

# INUNDACIONS

EFFECTES DEL CANVI CLIMÀTIC  
A L'ÀREA METROPOLITANA DE BARCELONA

## Com afectarà el canvi climàtic les inundacions al territori metropolità?

ESTUDI:  
Evolució de les inundacions a l'àrea metropolitana de Barcelona  
des d'una perspectiva holística: passat, present i futur

M. C. Llasat, M. Cortès, Ll. Falcón, J. Gilabert, M. Llasat-Botija, R. Marcos, J.P. Martín Vide i M. Turco.  
Grup GAMA. Departament de Física Aplicada. – Universitat de Barcelona

Treball encarregat per:

**Direcció de Serveis Ambientals de l'AMB**

El present document consisteix en una recopilació dels resums dels vuit estudis que s'han elaborat en el marc de l'Observatori Metropolità del Canvi Climàtic de l'AMB (METROBS) al llarg del 2014 i 2015. Els resums s'han redactat a partir dels esmentats estudis, però la seva presentació, organització i, en alguns casos, informació final, no coincideix exactament amb els estudis originals ni amb els documents de síntesi facilitats per alguns dels autors. L'objectiu final d'aquesta publicació és difondre aquests estudis de gran caràcter tècnic i valor científic entre els tècnics de les administracions i la ciutadania.

Autors dels l'estudis:

1. Temperatura

**V. Altava-Ortiz, A. Barrera-Escoda, J. Amaro, J. Cunillera, M. Prohom i A. Sairouni**  
Servei Meteorològic de Catalunya (SMC).

2. Aigua

**Josep Mas-Pla i Anna Menció Domingo**  
Institut Català de Recerca de l'Aigua i Grup de Recerca GAiA - Geocamb, Universitat de Girona.

3. Litoral

**A. Sánchez-Arcilla, V. Gracia i J.P. Sierra**  
Laboratori d'Enginyeria Marítima (Universitat Politècnica de Catalunya).  
Centre Internacional d'Investigació dels Recursos Costaners.

4. Illa de calor

**Javier Martín-Vide, Víctor M. Artola, M. José Cordobilla, M. Carmen Moreno**  
(Grup de Climatologia, Universitat de Barcelona)  
**Marc Montlleó**  
(Barcelona Regional).

5. Verd urbà

**R. Savé i C. Biel**  
Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries (IRTA).

6. Edificació

**Fundació Empresa & Clima (FEC)**. Amb la col·laboració de: BioQuat - Consultoria Energètica i Mediambiental, SL.

7. Inundacions

**M. C. Llasat, M. Cortès, Li. Falcón, J. Gilabert, M. Llasat-Botija, R. Marcos, J.P. Martín Vide i M. Turco**  
Grup GAMA. Departament d'Astronomia i Meteorologia (Universitat de Barcelona).

8. Economia

**Amelia Díaz, Belén Noguera i Miquel Salgot**  
Institut de Recerca de l'Aigua (IdRA). Universitat de Barcelona.

El text original de tots els estudis es pot consultar a: [www.amb.cat](http://www.amb.cat)

Direcció:

**Ana Romero Càlix**,  
Direcció de Serveis Ambientals. Àrea Metropolitana de Barcelona.

Redacció dels resums i coordinació:

**Ana Villagordo**

Disseny i maquetació:

**La PAGE original**

Correcció lingüística:

**L'Apòstrof**

Desembre 2016

### L'àrea metropolitana de Barcelona: un territori vulnerable al canvi climàtic

---

L'administració que gestiona el territori metropolità, l'Àrea Metropolitana de Barcelona (AMB), integra 36 municipis amb una superfície total de 636 km<sup>2</sup> i una població de 3,3 milions d'habitants. Com altres regions del món, i especialment les mediterrànies, aquest territori està clarament afectat per les conseqüències del canvi climàtic, que tenen i tindran efectes sobre les persones a mitjà i llarg termini. Aquesta àrea, situada a l'entorn dels rius Besòs i Llobregat, la Serralada Litoral i el Mar Mediterrani, ja està patint els efectes del canvi climàtic, però com ho està fent? Quins són els vectors ambientals que més es veuran afectats i com? Com afectarà l'ecosistema i els seus ciutadans? Tota aquesta informació no s'havia treballat fins ara de manera conjunta i coordinada, i per tant no es comptava amb suficients *inputs* que alertessin o no sobre la vulnerabilitat de l'àrea metropolitana de Barcelona davant d'un fenomen tan global però amb efectes tan locals com és el canvi climàtic.

### Un observatori metropolità del canvi climàtic (METROBS) per apropar el coneixement científic a la ciutadania en el marc de la planificació sostenibilista de l'AMB

---

En el marc del Pla de sostenibilitat de l'AMB 2014-2020 (PSAMB) i en les diferents iniciatives que l'AMB ha subscrit en matèria climàtica (estratègies de mitigació i Pla d'adaptació, Pacte d'alcaldes i alcaldesses per l'energia i el clima, etc.), destaca la mateixa Declaració pel clima de l'AMB, que potencia i amplia els seus compromisos amb l'objectiu de reduir el 40% de les emissions de CO<sub>2</sub> el 2030 i la transició cap a un nou sistema energètic, a més de vetllar per la resiliència del territori.

El 2014 es va constituir l'Observatori Metropolità del Canvi Climàtic de l'AMB (METROBS), que sorgeix d'un conveni de col·laboració entre el Grup d'Experts en Canvi Climàtic de Catalunya (GECCC) i l'AMB i s'inclou dins el PSAMB. Aquest Observatori té com a principal objectiu ser una eina de govern transparent i de transferència de coneixement de les accions que es duen a terme en matèria de mitigació i adaptació al canvi climàtic i pretén ser un referent per a altres ciutats i àrees metropolitanes. És a dir, pretén vehicular la transferència d'informació i coneixement entre el món tècnic i la ciutadania.

### Els primers 8 estudis impulsats des del METROBS en el període 2014-2016

---

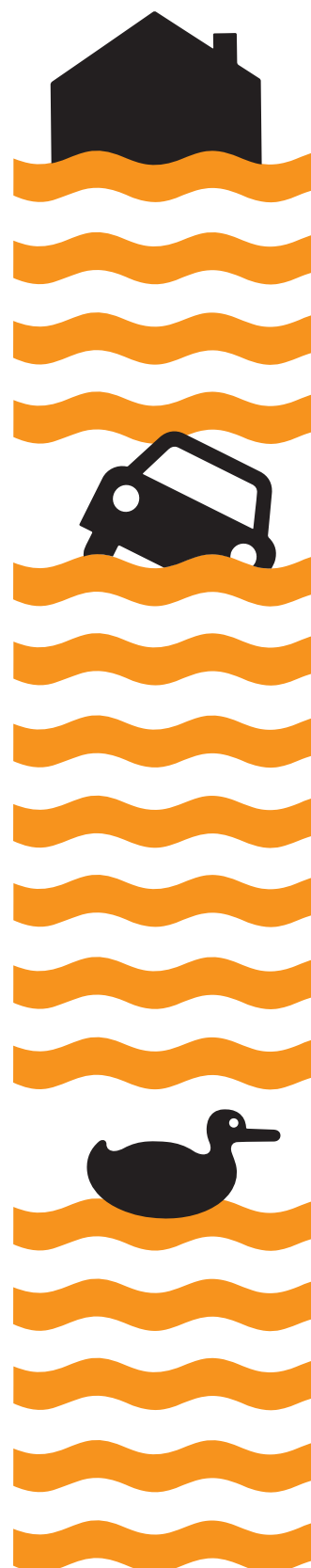
Entre els anys 2014 i 2016 el METROBS ha generat 8 estudis d'experts en cadascuna de les matèries que es presentaran, per avaluar com el canvi climàtic afecta aquesta àrea urbana i com s'hi poden establir mesures d'adaptació. I ho ha fet en àmbits com la meteorologia, el cicle de l'aigua, el litoral, l'efecte illa de calor, el verd urbà, l'energia i el sector residencial, l'evolució de les inundacions en aquest territori i els aspectes més legals i econòmics relacionats amb el canvi climàtic.

El present document consisteix en una recopilació dels aspectes més destacables de l'estudi sobre l'evolució de les inundacions a la regió metropolitana, elaborat pel grup GAMA de la Universitat de Barcelona. A l'estudi específic, que es pot trobar a la [pàgina web de l'AMB](#), es pot trobar informació detallada de la metodologia i les fonts, i els resultats concrets de cada recerca.

---

L'anàlisi de les inundacions a l'àrea metropolitana de Barcelona directament relacionada amb el canvi climàtic i la manera com influeixen els canvis d'usos del sòl en la vulnerabilitat del territori metropolità són els principals objectius del present estudi. També s'analitza la relació entre les precipitacions, les inundacions i els períodes de retorn en moments concrets. I es duu a terme un recorregut històric per les inundacions de l'àrea metropolitana de Barcelona, fins i tot amb material històric de gran valor, que permet sensibilitzar la població dels seus efectes. Així doncs, com a conclusió, es proposen mesures de prevenció i resiliència davant aquest fenomen, amb un fort component social, tot convidant a apoderar i corresponsabilitzar no tan sols la població, sinó també el sector privat i l'administració local i regional.

---



## LES INUNDACIONS AFECTEN L'ÀREA METROPOLITANA DE BARCELONA I CAL GESTIONAR-LES DE MANERA HOLÍSTICA

Les inundacions són el risc natural més important arreu del món. Avui dia, les estratègies de mitigació i adaptació per reduir l'impacte del canvi climàtic són una prioritat en la majoria de les agendes governamentals.

Informes recents de l'IPCC (2012, 2014) mostren una notable incertesa associada a les projeccions futures dels índexs d'extremes de precipitació. Aquesta incertesa és encara alta quan fa referència a les inundacions i encara més gran si tenim en compte la interacció amb la societat i els canvis en la vulnerabilitat (i exposició, si aquesta no es troba integrada dins de la vulnerabilitat). Com a conseqüència, **actualment hi ha una crida al tractament de les inundacions des d'una perspectiva holística, que integri les aproximacions *bottom-up* (des de l'impacte i la vulnerabilitat) i *top-down* (des de la perillositat).**

La regió seleccionada per a aquest estudi és l'àrea metropolitana de Barcelona, que inclou Barcelona i 35 municipis adjacents al voltant de la ciutat, amb una àrea de 636 km<sup>2</sup>. La major part de la població es concentra a Barcelona (1.604.555 persones), situada entre els rius Besòs i Llobregat, la serralada Litoral i el mar Mediterrani.

Encara que tots dos rius han patit inundacions catastròfiques (com les de setembre de 1971 i octubre de 1987), cada any es produeixen grans inundacions com a conseqüència de precipitacions molt intenses i locals registrades principalment a finals d'estiu i tardor. **Els seus principals impactes són conseqüència de problemes de drenatge i escorrentia, i poden afectar tant zones urbanes com rurals.**

Concretament, s'han estudiat en profunditat els casos de Santa Coloma de Gramenet, Castelldefels i Viladecans, per als quals s'han donat recomanacions per afrontar millor el risc d'inundació atenent el context dels Objectius del Desenvolupament Sostenible (ODS) proposats per Nacions Unides.

**Mapa de l'àrea metropolitana de Barcelona amb els dos principals rius (Llobregat i Besòs) i les diferents estacions de precipitació i aforament de les quals es disposa.**






## COM ANALITZEM EL RISC QUE SUPOSEN LES INUNDACIONS A LA REGIÓ METROPOLITANA? CAL UNA METODOLOGIA

S'ha estudiat el risc hidrometeorològic que suposen les inundacions a l'àrea metropolitana de Barcelona en 4 fases, des d'una perspectiva multiescala (temporal i espacial) i multidisciplinària (des del punt de vista dels canvis en la perillositat, la vulnerabilitat i l'exposició):

1. **Diagnòstic de l'evolució de les inundacions i aiguats** en les darreres dècades, al territori metropolità, atenent els impactes, canvis en perillositat, vulnerabilitat i exposició.
2. **Anàlisi dels escenaris futurs de perillositat de pluges intenses** a l'àrea metropolitana de Barcelona.
3. **Desenvolupament d'eines per a la sensibilització** de la població i formació dels tècnics.
4. **Propostes pels plans d'adaptació i sostenibilitat** a escala regional i municipal.

Els episodis d'inundacions s'han classificat d'acord amb el seu impacte en:

- a)  **inundacions ordinàries** (només alguns danys si les activitats s'estan duent a terme al riu en el moment, o a prop, inundacions a soterranis i aparcaments o pertorbació de la vida quotidiana);
- b)  **inundacions extraordinàries** (si els rius es desborden, danys a infraestructures amb possible destrucció parcial, alguns carrers inundats, afectació a automòbils i mobiliari urbà);
- c)  **inundacions catastròfiques** (si els rius es desborden i/o alguns carrers s'inunden, destrucció en instal·lacions hidràuliques, infraestructures, camins i carreteres, edificis, ramats, cultius, etc.).

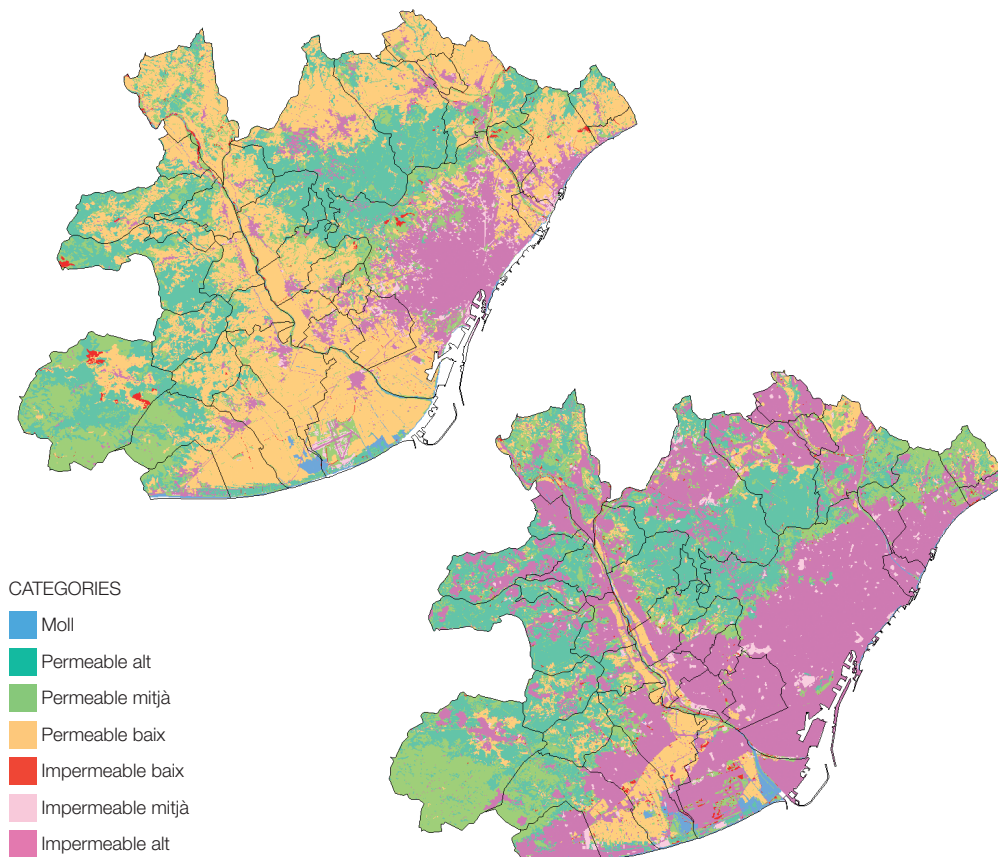
### La sensibilització i el coneixement del risc, elements clau per a l'autoprotecció

#### 1. Evolució de les cobertures de sòl

Entre els anys 1956 i 2009, **la major part de la terra agrícola va ser substituïda per sòl urbà**, pel que fa a l'àrea coberta per boscos que correspon, principalment, a la muntanya del Tibidabo i la serralada Litoral; la superfície agrícola ha disminuït el 65% i ha estat substituïda per sòls urbans i xarxa viària. Cal tenir en compte que, durant el període 1950-2010, la població ha augmentat d'1.555.236 a 3.222.628 persones, amb un pic de població a la regió metropolitana enregistrat l'any 1980, moment a partir del qual s'inicia una tendència negativa que continua fins avui dia. Aquest punt d'inflexió no és coherent amb la tendència general a Catalunya, ni a Espanya, que van registrar els màxims al final de la primera dècada del segle XXI. L'augment més elevat dels preus de l'habitatge en aquesta regió i la crisi econòmica serien l'explicació principal d'aquest canvi cap a una disminució de la població a partir de 1980.

En conseqüència, el sòl urbà i impermeable no ha augmentat gaire en els últims anys i només ha passat del 36,5 % el 1993 a 43,4 % el 2009.

**Comparació entre el mapa de cobertura terrestre per 1956 i 2009 tenint en compte les 7 categories**



## PER SABER-NE MÉS

Aquestes categories de permeabilitat s'han aplicat de la manera següent:

- Primer, considerant l'impacte global a tot Catalunya;
- en segon lloc, considerant només l'impacte al territori metropolità.
- una tercera classificació s'ha efectuat a escala de l'àrea metropolitana de Barcelona, però excloent-ne la ciutat de Barcelona.

Cal considerar que les categories de les cobertures del sòl i la resolució espacial no són iguals per a

les diferents edicions dels mapes. L'edició més antiga que correspon a un vol americà sobre la província de Barcelona s'ha tornat a analitzar recentment i per aquesta raó inclou 241 categories. No obstant això, per tal de comparar les diferents edicions temporals i analitzar l'evolució dels usos del sòl, tots els mapes s'han passat a una resolució comuna de 2,5 m x 2,5 m i després d'una anàlisi en detall que atén també les categories d'inundació utilitzades pels mapes de risc d'inundació, s'han classificat en 24 categories.

Tenint en compte l'heterogeneïtat de

la regió i les seves característiques hidràuliques s'ha aplicat un mètode simplificat per estimar l'escorrentia, basat en l'aplicació dels coeficients d'escorrentia proposats per Chow *et al.* (1988) per als períodes de retorn de 2, 5, 10, 25, 50, 100 i 500 anys. Les 24 categories originals s'han agrupat en 7, en funció de les propietats de permeabilitat del sòl. S'ha calculat un coeficient d'escorrentia per a cada període de retorn i permeabilitat.

Després s'ha calculat el coeficient mitjà per a cada un dels municipis.

L'àrea metropolitana de Barcelona s'ha vist afectada per 127 episodis d'inundació entre 1900 i 2010, dels quals concretament 97 són entre 1981 i 2010 (període on la recerca es va fer dia per dia), concentrats als municipis de la costa i l'eix del riu Llobregat (Barcelona n'ha registrat el màxim nombre, amb 64 episodis, seguida de Castelldefels, amb 25 esdeveniments). Dels 97, 15 d'aquests episodis han tingut impactes catastròfics en alguna zona de Catalunya durant aquest període, dels quals, el 53 % també van tenir efectes catastròfics a l'àrea d'estudi. La major part dels episodis es concentren entre l'agost i l'octubre, si bé els episodis catastròfics s'han produït els mesos de setembre, octubre i novembre. El màxim s'enregistra al setembre amb un 30 % del total, i el 24 % són episodis extraordinaris i el 14 %, catastròfics. En general, són inundacions sobtades (*flash floods*) locals i inundacions urbanes associades a episodis de pluja curts i molt intensos.

## 2. Impacte i evolució del nombre d'inundacions

---

Hi ha un cert augment d'inundacions a l'AMB en el període 1981 - 2010 (excepte a Barcelona) principalment per pluges *in situ*, i a conseqüència principalment del canvi d'usos del sòl i l'augment de la cobertura impermeable.

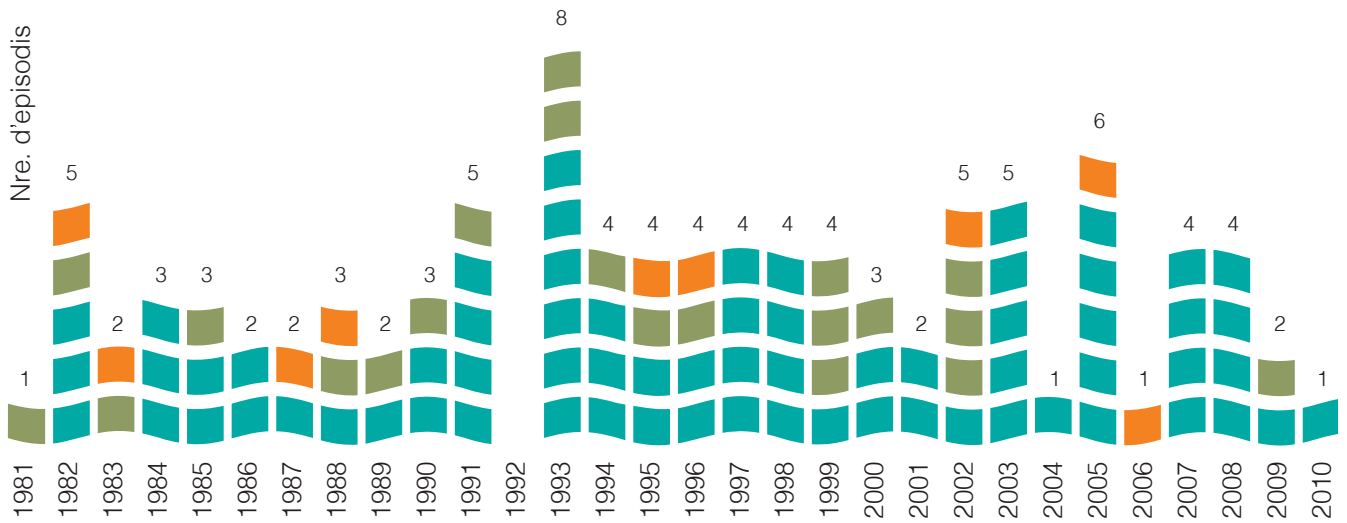
---

La figura de la pàgina 9 mostra l'evolució dels episodis d'inundació per a aquest període. Tot i que s'ha trobat una tendència positiva per al període de 1900 a 2010, no hi ha cap tendència significativa per al de 1981 a 2010. Però quan la sèrie considera l'àrea metropolitana sense Barcelona, es troba una lleugera tendència positiva. Per contra, Barcelona té una tendència negativa significativa de  $-0,2$  episodis extraordinaris/dècada i  $-0,1$  inundacions catastròfiques/dècada. Aquest fet és coherent amb l'eficiència de les infraestructures de drenatge (incloent-hi els dipòsits pluvials) en la reducció i mitigació dels efectes dels episodis d'inundacions amb intensitats i quantitats elevades de precipitació a la ciutat. **Aquesta xarxa de drenatge, unida als dipòsits pluvials i el sistema d'alerta del riu Besòs, ha merescut el reconeixement de Barcelona per la UNISDR (Oficina de les Nacions Unides per la Reducció de Desastres) com a ciutat "resilient" davant les inundacions. Tanmateix, encara està pendent la millora de la resiliència i actuacions preventives de la població, la qual cosa implica una inversió en la millora de la sensibilització, coneixement del risc i autoprotecció.**

Així, aquest tipus d'informació és més útil per estudiar els episodis concrets que analitzar-ne l'evolució temporal. Des d'aquest punt de vista, l'episodi del 14 de setembre de 1999 va produir a Barcelona (Observatori Fabra) una precipitació de 75 mm (un període de retorn de 5 anys, però 43 mm en 30 minuts), i un cabal màxim del riu Llobregat (a Sant Joan Despí) de  $197,3 \text{ m}^3/\text{s}$  (la mitjana és aproximadament d'uns  $20 \text{ m}^3/\text{s}$ ) corresponent a un període de retorn de 2,2 anys. Aquests valors són coherents amb els obtinguts a partir d'una anàlisi de freqüència, tenint en compte tots els episodis d'inundació extraordinaris i catastròfics que han afectat l'àrea metropolitana de Barcelona. **El valor mitjà de la precipitació real en aquest territori és de 169 mm i 74 mm, per a les**

inundacions catastròfiques i extraordinàries respectivament, que correspon a un període de retorn de 190 anys i 5 anys en cada cas. No obstant això, els períodes de retorn en el cas del cabal del riu són de 10 i 2 anys, respectivament.

**Evolució del nombre anual d'episodis d'inundació a l'àrea metropolitana de Barcelona (1981-2010), atenent les diferents categories**



### 3. Precipitació i escenaris futurs

---

Amb uns escenaris de precipitació encara massa incerts, no s'observa cap tendència significativa, amb valors propers als 100 mm per a períodes de retorn de 10 anys (usualment associats amb inundacions extraordinàries), i als 200 mm per a períodes de retorn de 500 anys (sempre associats a inundacions catastròfiques).

---

L'estudi de les tendències dels valors de precipitació extrema a l'Observatori Fabra i les sèries del Prat de Llobregat i de Barcelona, per als períodes 1940-2010 i 1981-2010 no s'observa cap tendència significativa, la qual cosa implica que **qualsevol canvi detectat fins ara en els episodis d'inundació estaria relacionat amb canvis d'usos del sòl, vulnerabilitat i exposició**. L'anàlisi d'escenaris futurs ha tingut en compte com variarien els períodes de retorn per al període 2011-2050 en comparació amb el període 1961-2000 (Observatori Fabra), considerant la mitjana dels models regionals. Per això s'han tingut en compte les sortides dels 11 escenaris regionals del projecte ENSEMBLES (Turco *et al*, 2013), que posteriorment s'han reduït a unes escala amb resolució de 20 x 20 km, i s'han pres els resultats per a la zona on es troba l'àrea metropolitana.

### 4. Divulgació i participació activa del ciutadà

---

La disminució del grau de tolerància de la població envers les incomoditats ocasionades per les inundacions, unit a l'augment de cobertura periodística, ha portat a intensificar la percepció ciutadana que aquests episodis i els seus impactes són cada cop més freqüents i greus.

---

Una de les formes per conscienciar millor la població dels riscos als quals està exposada és el que es coneix com a "despertar la memòria històrica", mitjançant **exposicions, vídeos, etc.** En aquest estudi s'han il·lustrat els episodis d'inundació de setembre de 1962 i de 1971, novembre de 1982, octubre de 1987 i de 1994, i juny de 2000. A més **s'ha creat una aplicació per al mòbil "FLOODUP" (descarregable al Google Play o a l'Apple Store), que inclou informació i permet enviar fotografies i testimonis sobre inundacions, i geolocalitzar-ho en un mapa, associat al [web FLOODUP](#).**

**Efectes de les inundacions del 1962.**

Font: Arxiu GAMA UB



**Cotxe arrossegat per la riera a Sant Joan Despí a l'episodi del 1962.**

Font: R. Lloret



**Pont N-II entre Abrera i Esparreguera destruït a l'episodi del 2000.**

(Font: GAMA)



**Riu Llobregat a Monistrol, any 2000**

(Font: GAMA)



## CAL EVITAR LES SOLUCIONS ESTRUCTURALS I TENDIR CAP A SOLUCIONS MÉS SOSTENIBLES I PARTICIPATIVES

Un objectiu a tenir present és que tota l'àrea metropolitana de Barcelona pugui ser reconeguda per Nacions Unides com a conjunt de municipis resilents, tenint en compte mesures estructurals i no estructurals, i incloent-hi la participació ciutadana com a agent actiu i el coneixement del risc mitjançant activitats de recuperació de la memòria històrica, lúdiques, formatives, etc.

**1** **L'àrea metropolitana de Barcelona es veu afectada per una mitjana superior a tres episodis d'inundació anuals, alguns dels quals tenen efectes catastròfics.** La freqüència d'aquest tipus d'episodi és molt superior a la considerada per episodis catastròfics a tot l'Estat espanyol, que li associaria un període de retorn de 500 anys. En aquest estudi s'han trobat inundacions catastròfiques amb períodes de retorn inferiors als 200 anys pel que fa a precipitació mitjana a tot el territori metropolità, i als 50 anys quan ens referim a cabals.

**2** A conseqüència d'aquestes inundacions van perdre la vida 11 persones entre 1981 i 2010, i les compensacions pagades pel CCS (Consortio de Compensación de Seguros) van superar els 66 milions d'euros entre 1996 i 2010. Conseqüentment, **no hi ha cap dubte a considerar les inundacions com un dels riscos naturals més importants que afecten l'àrea metropolitana de Barcelona.**

**3** En aquest context, **les mesures estructurals s'han d'evitar sempre que sigui possible, i cal tendir cap a solucions més sostenibles,** entre les quals es trobarien:

- tornar als rius els seus espais naturals i històrics transformats en espais permanentment oberts i verds al costat i dins de les ciutats,
- millorar les noves formes de conducció d'aigües pluvials cap a aquests espais fluvials,
- utilitzar-los com a magatzems naturals quan sigui necessari
- i permetre que les inundacions arribin a les línies de costa tant com sigui possible, per tal de restaurar la seva funció en la regeneració de platges i ecosistemes costaners.

Es recomana una urbanització que apliqui mesures de reducció de l'escolament (paviments permeables, per exemple) amb la finalitat d'actuar sobre la "demanda" i realitzar, als llocs on sigui possible, la rehabilitació o restauració dels cursos fluvials, que respecti o recuperi els seus valors naturals alhora que contribueix a lluitar contra les inundacions.

**És necessari plantejar un canvi de mentalitat en l'estratègia de recollida i conducció de les aigües de pluja i en la funció de les xarxes de sanejament davant les avingudes.** Cal fer un canvi de mentalitat en l'estratègia de recollida i conducció de les aigües de pluja, i es recomana enfocar les futures polítiques de gestió cap a pensar formes de gestionar les grans avingudes sense necessàriament haver d'incrementar notablement la capacitat del clavegueram i/o retenció.

---

**4** El darrer informe de l'IPCC (2014) apunta un augment del risc d'inundació, però sobretot dels seus impactes socioeconòmics. Atenent els acords de Hyogo i els més recents de Sendai (UNISDR, 2007, 2015), proclamats per Nacions Unides en relació amb els riscos i desastres, i als Objectius del Desenvolupament Sostenible 2015-2030, la **millora de les mesures de prevenció i resiliència davant les inundacions ha de tenir un fort component social i sostenible, i han d'anar de la mà de més apoderament i coresponsabilitat, no sols de la població, sinó també del sector privat i de l'administració local i regional.**

---



