructura (vies de comunicació, aeroports, ports, provisió de serveis,...) i la petjada ecològica que se'n deriva. Complementàriament, a l'entorn dels grans nuclis poblacionals, l'expansió de les urbanitzacions difuses comporten una major dependència dels habitants del transport particular en els seus desplaçaments quotidians que incrementa el consum de petroli (Pié *et al.*, 2005). La densificació en l'ocupació del territori augmenta l'abast dels impactes, alhora que suposa una major exposició als riscos derivats dels fenòmens naturals extrems (vegeu Figura 2).

Edificació i estalvi energètic

S'hauran de considerar estratègies de mitigació i d'adaptació als paràmetres d'un nou escenari, i cercar en tota actuació un equilibri entre les funcions de l'habitatge, la disponibilitat de recursos i l'impacte sobre l'entorn. Davant d'això cal difondre i apostar de manera decidida per l'energia geotèrmica de molt baixa entalpia

El creixement urbanístic i les tècniques arquitectòniques han incorporat en els darrers anys criteris de sostenibilitat pel que fa a l'energia. Es reconeix, tanmateix, que aquestes pautes es transformaran en el futur en relació amb el canvi climàtic i s'hauran de considerar estratègies de mitigació i d'adaptació als paràmetres d'un nou escenari, i cercar en tota actuació un equilibri entre les funcions de l'habitatge, la disponibilitat de recursos i l'impacte sobre l'entorn. El Codi tècnic de l'edificació (Ministeri de Foment, 2006) desplega un marc normatiu pel que fa a l'estalvi energètic i l'ús racional de l'energia. Promou la reducció del consum, la limitació de la demanda energètica per millores en l'aïllament que redueixin les pèrdues i els guanys de calor, la major eficiència dels sistemes de climatització, les millores en la permeabilitat a l'aire i a la radiació solar, l'aprofitament de la llum natural, i la incorporació de nous sistemes de captació, acumulació i utilització de l'energia solar. En el context del foment de les energies alternatives, i des d'una perspectiva geològica, cal difondre i apostar de manera decidida per la geotèrmia. El Pla de l'Energia de Catalunya dona un suport decidit a aquesta energia renovable. No parlem de l'aprofitament de les zones d'alta o mitjana temperatura lligades a manifestacions termals; ens referim a la creixent aposta per l'energia geotèrmica de molt baixa entalpia, amb temperatures inferiors als 30°C. A la seva llarga vida útil i a les millores tecnològiques recents cal afegir-hi un bon nombre d'avantatges: és una energia disponible les 24 hores del dia i la que genera menys emissions de CO₂ (únicament associades al funcionament de la bomba de calor), és una solució integral que permet obtenir calefacció, refrigeració i aigua calenta sanitària, és l'única opció que no necessita elements externs que condicionin l'estètica de l'edificació (Pujadas, 2010).

Els estudis geològics són essencials per al disseny i realització de les instal·lacions d'energia geotèrmica. La geologia aporta el coneixement del subsòl, determina la idoneïtat del sistema de captació i permet calcular-ne les característiques. Per a qualsevol projecte caldrà conèixer la tipologia de les roques i/o sediments, la presència d'aigua subterrània i la fracturació dels materials geològics, entre d'altres aspectes.

Producció de ciment i escalfament atmosfèric

Com és ben sabut, l'increment exponencial del CO₂ per causes antropogèniques deriva, fonamentalment, de la crema o utilització en processos industrials de combustibles fòssils (petroli, carbó i gas). Tanmateix, sovint es desconeix el fet que la producció de ciment també accentua el flux de CO₂ a l'atmosfera. A Catalunya, un 21,2% de les emissions totals corresponen al processament energètic del sector industrial de manufactures i construcció, i la fabricació de ciment és una de les activitats amb majors emissions (Baldasano i Soret, 2010). Diversos estudis han xifrat en un 5% la contribució de les cimenteres en la producció directa de CO₂. Això succeeix per dues vies: la primera, és el consum energètic propi dels processos de fabricació del ciment en els forns de calcinació; la segona, menys perceptible, és l'alliberament de CO₂ a causa de la descarbonatació de les roques (calcàries, dolomies, etc.) quan són sotmeses a temperatures d'uns 1.500°C. Gairebé el 60% de les emissions de diòxid de carboni de les cimenteres estan lligades a aquest procés. Un factor que agreuja el problema és que el ciment no es recicla, cada nou edifici requereix nou ciment.

Com no podia ser d'altra manera, el descens de l'activitat constructiva des de l'any 2007 ha propiciat un descens de les emissions de CO₂ lligades a la producció de ciment. Tot i això, també cal endegar mesures que en minimitzin l'impacte. Addicionalment, hi ha diferents protocols per a la substitució dels materials de construcció habituals per d'altres amb major eficiència en la reducció d'emissions i per a l'optimització de la demanda energètica. La millora de l'eficiència en els cicles de matèria, aigua i energia no ha de limitar-se exclusivament a les noves construccions, sinó també a la rehabilitació de les edificacions ja existents, per tal d'aconseguir una reducció eficient de les emissions (Gausa *et al.*, 2010).

En aquest sentit, nombroses empreses del sector han iniciat recerques que condueixin a substituir els ciments convencionals per nous materials que emetin menys quantitats de CO₂ i que, alhora, n'absorbeixin més al llarg del seu cicle de vida que el que ha suposat fabricar-los. Ja hi ha en el mercat alguns ciments produïts a partir d'òxids de magnesi i d'altres minerals.

Els canvis geodinàmics i ocupació del territori

L'augment de la temperatura atmosfèrica implica una modificació global dels cicles climàtics que comporta una variació del règim de precipitacions (Martín-Vide, 2009). La variació conjunta de la temperatura i del règim de precipitacions ocasionarà perturbacions en la dinàmica geològica externa del planeta. Al marge dels efectes sobre la biosfera, es preveu que el canvi climàtic provoqui un ascens ostensible del nivell del mar a conseqüència, principalment, de la dilatació de l'aigua per l'augment de la temperatura i d'un augment de la velocitat de fusió dels casquets de gel polars i el conseqüent retrocés de les glaceres, una modificació dels cabals

Sovint es desconeix el fet que la producció de ciment també accentua el flux de CO₂ a l'atmosfera. Diversos estudis han xifrat en un 5% la contribució de les cimenteres en la producció directa de CO₂, i com no podia ser d'altra manera, el descens de l'activitat constructiva des de l'any 2007 ha propiciat un descens de les emissions de CO₂ lligades a la producció de ciment



Foto 1. Les avingudes derivades d'episodis de precipitació extrema cada cop poden ser més habituals. Caldrà dimensionar les infraestructures per suportar cabals superiors als actuals. (Pont damunt el Ridaura, a Castell d'Aro. Les restes de vegetació mostren com el cabal quasi va superar la capacitat de la secció).

dels cursos fluvials (vegeu Foto 1) i, entre d'altres fenòmens, una modificació dels corrents oceànics, una accentuació dels fenòmens geoclimàtics extrems (sequeres, inundacions,...).

L'arquitectura reflecteix l'adaptació de l'espai propi de l'ésser humà –l'habitatge– a l'entorn natural, en conseqüència també l'obra pública i la privada han d'adequar-se al medi. L'ocupació actual i futura del territori entrarà en conflicte amb una canviant dinàmica geològica dels processos externs. Riuades, oscil·lació dels nivells piezomètrics, transformació de vessants, canvis del nivell del mar i de la seva dinàmica... hauran de ser tinguts en consideració, sota risc d'ocasionar pèrdues econòmiques i humanes.

Si bé la minimització de l'impacte global passa per l'adopció de compromisos generals, la prevenció dels efectes del canvi climàtic reclama mesures de planificació i adaptació que són una tasca local on arquitectes, arquitectes tècnics, aparelladors, enginyers de l'edificació, projectistes, urbanistes i, subsidiàriament, un nombre amplíssim de professionals, hi tenen molt a dir i a fer.

El canvi climàtic comportarà una modificació en l'ocupació del territori en relació amb el creixement urbanístic, atès que alterarà



Foto 2. Una construcció situada a la llera ordinària del riu es va veure afectada per un episodi d'inundació. (Riera dels Molins, a Calonge).

la dinàmica fluvial i, en conseqüència, el risc d'avingudes extremes. També variarà la dinàmica litoral i augmentarà el risc en l'ús de la franja litoral i en la preservació d'elements naturals dinàmics, com són les platges.

L'augment de la freqüència dels processos externs, especialment les avingudes fluvials, serà una de les conseqüències associades al canvi climàtic. Hom preveu que els episodis amb cabals extraordinaris ocorrin més sovint i, per tant, el risc associat a les zones inundables serà més elevat (Llasat i Coromines, 2010). Aquest fet comportarà que l'ocupació actual i futura d'àrees inundables a l'entorn de la xarxa fluvial, fins i tot amb períodes de retorn elevats, hauran de ser revisades i considerades en els plans urbanístics (vegeu Foto 2). Les conseqüències poden ser diverses: haver de reforçar la protecció dels actuals trams fluvials urbans existents per desbordaments, haver d'abandonar aquelles zones que tindran un major risc en un futur proper o, ja que la disponibilitat de zones per al creixement (urbà o industrial) serà menor, haver d'ocupar emplaçaments que actualment disposen d'un altre tipus de qualificació del sòl.

Els fenòmens meteorològics extrems –especialment els episodis plujosos d'elevada intensitat– poden desencadenar la inestabilitat dels vessants. Aquests són uns processos habituals a Catalunya,

Foto 3. Esllavissament derivat d'un fort episodi plujós que va afectar les infraestructures d'una àrea urbana. Carrer annex a l'estadi de Montilivi, a Girona.



El canvi climàtic comportarà una modificació en l'ocupació del territori en relació amb el creixement urbanístic, atès que alterarà la dinàmica fluvial i, en conseqüència, el risc d'avingudes extremes. També variarà la dinàmica litoral i augmentarà el risc en l'ús de la franja litoral i en la preservació d'elements naturals dinàmics, com són les platges

l·ligats a àrees orogràficament abruptes de muntanya o en penya-segats costaners (Roqué, 2010). Els desprendiments rocallosos o els esllavissaments són molt freqüents i suposen un risc per a les persones i les propietats (vegeu Foto 3). La planificació urbanística ha d'incloure una cartografia de les zones amb risc de patir aquests processos i limitar-ne l'ús o preveure mesures estructurals que en minimitzin el perill.

Els problemes al litoral seran de diversa índole i afectaran principalment les platges, elements especialment importants com a peces fonamentals de la indústria del turisme d'estiu, i com a elements naturals de transició entre el mar i les edificacions a primera línia de costa. Les platges constitueixen un dipòsit sedimentari dinàmic, que respon a l'equilibri que s'estableix entre les aportacions de sediments del continent (en molts casos limitades des de fa dècades per la construcció d'embassaments) i els processos marins, representats pels corrents de deriva litoral i l'onatge, en un marc morfològic de la costa concret, amb caps, cales i golfs (vegeu Foto 4, pàgina següent). En el nostre país, el creixement urbanístic a primera línia de costa ha condicionat notablement aquest equilibri. D'una banda ha substituït els cordons de dunes que formaven part del sistema litoral per passeigs marítims i edificacions, i de l'altra s'ha modificat la dinàmica litoral amb espigons i esculleres que han alterat els processos d'erosió, transport i sedimentació de sorra que controlen la ubicació i el balanç de matèria a les platges (Roqué, 2010).

Si bé l'ascens del nivell del mar pot ser un motiu d'alteració d'aquest sistema dinàmic (a la costa catalana, les dades recents assenyalen un lleuger descens, malgrat que hom hi preveu un ascens generalitzat com a la resta de la Mediterrània), és tant o més preocupant el fet que les observacions dels darrers anys detectin canvis en la



Foto 4. L'ascens progressiu del nivell del mar associat a episodis de la dinàmica marina representa un risc creixent per a l'ocupació antròpica de la façana costanera i per a les inversions recurrents en regeneració de platges. (Llevantada a Calella de Palafrugell).

frequència direccional de presentació de les tempestes, la qual cosa implica un augment de la tendència erosiva (Sánchez-Arcilla *et al.*, 2010).

L'ascens del nivell del mar no només pot afectar de manera directa l'ocupació del territori de la primera línia de costa, sinó que també pot desplaçar cap al continent la falca salina que és present a la façana litoral. Aquesta falca és el límit entre l'aigua dolça dels aqüífers litorals i l'aigua marina. La primera és menys densa que la salada, de manera que tendeix a disposar-se per sobre. Quan l'aqüífer està format per materials permeables homogenis, l'aigua marina penetra cap a terra, en forma de falca, per sota de l'aigua dolça (vegeu Figura 3). Atès que les dues masses d'aigua són miscibles, el límit entre elles és gradual.

L'efecte corrosiu de l'aigua marina, o salobre, sobre els fonaments de les construccions és difícil de calcular, a causa de la gran quantitat de variables que hi tenen influència (vegeu Foto 5). És un fenomen complex que es pot donar a llarg termini (desenes d'anys), segons les característiques del formigó (sobretot la composició i la porositat) i tot un seguit de factors, entre els quals cal destacar la concentració de sals dissoltes, la temperatura, el flux subterrani o les oscil·lacions del nivell freàtic, entre d'altres.

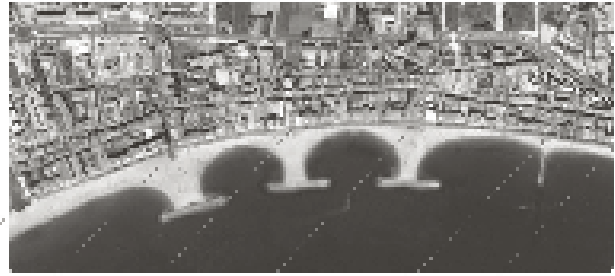
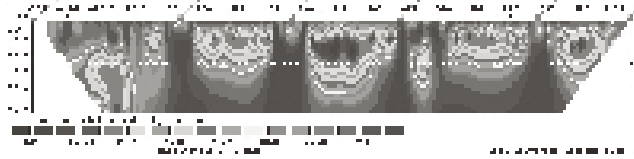


Figura 3. Perfil de tomografia elèctrica, realitzat paral·lelament a la línia de costa, al nord-est de la riera de Sant Antoni i al llarg del passeig de Josep Mundet, a Sant Antoni de Calonge. S'hi poden observar unes zones d'elevada conductivitat que mostren la intrusió salina (Brusi et al., 2008).



L'ús dels recursos i la seva implicació ambiental

Un dels reptes de l'arquitectura sostenible de les properes dècades fa referència a la utilització dels recursos geològics no renovables. Un exemple habitual és la disponibilitat d'àrids naturals, que són un recurs finit. A les comarques gironines, la seva extracció ha estat intensa i ha donat lloc a una severa transformació del medi en planes al·luvials

Més enllà de l'ús apropiat dels recursos energètics, ja comentats en relació amb les estratègies de mitigació, un dels reptes de l'arquitectura sostenible de les properes dècades fa referència a la utilització dels recursos geològics no renovables. La seva creixent escassetat pot arribar a ser una important limitació i, particularment, pot suposar un encariment final del producte. Un exemple habitual és la disponibilitat d'àrids naturals per a la construcció de grans infraestructures o edificacions. Els àrids, sovint procedents de l'explotació de dipòsits sedimentaris, són un recurs finit. A les comarques gironines, la seva extracció ha estat intensa i ha donat lloc a una severa transformació del medi en planes al·luvials, com en el tram baix del Ter, del Fluvià o al llarg de la Tordera, per esmentar localitats properes. La dinàmica actual dels rius impedeix la seva recuperació, perquè la major part del sediment és retingut en els

Foto 5. Les construccions per sota del nivell piezomètric comporten bombaments de l'aigua subterrània que poden desencadenar assentaments. També requereixen fonamentacions que garanteixin la impermeabilització de la construcció. (Construcció d'unes plantes soterrades en un edifici a Sant Antoni de Calonge).

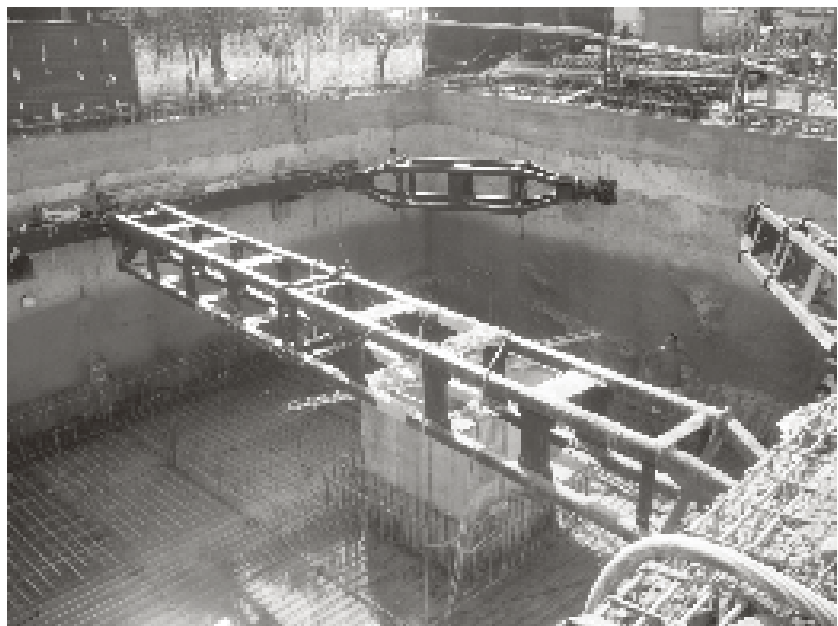




Foto 6. Planta d'explotació d'àrids de trituració a Cruïlles.

embassaments. En qualsevol cas, el ritme geològic de recuperació seria, en un estat natural, molt més lent que els requeriments per satisfer la demanda. Els àrids de trituració, procedents de diverses tipologies de roques, també han estat intensament explotats (vegeu Foto 6) amb notables efectes paisatgístics.

Malgrat tot, el recurs fonamental en el creixement urbanístic més relacionat amb el canvi climàtic és la disponibilitat d'aigua. El dret a disposar d'aigua per part de la societat contrasta amb l'escassetat d'aquest recurs renovable i en la gestió que se n'ha fet les darreres dècades. Aquesta frase requereix dues matisacions: 1) l'aigua és un recurs renovable només pel que fa a la seva quantitat, atès que el deteriorament de rius i aqüífers, i del mateix mar, en termes de qualitat fa necessària una inversió econòmica prèvia abans que el recurs no pugui ser reutilitzat amb una qualitat mínima com a aigua d'ús urbà o, fins i tot, per a la seva funció ecològica; 2) si bé la gestió de l'aigua durant el segle xx s'ha basat en garantir el subministrament allà on calgués, un canvi en els paradigmes de gestió als anys 90, així com l'arribada de la Directiva marc de l'aigua l'any 2000, ha comportat un gir en els criteris de gestió i els ha fet més respectuosos amb el medi i compromesos en la preservació del recurs.

És obvi, doncs, que l'aigua és un factor bàsic per al creixement urbanístic. Els escenaris del canvi climàtic dibuixen un horitzó amb menor precipitació per al segle XXI, amb una disminució d'un

És fonamental començar a considerar el canvi climàtic com una variable rellevant en la presa de decisions d'actuacions a gran escala sobre el territori; una adequada planificació avui reduirà adaptacions dràstiques i forçoses en un futur

5-10% de mitjana a la Mediterrània occidental per a 2100. Aquest canvi, juntament amb l'augment de la temperatura, comportarà una modificació general del cicle de l'aigua, ja que farà incrementar les pèrdues per evapotranspiració i reduirà el cabal superficial de la xarxa de drenatge i la recàrrega dels aqüífers (Mas-Pla, 2005). En síntesi, hom preveu una disminució dels recursos disponibles i, el que és igualment important, una major variabilitat en la dinàmica del cicle hidrològic que farà més complexa la tasca de gestionar els recursos emmagatzemats en funció d'una demanda creixent a curt i mitjà termini.

L'optimització en l'ús de l'aigua i la seva reutilització seran aspectes determinants en l'ús racional i sostenible de l'aigua. El disseny de zones urbanes i habitatges contribuirà en gran mesura a l'equilibri hidrològic, especialment en un país on, com en el cas de les conques internes, un 65% dels recursos es destinen a l'ús domèstic. A gran escala, la recollida d'aigües pluvials i el seu ús alternatiu, l'enjardinament amb vegetació autòctona, i l'ús d'aigua regenerada per a diverses activitats (refrigeració), entre altres, seran alternatives que caldrà incorporar als nous desenvolupaments urbans.

D'altra banda, més enllà de l'evident preocupació per la quantitat i qualitat dels recursos hídrics en relació amb el canvi climàtic, també cal tenir en compte les pertorbacions derivades de les oscil·lacions dels nivells piezomètrics. Una oscil·lació del nivell piezomètric comporta un desplaçament en la distribució vertical de l'aigua subterrània (zona saturada i vadosa), la qual cosa provoca canvis en les propietats físiques del sòl que depenen del seu contingut d'aigua (vegeu Foto 7). Com a conseqüència també canvien alguns paràmetres geomecànics fonamentals per a l'estabilitat de les construccions, com les pressions admissibles per als fonaments, l'empenta de terres en els murs dels soterranis, la sobrecàrrega de pilons per fregament negatiu, variacions de la pressió hidrostàtica (subpressions) o l'estabilitat de talussos, entre d'altres. A més, els canvis d'humitat poden ocasionar canvis de volum i provocar subsidència, assentaments diferencials o fenòmens d'expansió/



Foto 7. Bombament d'aigües subterrànies per a la construcció d'un aparcament soterrat al carrer Emili Grabit, de Girona.

contracció del sòl. En determinats materials, el flux d'aigua derivat de les variacions del nivell piezomètric també pot causar processos d'erosió interna i col·lapse (Brusi *et al.*, 2008).

Conclusions

L'alteració climàtica derivada de l'efecte hivernacle modificarà l'ocupació futura del territori limitant els indrets per al desenvolupament urbanístic i incorporant canvis en els models de creixement i en les tècniques d'edificació que minimitzin l'ús de l'energia i dels recursos. Davant d'aquest nou escenari climàtic, amb canvis significatius previstos per a aquest segle XXI, cal incorporar els avenços tecnològics adients i reprogramar l'ocupació del territori, ateses les limitacions ambientals que se'n poden derivar. La urgència és relativa, si bé una adequada planificació avui reduirà adaptacions dràstiques i forçoses en un futur. Per aquest motiu, és fonamental començar a considerar el canvi climàtic com una variable rellevant en la presa de decisions d'actuacions a gran escala sobre el territori. Cal, doncs, preguntar-se quines possibilitats d'adaptació són factibles a nivell local, amb la idiosincràsia pròpia de cada indret (pel que fa tant als canvis físics del medi com a la disponibilitat de recursos i energia), com a pas previ per a un desenvolupament urbanístic enraonat, és a dir, sostenible.

Bibliografia

- BALDASANO, J. M. i SORET, A. (2010). "Balanços de carboni. Emissions", a Llebot, J. E. (coord.) *Segon informe sobre el canvi climàtic a Catalunya*. Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible, p. 97-134.
- BRUSI, D., MAS-PLA, J., ROQUÉ, C., RODRÍGUEZ, A., ZAMORANO, M. i CASADELLÀ, L. (2008). *Caracterització de la problemàtica hidrogeològica i geotècnica derivada de les extraccions d'aigua en la construcció d'aparcaments soterranis a la façana litoral del terme municipal de Calonge*. Informe del Centre GEOCAMB per a l'Ajuntament de Calonge. 118 p.
- BRUSI, D. i ROQUÉ, C. (1998). "Los riesgos geológicos. Algunas consideraciones didácticas", a *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra - AEPECT*, 6(2), p. 127-137.
- GAUSA, M. (COORD.); RUEDA, S.; MUÑIZ, I.; MUÑOZ, F.; CALATAYUD, D.; SABATÉ, J.; PÉREZ, M. i GOROSTIZA, S. (2010). "Canvi climàtic: territori, urbanisme i edificació. Nous models (més) sostenibles", a Llebot, J. E. (coord.) *Segon informe sobre el canvi climàtic a Catalunya*. Pub. del Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible. p. 1057-1120
- IPCC (2001). *Climate Change, 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the 3rd Assessment Report. Cambridge University Press.
- IPCC (2007). *Climate Change, 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the 4th Assessment Report. Cambridge University Press.

- LLASAT, M. C. i J. COROMINES (2010). “Riscos associats al clima”, a Llebot, J. E. (coord.) *Segon informe sobre el canvi climàtic a Catalunya*. Pub. del Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible. p. 243-308.
- LLEBOT, J. E. (1997). *El canvi climàtic*. Rubes Editorial.
- LLEBOT, J. E. (2009). “Un breve relato sobre cómo podemos saber si cambia el clima”. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra - AEPECT*, 17(2), volum monogràfic: *Geología y cambio climático*, p. 117-236.
- MARTÍN-CHIVELET, J. (2010). Ciclo del carbono y clima: la perspectiva. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 18.1, AEPECT, p. 33-46.
- MARTÍN-VIDE, J. (2009). Diez verdades y diez mentiras en relación al cambio climático. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra - AEPECT*, 17(2), volum monogràfic: *Geología y cambio climático*, p. 117-236.
- MAS-PLA, J. (2005). “Recursos hídrics, dinàmica hidrològica i canvi climàtic”, a Llebot, J. E. ed., *Informe sobre el canvi climàtic a Catalunya*. Publicació del Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible i l’Institut d’Estudis Catalans, p. 485-516.
- MINISTERIO DE FOMENTO (2006). Código Técnico de la Edificación. <http://www.codigotecnico.org/web/recursos/documentos/>
- PIÉ, R.; VERGÈS, R.; VILANOVA, J.M. i ZAMORA, J.L. (2005). “Infraestructures i medi urbà”, a Llebot, J. E. ed., *Informe sobre el canvi climàtic a Catalunya*. Publicació del Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible i l’Institut d’Estudis Catalans, p. 267-305.
- PUJADAS, A. (2010). *La geotèrmia de baixa entalpia: una energia neta de la Terra a l’abast de tothom*. Recull de ponències de les jornades GEOLOMU-2010, Ed. GEOCAMB (Centre de Geologia i Cartografia Ambiental), p. 16-21. <http://geocamb.udg.edu/recerca-transferencia/organitzacio-dactivitats/> \ | “2010.
- ROQUÉ, C. (2010). *Tenim un problema: els processos geològics actius*. Recull de ponències..., p. 11-15. <http://geocamb.udg.edu/recerca-transferencia/organitzacio-dactivitats/> \ | “2010.
- SÁNCHEZ-ARCILLA, A.; MÖSSO, C.; SIERRA, J.P. i CASAS-PRAT, M. (2010). “La variabilitat climàtica i la costa catalana”, a Llebot, J. E. (coord.) *Segon informe sobre el canvi climàtic a Catalunya*. Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible, p. 243-308.
- TULLA, A. F. (COORD), ALBET, A., BRETON, F., CAMPILLO, X., CEBOLLADA, A., MIRALLES, C. MARCH, A. I RIERA, P. (2005). “El territori i el paisatge”, a Llebot, J. E. ed., *Informe sobre el canvi climàtic a Catalunya*. Publicació del Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible i l’Institut d’Estudis Catalans, p. 131-230.

Tots els treballs corresponents al CADS (Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible de Catalunya) i de l’IPCC (Intergovernmental Pannel for Climate Change) estan disponibles als seus respectius webs.

David Brusi
Josep Mas-Pla
Carles Roqué

Doctors en geologia i professors del Departament de Ciències Ambientals de la Universitat de Girona. Grup de Geologia Aplicada i Ambiental (GAiA), Centre de Geologia i Cartografia Ambiental (GEOCAMB), Universitat de Girona.