
This is the **published version** of the bachelor thesis:

Nicolás Escamilla, Pau; Meneses Benitez, Montse , dir. Smart cities, ciutats en expansió: Creació de nous barris intel·ligents. 2025. 20 pag. (Grau en Gestió de Ciutats Intel·ligents i Sostenibles)

This version is available at <https://ddd.uab.cat/record/317295>

under the terms of the  license

Smart cities, ciutats en expansió: Creació de nous barris intel·ligents

Pau Nicolás Escamilla

20/6/2025

Resum– Aquest treball final de grau analitza les claus per al desenvolupament de barris intel·ligents dins les smart cities, amb l'objectiu de promoure una urbanització sostenible, eficient i centrada en el benestar ciutadà. A partir d'una revisió bibliogràfica i l'anàlisi de casos pràctics nacionals i internacionals, s'exposen diferents estratègies en àmbits com l'energia, l'aigua, la mobilitat, la gestió de residus, la qualitat ambiental i la governança digital. El treball posa en relleu la necessitat de coordinar els esforços municipals sota una visió unificada, que superi la fragmentació actual i permeti avançar cap a una ciutat més integrada, resiliència i participativa.

Paraules clau– Smart cities, barris intel·ligents, urbanisme sostenible, transformació urbana, governança digital, infraestructures intel·ligents.

Abstract–This final degree project analyzes the key factors for the development of smart neighborhoods within smart cities, with the aim of promoting sustainable, efficient urbanization focused on citizen well-being. Based on a literature review and the analysis of national and international case studies, it presents various strategies in areas such as energy, water, mobility, waste management, environmental quality, and digital governance. The project highlights the need to coordinate municipal efforts under a unified vision that overcomes current fragmentation and enables progress toward a more integrated, resilient, and participatory city.

Keywords: Smart cities, smart neighborhoods, sustainable urbanism, urban transformation, digital governance, intelligent infrastructure.

1 INTRODUCCIÓ

Aquest treball té com a objectiu principal descriure i analitzar els diferents elements que cal tenir en compte per al desenvolupament d'una ciutat intel·ligent o smart city. Aquest tipus de ciutat utilitza estratègicament les Tecnologies de la Informació i la Comunicació (TIC) per millorar la gestió urbana, promoure un desenvolupament sostenible i augmentar la qualitat de vida dels seus ciutadans. En un context de creixement demogràfic i transformació del territori en espais urbans, moltes ciutats es veuen obligades a ampliar-se i adaptar-se. Aquesta transformació ha de ser planificada, dissenyada i implementada mitjançant sistemes

de gestió més eficients i eficaços, que permetin oferir serveis públics de qualitat malgrat la limitació pressupostària habitual en l'àmbit municipal. Una smart city no es limita a la implementació d'eines digitals, sinó que implica una transformació integral de la ciutat mitjançant la integració de dimensions físiques, digitals i humanes. Aquesta visió global permet afrontar els reptes contemporanis amb eficiència, inclusivitat i resiliència. En aquest sentit, la ciutat intel·ligent és concebuda com un sistema complex de persones que interactuen mitjançant fluxos d'energia, materials, serveis i informació, amb l'objectiu de generar una gestió transparent, participativa i orientada a les necessitats socials i econòmiques de la ciutadania. Els objectius específics que es proposa assolir aquest estudi són:

- E-mail de contacte: pau.nicoesca@gmail.com
- Treball tutoritzat per: Montse Meneses Benitez (Àrea d'Enginyeria de Sistemes i Automàtica)
- Curs 2024/2025

- Identificar els elements fonamentals que configuren una ciutat intel·ligent.
- Analitzar com es poden integrar aquests elements en la planificació urbana de manera cohesionada, superant

la fragmentació actual.

- Contribuir a una visió integrada per a la creació de nous barris intel·ligents, basada en l'anàlisi de bones pràctiques i casos reals.

2 METODOLOGIA

1. Revisió de literatura: es realitzarà una revisió exhaustiva de la bibliografia i de documents institucionals rellevants sobre smart cities, incloent-hi informes de bones pràctiques, plans urbanístics i guies de desenvolupament sostenible.
2. Anàlisi de casos concrets: s'estudiaran diferents projectes de ciutats intel·ligents, tant d'àmbit nacional com internacional, per identificar quins elements es repeteixen i quins són específics de cada context. Es donarà una atenció especial als casos on s'ha construït un barri o zona intel·ligent des de zero, avaluant la seva viabilitat i eficiència.
3. Comparació i integració: es buscarà generar una proposta cohesionada a partir de la comparació entre els diferents casos, identificant els factors clau que han de ser presents en qualsevol planificació urbana que aspiiri a la intel·ligència i sostenibilitat. Aquesta metodologia permetrà oferir una visió global i integradora de la realitat de les ciutats intel·ligents, així com propostes concretes per a la seva aplicació efectiva en el context actual.

3 ESTRATÈGIA GENERAL

El desenvolupament de les ciutats intel·ligents requereix una visió integrada que vagi més enllà de la mera aplicació de tecnologia. No n'hi ha prou amb implementar eines digitals: cal transformar la manera com les ciutats s'organitzen, interactuen i evolucionen. En aquest sentit, l'estratègia general s'ha de fonamentar en una planificació urbana capaç d'integrar infraestructures físiques, dades digitals i necessitats humanes dins un sistema coherent, flexible i adaptatiu. Aquesta transformació ha d'estar guiada per criteris de sostenibilitat, eficiència i inclusió, per tal de donar resposta als reptes complexos que afronten les ciutats contemporànies.

Les smart cities assumeixen que tots els àmbits urbans, del transport als serveis socials, poden optimitzar-se mitjançant l'ús intel·ligent de dades, però aquesta transformació va més enllà de la tecnologia i implica també reptes organitzatius, polítics i ètics. Si bé s'han impulsat nombrosos projectes amb resultats prometedors, la implantació real d'un model de ciutat plenament intel·ligent continua trobant dificultats importants. La més destacada és la manca de coordinació transversal entre les diferents àrees de gestió municipal, així com la fragmentació de les dades i la dependència de solucions tecnològiques tancades o no interoperables.

En moltes ciutats, els departaments operen de manera compartimentada, utilitzant sistemes propis que no comparteixen dades ni protocols comuns. Aquesta fragmentació produeix caus d'informació que limiten greument la possibilitat de construir una visió global de la ciutat. A més, l'absència d'un sistema unificat d'informació dificulta

la presa de decisions informades, l'avaluació de polítiques públiques i la participació ciutadana. La interoperabilitat entre sistemes, la normalització dels formats de dades i la utilització de plataformes obertes són encara dèficits estructurals en molts contextos.

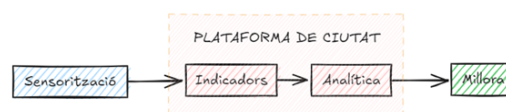


Figura 1: Procés obtenció informació

Davant d'aquest escenari, aquest estudi exposa i esmenta diverses idees i iniciatives dirigides a l'elaboració d'un recull sistematitzat de projectes de ciutat intel·ligent, el qual pot esdevenir el fonament per al disseny d'una infraestructura urbana centralitzada de dades, amb l'objectiu de promoure un model de smart city més integrador i transversal entre les diferents àrees de gestió urbana.

La creació d'una infraestructura urbana centralitzada de dades hauria de fonamentar-se en tecnologies obertes i protocols d'interoperabilitat bidireccionals, amb la finalitat de garantir la connexió fluida i l'intercanvi d'informació en temps real entre dispositius, sensors i serveis públics. Aquesta xarxa ha de ser accessible tant per als gestors municipals com per a la ciutadania, seguint els principis de dades obertes (open data) i govern obert, i fomentant així una gestió més transparent, participativa i democràtica.

La base de dades resultants hauria de facilitar l'anàlisi del comportament urbà i impulsar una planificació estratègica, alhora, amb l'estudi de la nova informació, milloraria la capacitat de resposta davant situacions d'emergència o canvis en l'entorn. A més, aquesta infraestructura compartida permetria desenvolupar una aplicació conjunta, enfocada a la visualització de la informació per part de la ciutadania general, amb intenció de garantir un accés fàcil i intuïtiu mitjançant elements pràctics i visuals, com ara mapes, gràfics o panells interactius, que integrés la gestió de diversos serveis municipals, superant la fragmentació actual i promovent un model de ciutat intel·ligent més transversal i coordinat, en què l'ús d'indicadors mesurables i sistemes d'avaluació contínua fos clau per garantir una millora constant de les polítiques públiques i orientar el desenvolupament territorial cap al benestar col·lectiu i una gestió més eficient dels recursos urbans.

4 ESTRATÈGIA ENERGÈTICA

4.1 Bàculs modulars

Els bàculs intel·ligents són dispositius urbans que integren tecnologia LED eficient, diferents tipus de sensors i connectivitat red, convertint-se en nodes de l'Internet de les Coses (IoT). Aquests punts poden fer múltiples funcions alhora, poden oferir connectivitat digital mitjançant Wi-Fi, punts de carrega elèctrica, servir com a punt de recollida de dades incorporant diferents sensors o actuar com a plataformes de comunicació ciutadana a través de la difusió d'alertes o missatges d'interès públic.

Gràcies a aquesta integració tecnològica, els bàculs intel·ligents permeten regular de manera remota i adaptativa la intensitat lumínica segons variables com la presència de

persones, la llum natural, el trànsit o les condicions meteorològiques. La informació recollida es centralitza en plataformes de gestió que controlen tota la xarxa d'enllumenat, fet que facilita l'optimització del consum energètic mitjançant llums LED i sistemes de regulació intel·ligent. A més, la telegestió possibilita la detecció automàtica d'avaries i elimina la necessitat d'inspeccions manuals, reduint així els costos operatius i millorant l'eficiència global del servei. *Imatge 3*

- Barcelona ha integrat bàculs LED intel·ligents, equipats amb sensors ambientals (soroll, trànsit, meteorologia) i connectats a la plataforma Sentilo [1], un sistema de gestió de dades obert desenvolupat específicament per a l'entorn urbà.[2] *Imatge 2*

4.2 Xarxes energètiques intel·ligents

La transició cap a un model energètic més eficient, sostenible i descentralitzat exigeix el desenvolupament d'una xarxa intel·ligent unificada, basada en tecnologies digitals i protocols interoperables que permetin gestionar en temps real la generació, distribució i consum d'energia. Aquesta xarxa ha de facilitar la integració de fonts renovables, reduir les pèrdues i equilibrar la demanda mitjançant sistemes de tarifació dinàmica, automatització i monitoratge. A més, cal garantir l'accés a dades de consum diferenciades segons l'ús (residencial, comercial, institucional) amb mecanismes de protecció de la privacitat.

La participació ciutadana mitjançant comunitats energètiques o espais de governança local permet fomentar l'autogestió i augmentar l'acceptació social del nou model. Tanmateix, la seva implementació comporta reptes com la inversió inicial, la necessitat d'un marc legal clar, la interoperabilitat tecnològica i el respecte estricte a la protecció de dades. Per això, les polítiques públiques han de promoure normatives adaptades, incentius per a la innovació i el desplegament tecnològic, així com accions formatives per empoderar els ciutadans.

- El projecte InovGrid desplegar a Évora (Portugal) com a prova pilot per a tecnologies de xarxes intel·ligents amb una infraestructura elèctrica avançada que permetés una gestió més eficient i sostenible de l'energia.

Es van instal·lar 30.000 comptadors intel·ligents (energy boxes) en llars i 40.000 controladors en transformadors de distribució, integrats amb els sistemes centrals d'EDP[3]. Aquesta infraestructura va permetre monitoritzar el consum en temps real i integrar fonts d'energia distribuïda, com les renovables i els punts de recàrrega per a vehicles elèctrics.

Els resultats van incloure una millora del servei elèctric, reducció dels costos operatius i un impuls a l'eficiència energètica i la sostenibilitat ambiental. A més, es va fomentar la participació dels consumidors a través d'interfícies digitals que proporcionaven informació detallada sobre el consum, afavorint un ús més conscient de l'energia.[4] [5] [6] *Imatge4*

- EnergyLab Nordhavn és un projecte pilot ubicat al districte de Nordhavn, a Copenhaguen, orientat a la integració intel·ligent de sistemes energètics urbans com

l'electricitat, la calefacció, la refrigeració i la mobilitat. Mitjançant tecnologies com subestacions de baixa temperatura, termòstats intel·ligents, sistemes de bateries i sensors connectats a una plataforma central, el projecte ha aconseguit reduccions significatives en la demanda tèrmica, 68%[7] en edificis pilot, i una gestió eficient de l'energia en temps real el qual permet la recuperació d'energia sobrant i l'optimització del consum segons la disponibilitat de renovables.[8]

4.3 Energia solar urbana

Disseny de la producció energètica urbana La incorporació de l'energia solar al teixit urbà constitueix una de les estratègies més rellevants en la transició cap a un model de ciutat sostenible, resilient i una reducció directa de les emissions de CO₂. Gràcies a l'ús d'eines digitals com els sistemes d'informació geogràfica (GIS), els sensors remots, la tecnologia LIDAR o els models tridimensionals, és possible identificar amb precisió els espais amb major potencial fotovoltaic, principalment cobertes ben orientades i zones lliures d'ombres estructurals. L'energia produïda es complementa amb bateries i sistemes de gestió intel·ligent que permeten emmagatzemar excedents i optimitzar el consum mitjançant monitoratge en temps real. La planificació ha d'incorporar criteris d'equitat, vetllant perquè els beneficis de les instal·lacions fotovoltaïques arribin a tota la ciutadania i no només als barris amb més recursos. En aquest sentit, es desenvolupen iniciatives comunitàries i projectes d'autoconsum compartit que fomenten la participació ciutadana i l'empoderament energètic, així com serveis de suport tècnic i assessorament a través d'oficines locals d'energia. Aquest enfocament participatiu contribueix a reduir la pobresa energètica i promou una governança col·laborativa en l'àmbit de l'energia.

- El projecte Vilawatt, impulsat per l'Ajuntament de Viladecans amb el suport de la Unió Europea, constitueix una iniciativa pionera en l'àmbit de la transició energètica urbana. El seu objectiu és transformar el model de gestió i consum energètic mitjançant la creació de comunitats energètiques locals formades per ciutadania, administració i empreses.

Aquestes comunitats comparteixen l'energia renovable generada a escala municipal i fomenten un autoconsum col·lectiu més eficient i accessible a través de la instal·lació de sistemes fotovoltaics en edificis públics i privats, així com de serveis d'assessorament tècnic i comercialització d'energia 100% renovable. El projecte inclou també punts de càrrega per a vehicles elèctrics, sistemes de transport compartit i una moneda local pròpia (Vilawatt [9]) concebuda per reforçar l'economia circular i incentivar el comerç local vinculat a la sostenibilitat.[10]

- El Mapa Solar Interactiu de València és una eina digital que permet a la ciutadania avaluar el potencial fotovoltaic de les teulades de la ciutat. Desenvolupada per l'empresa ImpactE [13] amb finançament europeu, la plataforma utilitza una interfície accessible i tecnologies d'anàlisi avançades per estimar la producció solar, la inversió requerida, el període de retorn i els estalvis econòmics i ambientals associats. El mapa cobreix

tot el terme municipal i s'acompanya d'un servei d'assessorament a través de l'Oficina de l'Energia [14]. Aquesta iniciativa forma part d'una estratègia municipal per fomentar l'autoconsum energètic i la participació ciutadana en la transició ecològica, reforçant així el compromís de València amb un model urbà més sostenible i descentralitzat.[12] *Imatge5*

- L'Ajuntament de Barcelona ha posat en marxa un pla per triplicar la potència solar municipal entre 2023 i 2027, passant de 5,8MW a més de 19MW. Aquesta estratègia inclou la instal·lació de plaques fotovoltaïques en escoles, biblioteques i centres cívics, dins el marc de la transició cap a la neutralitat climàtica. El projecte forma part d'una política energètica més àmplia que fomenta l'autoconsum, les comunitats energètiques i la participació ciutadana[11]

5 ESTRATÈGIA HÍDRICA

5.1 Dipòsits urbans

Davant l'amenaça creixent del canvi climàtic i la recurrència d'episodis extrems com les sequeres prolongades i les inundacions sobtades, l'emmagatzematge i la reutilització de l'aigua emergeixen com a estratègies clau per minimitzar la dependència de fonts convencionals, reforçar la seguretat hídrica i promoure un model més sostenible de gestió del cicle urbà de l'aigua. Endemés, s'estan desplegant diverses solucions tècniques i naturals orientades a la captació, emmagatzematge i reutilització d'aquest recurs. Destaquen iniciatives com la reutilització d'aigües grises per a usos no potables, la instal·lació de dipòsits subterranis per recollir l'aigua de pluja, el desenvolupament de paviments permeables i cobertes verdes, així com la implementació de sistemes de microemmagatzematge distribuït a escala d'edifici o barri. Aquest conjunt d'actuacions integrades contribueix a augmentar la resiliència urbana davant fenòmens hidrometeorològics extrems, alleugerir la pressió sobre les infraestructures de sanejament i millorar la qualitat ambiental dels entorns urbans.

- Tòquio ha adoptat mesures eficients per a la gestió sostenible de l'aigua, destacant la reutilització d'aigües grises per a usos no potables en edificis de gran superfície, obligats per normativa a implementar sistemes de reciclatge intern. Paral·lelament, la ciutat ha promogut la captació d'aigua de pluja, amb exemples com el pavelló Ryōgoku, que emmagatzema fins a 1.000m³ d'aigua pluvial i cobreix el 70% [15] del seu consum. Actualment, més d'un miler d'edificis compten amb sistemes similars, contribuint a reduir la pressió sobre els recursos hídrics i a mitigar el risc d'inundacions.[16]
- Los Angeles ha desenvolupat una infraestructura subterrània pionera per a la captació i gestió d'aigua de pluja, amb pous d'infiltració i cisternes de gran capacitat integrades al subsòl urbà. A East L.A., s'han instal·lat pous que permeten infiltrar fins a 26.000 m³ d'aigua recollida d'una àrea de 1.200 hectàrees[17], mentre que al parc Los Amigos s'ha construït una cisterna de 10 milions de litres [18] per emmagatzemar aigua

destinada al reg de zones verdes. Aquestes infraestructures permeten retenir grans volums d'aigua que, d'altra manera, es perdrien al mar, alhora que afavoreixen la recàrrega dels aqüífers i la resiliència hídrica de la ciutat.[19]

5.2 Gestió hídrica

La gestió òptima dels recursos hídrics exigeix un seguiment detallat i permanent dels consums, amb una diferenciació clara per sectors d'activitat, seguretat informàtica i un registre de dades en temps real i integrades en plataformes de supervisió i anàlisi.

En casos com la detecció d'anomalies i fuites es basa en una xarxa de sensors distribuïts que mesuren pressió, flux i vibracions la detecció ha de ser precoç; mitjançant tècniques d'intel·ligència artificial i models predictius, identifiquem patrons irregulars i anticipem possibles disfuncions de la xarxa. Pel que fa a la qualitat de l'aigua i les condicions ambientals es supervisen amb sensors que mesuren indicadors químics i físics, així com factors externs com la pluviositat o el nivell freàtic. Això contribueix tant a la reducció de pèrdues com a la prolongació de la vida útil de les infraestructures.

D'altra banda el control del subsòl es realitza amb tecnologia avançada com la fibra òptica distribuïda o sistemes autònoms d'inspecció interna, que permeten detectar fuites invisibles i monitorar l'estat estructural de les conduccions enterrades. Tot aquest ecosistema tecnològic s'integra en models analítics complexos com els gemells digitals, que simulen el comportament de la xarxa i n'afavoreixen una gestió predictiva i resilient.

- Houston ha desenvolupat un bessó digital integral del seu sistema d'aigua amb l'objectiu de modernitzar-ne la gestió i millorar la tenacitat del sistema. Aquest model virtual replica digitalment tota la infraestructura hídrica de la ciutat, integrant dades procedents de sistemes SCADA [20], cartografia GIS [21], i estan implementant mesures en temps real provinents de tecnologies AMI [22].

La incorporació d'aquestes dades permet simular el comportament de la xarxa davant escenaris complexos, com ara talls de subministrament, increments sobtats en la demanda, incidències de qualitat, l'expansió de capacitat de subministrament i a reduir la dependència d'aqüífers, afavorint una explotació més sostenible de l'aigua superficial. Actualment, el model es troba en fase de desplegament avançat, amb previsió de culminar-se abans del 2027, en col·laboració amb l'empresa Arcadis [23]. *Imatge6*

- Singapur ha integrat tecnologia puntera en la gestió de l'aigua mitjançant el projecte NUSwan [24]. El projecte es basa en l'ús de cignes robòtics autònoms, que imiten l'aspecte d'un cigne per no alterar l'ecosistema, dissenyats per navegar per embassaments i llacs mentre analitzen la qualitat de l'aigua en temps real. Incorporen sensors que mesuren variables com el pH, la terbolesa, l'oxigen dissolt o la temperatura. Les dades recollides es transmeten a sistemes centrals de control, facilitant una resposta ràpida davant possibles contaminacions. *Imatge7 Imatge8*

5.3 Reg intel·ligent

En el context actual d'escassetat hídrica i canvi climàtic, els sistemes de reg intel·ligents emergeixen com una solució essencial per minimitzar el consum d'aigua en espais verds urbans i agrícoles. Aquests sistemes connecten sensors i actuadors en parcs i jardins per optimitzar el subministrament hídric, regant només quan és estrictament necessari, tenint en compte l'estat del sòl, les condicions de la planta i la climatologia, tant actual com prevista.

La base tecnològica d'aquests sistemes es fonamenta en la Internet de les Coses (IoT), utilitzant sensors d'humitat *Imatge9*, temperatura *Imatge10*, llum *Imatge11* i sensors foliaris *Imatge12*. Les dades recollides es processen mitjançant algoritmes basats en regles agronòmiques [25] i, en alguns casos, amb suport d'intel·ligència artificial [26] per determinar la quantitat i el moment òptim per regar. Això afavoreix no només una gestió eficient de l'aigua, sinó també un creixement saludable de les plantes i una reducció significativa dels costos operatius.

Els dispositius que conformen aquests sistemes han de ser operables en remot, interoperables entre si i fonamentats en sistemes oberts i segurs. Sempre que sigui possible, s'ha de prioritzar l'ús d'aigua regenerada per reduir l'impacte ambiental.

Els sistemes de reg intel·ligent, gestionats mitjançant plataformes IoT, permeten adaptar el reg a condicions canviants gràcies a la integració de dades com la previsió meteorològica, els esdeveniments o el nivell dels dipòsits. Aquesta gestió eficient es veu reforçada per l'obertura i la interoperabilitat de dades, que afavoreixen una coordinació transversal i resilient. *Imatge13*

- Hi ha diversos casos pràctics evidencien l'eficàcia d'aquesta tecnologia. El projecte pilot del GEAR Lab del MIT al Marroc [27] va aconseguir una reducció del 44% en el consum d'aigua i del 38% en el consum d'energia mitjançant l'ús de sensors simples i la implicació directa dels agricultors. Així mateix, iniciatives com CropX [28] han desenvolupat sensors de sòl connectats al núvol que permeten fer recomanacions de reg personalitzades a través d'una aplicació mòbil, assolint estalvis d'aigua de fins al 25%.

6 ESTRATÈGIA DE TRANSPORT I MOBILITAT

6.1 Mobilitat ciclista

Es proposa la creació de noves vies exclusives per a bicicletes, totalment connectades amb la infraestructura ciclista ja existent a la ciutat, assegurant així la continuïtat dels trajectes i la protecció dels usuaris. També s'implementaria la instal·lació d'aparcaments de bicicletes en punts estratègics com estacions de transport públic, centres comercials o escoles. Aquests aparcaments, preferentment intel·ligents, disposaran de sistemes de control d'accés amb targeta o aplicació mòbil, així com sensors per informar en temps real sobre disponibilitat i ocupació.

La sensorització no només serà present en aquests aparcaments, sinó que s'estendrà a tota la xarxa ciclista amb l'objectiu de monitorar el flux de bicicletes, detectar punts potencialment congestionats i facilitar la gestió del trànsit.

En cas que hi hagi bicicletes públiques disponibles, aquestes també estaran equipades amb sensors per recopilar dades d'ús.

Un altre aspecte clau és la consolidació o implementació d'una xarxa de bicicletes públiques compartides, útil especialment per a trajectes curts o per a persones que no disposen de bicicleta pròpia. Aquest servei podrà operar tant amb estacions fixes com amb sistemes de base lliure, i haurà d'estar integrat amb altres mitjans de transport urbà mitjançant plataformes digitals tipus MaaS (*Mobility as a Service*). Aquestes plataformes permetran als usuaris planificar rutes multimodals, localitzar bicicletes disponibles, consultar l'estat dels aparcaments i accedir a serveis complementaris com el transport públic o punts de càrrega elèctrica. També es contempla la implementació de semàfors específics per a ciclistes, fases semafòriques avançades que donin prioritat als usuaris de bicicleta, així com ones verdes ajustades a la velocitat mitjana d'aquest mitjà de transport.

- Barcelona ha implementat amb èxit el sistema de bicicleta compartida Bicing [36], amb més de 160.000 usuaris i una flota predominantment elèctrica. Aquest servei s'integra tecnològicament amb l'app Smou [37] i promou infraestructures com Bicibox[38], Park&Ride [39], superilles i zones 30 [40] per fomentar la mobilitat sostenible. *Imatge14*
- Utrecht (Països Baixos) té l'aparcament de bicicletes més gran del món, integrat amb el transport públic, amb 12.500 places, sensors digitals i serveis com OV-fiets [41], afavorint que més de la meitat dels desplaçaments urbans es facin en bicicleta. *Imatge14*

6.2 Passos de vianants

La seguretat dels vianants constitueix una prioritat creixent en la planificació urbana contemporània, especialment en entorns metropolitans on la interacció entre el trànsit rodat i la mobilitat a peu genera conflictes freqüents, gairebé un terç de les morts de vianants tenen lloc en passos de vianants senyalitzats [51], i en el 87% dels casos la persona afectada estava travessant correctament [52], sense infringir cap norma de circulació. Aquestes dades evidencien la ineficiència de l'actual disseny i protecció dels punts de travessia, que resulten clarament insuficients per garantir la seguretat de les persones.

Per tant, cal implantar passos de vianants elevats [53] *Imatge16*, que forcen la reducció de la velocitat dels vehicles i situen el vianant al mateix nivell que la vorera, fet que en millora tant la visibilitat com la percepció de prioritat. A més, la incorporació de passos intel·ligents [54] *Imatge17*, dotats de sensors de presència [55] *Imatge18*, enllumenat LED dinàmic [56] *Imatge19* i sistemes d'intel·ligència artificial [57] *Imatge20*, permet alertar els conductors i adaptar la regulació semafòrica en temps real segons el comportament del trànsit i la presència de vianants.

Paral·lelament, és imprescindible assegurar una visibilitat òptima durant la nit mitjançant una il·luminació específica focalitzada a la zona de pas i l'eliminació d'obstacles visuals, com ara vehicles mal aparcats o mobiliari urbà mal ubicat. Finalment, tots els passos de vianants han de complir els criteris d'accessibilitat universal [58],

absència d'esglaons, presència de rampes suaus, paviment tàctil i senyalització acústica. Aquestes mesures són essencials per garantir el dret a la mobilitat segura i autònoma de col·lectius especialment vulnerables, com les persones grans, les persones amb discapacitat o la infància.

- El projecte Smart Tampere, a Finlàndia, aplica intel·ligència artificial i IoT per optimitzar la gestió del trànsit de vianants. Mitjançant càmeres i sensors connectats a sistemes al núvol, el sistema detecta vianants en temps real i ajusta els semàfors segons la demanda, millorant tant la fluïdesa del trànsit com la seguretat viària. Amb una taxa de detecció del 99%, el sistema ha demostrat una alta fiabilitat, facilitant creuaments més segurs i eficients, especialment en zones de trànsit mixt. Aquest model integra tecnologia avançada i planificació urbana, posicionant com un referent de ciutat intel·ligent orientada a la mobilitat sostenible. [59]
- Pontevedra ha aconseguit una transformació urbana exemplar mitjançant un model de pacificació del trànsit centrat en el vianant. La reducció del límit de velocitat a 30 km/h, la instal·lació de passos elevats i l'ampliació de zones per a vianants han reduït en més del 70% els accidents amb víctimes i en un 90% els atropellaments, arribant a registrar anys sense morts per aquesta causa. A més, la mobilitat sostenible ha crescut més del 30%, amb més desplaçaments a peu o en bicicleta. Aquests resultats confirmen que una planificació urbana orientada a la seguretat i accessibilitat millora de manera significativa la convivència viària i la qualitat de vida. [60]

6.3 Punts de recàrrega

La mobilitat urbana està immersa en una transformació orientada a la sostenibilitat, amb la substitució progressiva dels vehicles de combustió pels vehicles elèctrics (VE). Aquest procés s'impulsa tant per l'increment de la demanda com de les polítiques públiques que afavoreixen la instal·lació de punts de recàrrega en espais públics i privats, garantint la visibilitat, la reserva exclusiva dels espais implementats.

Per tant, la implantació massiva i equitativa és imprescindible per garantir la cobertura territorial i l'accessibilitat universal dels punts de recàrrega a la via pública juntament amb les places d'aparcament exclusives.

Cal implementar una diversificació tecnològica i una gestió adequada segons les necessitats específiques de cada entorn urbà com un corrent altern semi-ràpid a zones residencials o un corrent continu ultraràpid en corredors de mobilitat o rutes de transport públic. Les plataformes tecnològiques permeten monitorar l'estat dels punts, gestionar reserves, la facturació i els informes de consum, millorant així tant l'eficiència operativa com l'experiència de l'usuari. Tanmateix, des del punt de vista de la sostenibilitat, també inclouen la integració de fonts netes, l'ús de sistemes intel·ligents i l'adaptació a franges horàries amb menor demanda elèctrica. *Imatge21*

- Oslo (Noruega) és pionera en la promoció dels vehicles elèctrics (EV) des de finals dels anys 2000. L'any 2010 ja disposava de més de 500 punts de càrrega públics i va obrir la major estació municipal d'Europa.

L'Ajuntament ofereix recàrrega i aparcament gratuïts, exempció de peatges i ús de carrils especials per a EVs. També subvenciona punts de càrrega privats i promou EVs en la seva flota pública. Aquestes polítiques han fet que el 2022 el 79% [66] dels cotxes nous a Noruega fossin elèctrics, convertint Oslo en un model mundial.

- A Barcelona, cada cop hi ha més vehicles elèctrics i en conseqüència ha facilitat un canvi. Iniciatives com Endolla Barcelona [67], amb més de 1.000 punts de recàrrega [68] i una app que mostra la disponibilitat en temps real. També és clau donar prioritat als vehicles nets i restringir els més contaminants, com passa a les Zones de Baixes Emissions. Això no només ha millorat la qualitat de l'aire, sinó que també dona una imatge positiva del cotxe elèctric i impulsa l'economia local.

6.4 Mobilitat urbana sostenible

La minimització de l'ús del cotxe és una prioritat per a les ciutats que volen avançar cap a un model més sostenible i eficient. Per assolir aquest objectiu, cal implementar una xarxa de transport públic de qualitat, competitiva i ambientalment responsable, acompanyada de mesures que limitin l'aparcament i desincentivin l'ús del vehicle privat.

Les ciutats intel·ligents utilitzen tecnologies digitals per optimitzar la mobilitat urbana. Entre les eines clau destaquen els sensors i sistemes IoT, la intel·ligència artificial i el big data, que permeten monitoritzar el trànsit, predir congestions i optimitzar rutes; i les aplicacions mòbils que integren diversos modes de transport i faciliten el pagament. Aquests avenços tecnològics milloren l'eficiència del sistema, redueixen les emissions i augmenten la confiança dels usuaris als transports col·lectius.

Gràcies a la disponibilitat de dades, és possible dissenyar polítiques públiques més eficaces, destaquen les zones de baixes emissions [75], el transport públic gratuït [76], els sistemes de Bus de Trànsit Ràpid [77], els peatges urbans [78] i el foment de la mobilitat activa [79]. A més, l'accessibilitat i la densitat de la xarxa de transport públic, juntament amb una gestió intel·ligent de l'estacionament i la promoció de modes de transport alternatius, esdevenen factors clau per disminuir el trànsit rodat.

- Tallinn (Estònia) va implantar el transport públic gratuït i millorar la infraestructura per als residents empadronats, convertint-se en la primera capital europea en aplicar aquesta mesura a escala urbana amb l'objectiu de reduir la dependència del vehicle privat, millorar la qualitat de l'aire i afavorir l'equitat d'accés a la mobilitat. L'impacte immediat va ser un augment del 14% en el nombre de viatges en autobús i tramvia, especialment entre joves i persones grans, així com la reducció del trànsit privat en alguns barris. [80] *Imatge22*
- Bogotá ha estat un referent mundial en la implementació del Bus de Trànsit Ràpid, aquest model inclou carrils exclusius, estacions amb prepagament i autobusos d'alta capacitat, i s'ha consolidat com una alternativa eficient al transport privat. La implantació va comportar una reducció mitjana del 19% en el temps de viatge, amb estalvis d'entre 11 i 14 minuts per trajecte on

també contribueix a la disminució de la contaminació. [81]

6.5 Integració urbana

Per garantir la integració efectiva d'un barri amb el seu entorn immediat i amb la resta de la ciutat, és fonamental desenvolupar una xarxa d'itineraris que afavoreixi la mobilitat activa i la connexió entre diversos punts d'interès. Aquests recorreguts han de contribuir a estructurar l'espai urbà mitjançant una trama de camins accessibles, segurs i ambientalment agradables, concebuts amb una visió estratègica que en permeti l'ampliació progressiva en el futur. La seva planificació ha de basar-se en l'ús d'eines tècniques, però també en processos participatius que integrin el coneixement i les necessitats de la ciutadania, amb l'objectiu de garantir una infraestructura coherent amb els principis d'inclusió, sostenibilitat i benestar col·lectiu.

La senyalització d'aquesta xarxa ha de combinar elements físics i digitals de manera harmonitzada. En l'àmbit físic, es proposa la instal·lació de pilons, bàculs o altres suports amb indicacions clares, que puguin incorporar il·luminació o tecnologies contextuais per millorar la visibilitat i la comprensió dels recorreguts. Alhora, la informació ha d'estar accessible en formats digitals, mitjançant mapes interactius, aplicacions mòbils i plataformes web que facilitin l'orientació, la consulta ciutadana i la planificació personalitzada dels desplaçaments.

- Decidim [82] és una plataforma digital de codi obert creada per l'Ajuntament de Barcelona per fomentar la participació ciutadana en la presa de decisions públiques. Permet proposar, debatre i votar projectes, especialment en l'àmbit urbanístic, com la transformació de carrers, places o espais verds.

Els ciutadans poden participar mitjançant pressupostos participatius, consultes i mapes interactius, aportant coneixement local i influenciant directament la planificació urbana, ha estat adoptat per molts ajuntaments a través de la xarxa. [83]

- L'Ajuntament de Sabadell va impulsar un pla de camins amb l'objectiu de crear una xarxa coherent i funcional de camins que connecti l'espai urbà amb el rodal i amb els municipis veïns. El projecte proposa la recuperació de camins històrics, ramaders i tradicionals, així com la creació d'itineraris nous per fomentar una mobilitat sostenible i activa.

La característica principal del pla és la proposta d'una senyalització inspirada en els sistemes excursionistes de muntanya, amb pals indicadors que assenyalen direccions, distàncies i temps estimats a peu o en bicicleta. Aquesta senyalització ha de facilitar l'orientació i afavorir l'ús dels camins tant per a activitats quotidianes com per a l'oci i el lleure. [84]

migratòries, mitjançant la creació d'hàbitats adequats i la implementació de tecnologies de monitoratge. Aquests sistemes permeten obtenir dades sobre el comportament, la salut i la interacció de la fauna amb l'entorn, facilitant una gestió basada en evidències.

Per afavorir la presència d'espècies, especialment d'aus, és fonamental dissenyar espais ben integrats amb l'entorn natural que ofereixin nius, zones de descans i refugis adaptats. Aquests espais poden ser monitoritzats mitjançant diverses tecnologies com càmeres, sensors de moviment, micròfons ambientals, GPS, sistemes RFID o sensors biomètrics, els quals permeten observar tant el comportament com l'estat de salut dels animals. Alhora, sistemes de detecció de presència i intrusions contribueixen a garantir la seguretat dels espais i dels individus que hi habiten.

La captació de dades a través d'aquestes tecnologies permet analitzar el moviment i la localització de les espècies, les condicions ambientals del seu entorn, les constants vitals i el seu estat de salut, així com les interaccions entre diferents animals. Aquesta informació és clau per entendre els hàbitats preferits, detectar canvis en els patrons migratoris, identificar malalties de manera precoç i millorar la gestió de la convivència entre espècies. A més, les dades recollides permeten desenvolupar estratègies de conservació específiques i activar sistemes d'alerta ràpida davant possibles amenaces.

Els espais prioritaris per instal·lar aquests sistemes són els refugis de fauna, zones protegides, entorns urbans amb fauna, rutes migratòries, zones humides i corredors ecològics urbans.

- Smart Nest Boxes (SNBox): Desenvolupades a la Universitat Txeca de Ciències de la Vida, són caixes niu equipades amb càmeres amb infraroigs, sensors de moviment, micròfons, termòmetres i lectors RFID. Permeten fer un seguiment detallat del comportament reproductiu d'aus, registrant dades com la freqüència d'alimentació i les condicions del niu. Aquestes caixes compleixen una doble funció: proporcionen refugi segur i generen dades valuoses per a la conservació. *Imatge23*
- Haikubox: És un dispositiu intel·ligent de reconeixement acústic. Es tracta d'una petita caixa amb micròfon que, instal·lada en jardins o balcons, escolta contínuament les vocalitzacions d'aus i les identifica en temps real mitjançant intel·ligència artificial connectada al núvol. Envia notificacions al mòbil quan detecta una nova espècie i enregistra els sons. A diferència d'altres eines, detecta també les aus que no s'apropen als comedors, ampliant així l'abast del monitoratge. A més, les dades es comparteixen en plataformes globals de ciència ciutadana, fomentant la participació pública i la sensibilització ambiental. *Imatge24*

7 ESTRATÈGIA AMBIENTAL

7.1 Monitoratge de la fauna urbana

L'objectiu fonamental és garantir el benestar, la seguretat i la conservació de les espècies animals, tant residents com

7.2 Refugis climàtics

Els efectes del canvi climàtic en els entorns urbans es manifesten amb una intensificació de les onades de calor i un increment dels fenòmens meteorològics extrems. En aquest context, una de les estratègies emergents per mitigar-ne les

conseqüències és la implementació de refugis climàtics urbans. Aquests es defineixen com espais, tant oberts com tancats, concebuts per proporcionar condicions de confort tèrmic durant episodis d'estrès ambiental elevat.

El disseny d'aquests espais incorpora una combinació d'infraestructura verda, l'arbrat autòcton [89], els horts urbans i jardins comunitaris [90], i la renaturalització de patis escolars [91], solucions arquitectòniques de caràcter bioclimàtic [92], incloent-hi pèrgoles [93], estructures d'ombra [94], tendals dinàmics [95] i microhivernacles [96]. A més, es suporta amb la integració de mobiliari urbà adaptat, fonts d'aigua [97], bancs ubicats en zones ombrejades [98] i sistemes de refrigeració passiva o activa [99] alimentats mitjançant energies renovables, com ara panells solars o sistemes de nebulització automatitzats [100].

La planificació i gestió d'aquests refugis es basa en l'ús de tecnologies digitals avançades i sensors IoT (Internet of Things), els quals permeten la monitorització i anàlisi de dades ambientals en temps real. Aquesta informació s'incorpora a plataformes obertes de gestió municipal, les quals faciliten l'elaboració de mapes de calor urbans que constitueixen una eina fonamental per a la identificació de zones amb risc tèrmic i per a la presa de decisions en matèria de planificació urbana sostenible. Paral·lelament, s'empren programes de simulació i modelització microclimàtica, com ara ENVI-met [101] [102], per predir el nivell de confort tèrmic i avaluar l'eficàcia de diverses solucions espacials.

- Polinature (Cambridge, EUA) és una instal·lació temporal situada a la Universitat de Harvard. Es tracta d'una torre d'entramats amb 1.400 plantes autòctones i tendals inflables. El sistema funciona amb panells solars on els tendals blancs il·luminen l'espai, mentre que els de color taronja alliberen aire fresc en funció de sensors de temperatura. El projecte afavoreix la biodiversitat urbana i ofereix confort tèrmic. *Imatge25*
- El Projecte OASIS, impulsat per la ciutat de París, transforma els patis escolars asfaltats en espais verds i frescos per combatre les onades de calor i afavorir la cohesió social. Les intervencions inclouen vegetació autòctona, ombres naturals, gestió sostenible de l'aigua i sòl permeable, tot dissenyat amb la participació de la comunitat educativa i el veïnat. A més, els patis s'obren a l'ús públic fora de l'horari escolar. Amb més de 130 escoles renovades fins al 2023 i l'objectiu de transformar-ne 770 abans de 2040, el projecte ha reduït la temperatura superficial i ha estat reconegut internacionalment, inspirant iniciatives similars. *Imatge26*

7.3 Acústica urbana

La contaminació acústica és un dels principals reptes ambientals en entorns urbans, amb impactes demostrats sobre la salut pública, com l'augment de l'estrès, les alteracions del son i els trastorns cardiovasculars [108].

Per tant, esdevé un recurs fonamental, la implantació de sistemes intel·ligents de monitoratge acústic amb sensors de baix cost integrats en infraestructures IoT. Aquests sensors permeten mesurar nivells de pressió sonora de manera objectiva i no invasiva, mentre que l'ús d'actuadors intel·ligents facilita respostes urbanes adaptatives. La incor-

poració de tècniques d'intel·ligència artificial permet classificar les fonts de soroll, identificar patrons i predir l'evolució acústica. Alhora, la participació ciutadana contribueix a enriquir el context de les dades recollides.

Les dades agregades s'analitzen mitjançant plataformes de big data [109] per generar mapes sonors [110] i orientar la presa de decisions. Aquestes tecnologies no només permeten identificar àrees problemàtiques i avaluar polítiques públiques, sinó que també afavoreixen el compliment normatiu i la integració amb altres sistemes urbans com la mobilitat o el control ambiental.

- El projecte SONYC (Sounds of New York City) busca gestionar la contaminació acústica urbana mitjançant tecnologia intel·ligent i participació ciutadana. Es basa en una xarxa de més de 55 nodes de sensors acústics de baix [111] consum que analitzen sons en temps real amb machine listening [112], identificant automàticament fonts com trànsit, música o obres. Això es complementa amb una aplicació mòbil perquè els veïns reportin incidències, combinant dades objectives i percepcions subjectives. L'objectiu és crear un centre de comandament que generi mapes sonors i permeti decisions municipals informades. [113] *Imatge27*
- En paral·lel dona lloc al mobiliari urbà dissenyat amb criteris acústics, elements com bancs fonoabsorbents *Imatge28*, paviments porosos *Imatge29*, pantalles vegetals *Imatge30* o estructures escultòriques *Imatge31* actuen com a barreres físiques que redueixen la propagació de les ones sonores en espais públics.
- Les pantalles acústiques instal·lades a la Gran Via de les Corts Catalanes mitjançant l'ús de panells fonoabsorbents de formigó reforçat i llana de roca, s'ha aconseguit una reducció notable de la contaminació acústica. Amb més de 1.500 mòduls distribuïts al llarg de 3,7 km, el projecte integra criteris d'eficiència acústica i qualitat paisatgística. *Imatge32*

7.4 Monitoratge climàtic urbà

La monitorització del clima urbà és una eina clau per entendre i gestionar l'impacte ambiental a les ciutats. Per fer-ho possible, cal desplegar una xarxa de sensors capaç de recollir dades de manera contínua sobre les condicions climàtiques i ambientals. Entre els dispositius més habituals s'hi inclouen sensors de temperatura i humitat relativa *Imatge35*, pressió atmosfèrica *Imatge36*, velocitat i direcció del vent *Imatge37*, precipitació *Imatge38*, radiació solar *Imatge39*, humitat del sòl *Imatge40*, partícules en suspensió (PM_{2.5} – PM₁₀) *Imatge41*, gasos contaminants – NO₂ *Imatge42* i altres contaminants gasosos *Imatge43*. Aquest conjunt de dades permet no només detectar i anticipar episodis de contaminants, anòmals o perillosos, sinó també analitzar l'evolució del clima en zones concretes i plantejar accions per millorar la qualitat ambiental. Per obtenir una imatge realment representativa del clima urbà, és fonamental disposar d'informació procedent de diversos punts de la ciutat.

Les solucions sense fils són especialment adequades en entorns urbans, on la instal·lació de cablejat pot resultar complicada o massa costosa, sobretot en zones ja consolidades. Aquestes xarxes solen organitzar-se en topologies

en estrella [114], on diversos sensors recullen dades i les envien a un punt central (gateway), fent servir tecnologies de comunicació per ràdio o xarxa. Des d'aquest punt, la informació es transmet a un servidor o núvol IoT, on es processa i s'emmagatzema per al seu ús posterior.

Un aspecte essencial del sistema és la visualització de les dades. Aquesta pot adoptar formats molt diversos, des de panells tècnics per a la gestió municipal fins a aplicacions pensades per al públic general. En aquest darrer cas, és important presentar la informació de manera entenedora, mitjançant mapes interactius, gràfics clars i codis de colors estandarditzats com l'índex AQI. També resulta útil contextualitzar les dades amb referències normatives, com els límits legals o les recomanacions de l'OMS, i oferir accés tant a dades en temps real com a registres històrics. D'aquesta manera, es promou la transparència, es facilita la recerca i es dona a la ciutadania una eina útil per entendre i millorar l'entorn on viu.

- ExpoLIS (Lisboa) aprofita la xarxa existent d'autobusos i tramvies per instal·lar kits de sensors mòbils que mesuren contínuament la qualitat de l'aire a mesura que els vehicles circulen per la ciutat. Les dades obtingudes són utilitzades per generar mapes interactius i aplicacions mòbils que orienten els ciutadans per rutes menys contaminades. *Imatge33*
- SWAQ (Sydney) destaca per instal·lar sensors meteorològics i de qualitat de l'aire en escoles, fomentant l'educació ambiental i la participació comunitària, amb un model basat en dades obertes que complementa la xarxa oficial de monitors reguladors. *Imatge34*

7.5 Gestió intel·ligent de residus

La gestió intel·ligent dels residus urbans es basa en la incorporació de sensors IoT als contenidors, capaços de mesurar en temps real paràmetres com el nivell d'ompliment, el pes o la temperatura. Les dades recollides s'envien al núvol i es consoliden en plataformes digitals centralitzades que integren tecnologies IoT amb el Big Data i la intel·ligència artificial.

Aquestes plataformes apliquen algoritmes d'optimització que permeten el monitoratge en temps real dels contenidors i vehicles, la generació d'alertes automàtiques, la visualització de l'estat global del sistema i la planificació de rutes dinàmiques adaptades a les condicions del servei. Això permet optimitzar els recorreguts de recollida, tot reduint els costos operatius, les emissions contaminants i la congestió del trànsit.

La planificació de rutes es fonamenta en models matemàtics i tècniques d'aprenentatge automàtic, que ajusten els itineraris segons les prediccions de generació de residus i les condicions del trànsit en temps real. Paral·lelament, els sistemes de geolocalització permeten un seguiment continu de vehicles i contenidors, millorant així la traçabilitat i l'eficiència operativa.

A més, tecnologies com la visió per computador i la intel·ligència artificial s'apliquen a l'automatització de la classificació de residus, la detecció d'anomalies i l'optimització dels processos de reciclatge, mitjançant l'ús de càmeres i algoritmes de reconeixement.

També es promou la participació ciutadana a través d'aplicacions mòbils i plataformes digitals que ofereixen informació útil, canalitzen avisos i fomenten hàbits de consum i reciclatge responsables, integrant activament la població en el sistema de gestió.

- La ciutat de Santander ha esdevingut un referent en la gestió intel·ligent de residus mitjançant el projecte SmartSantander [121], que incorpora sensors IoT en els contenidors per mesurar el nivell d'ompliment i altres paràmetres. Les dades es transmeten en temps real a una plataforma digital centralitzada que permet optimitzar les rutes de recollida mitjançant algoritmes d'intel·ligència artificial. Aquesta integració tecnològica ha permès reduir els costos operatius en un 20 % [122] i millorar l'eficiència i sostenibilitat del servei. [123]
- A la ciutat de Tòquio, s'ha implementat TrashBot [124], un sistema intel·ligent de gestió de residus desenvolupat. Aquest dispositiu utilitza visió per computador, sensors i intel·ligència artificial per classificar automàticament els materials en reciclables i no reciclables amb una precisió superior al 90% [125] on també pot ser actualitzat remotament i recull dades per a auditories ambientals.

8 CONCLUSIONS

Aquest treball ha exposat una sèrie de mesures i estratègies concretes per a la planificació, implementació i gestió dins del marc de les smart cities. L'objectiu no és només incorporar tecnologia, sinó renovar i repensar les ciutats amb una visió transversal, cohesionada i orientada al benestar col·lectiu. Una de les principals reflexions és la necessitat d'unificar iniciatives i direccions dins la gestió pública. L'existència d'un model comú d'smart city pot augmentar significativament l'eficiència dels serveis i oferir un marc compartit per a la presa de decisions, la gestió de la informació i l'actuació urbana. Aquesta coordinació permet superar la fragmentació actual i crear sistemes més integrats i resilents. L'estudi permet apreciar que no totes les mesures es troben en el mateix grau de maduresa o acceptació, i que algunes d'elles presenten una implementació més efectiva i adaptables en el context actual. Per tant, és fonamental prioritzar aquelles actuacions que siguin més viables i eficients en funció del context local. D'altra banda, la diversitat física, infraestructural i territorial de cada regió condiciona fortament les prioritats i les possibilitats d'actuació. Aquestes diferències són evidents fins i tot abans de considerar els factors socioeconòmics o polítics. Cal, doncs, una planificació flexible i adaptativa, que parteixi de les necessitats més urgents de cada barri o comunitat, afegint progressivament nous elements a la infraestructura urbana. S'han observat exemples de projectes que no han pogut perdurar en el temps; per això, és essencial garantir-ne la solidesa i continuïtat per assolir un impacte sostingut i real. Per aquest motiu, cal impulsar una figura administrativa comuna que asseguri la consolidació d'aquestes iniciatives i que permeti una visió estratègica a llarg termini, independentment dels canvis institucionals.

APÈNDIX

INFORMACIÓ ADDICIONAL

REFERÈNCIES

- [1] <https://www.sentilo.io/>
- [2] <https://www.researchgate.net/publication/304580274>
- [3] <https://www.edp.com/en/projects/inovgrid>
- [4] https://pocacito.eu/sites/default/files/Inovcity_%C3%89vora.pdf
- [5] <https://www.interregeurope.eu/good-practices/inovgrid>
- [6] <https://www.e-redes.pt/pt-pt/transicao-energetica/inovacao-e-desenvolvimento/evora-inovcity>
- [7] <https://stateofgreen.com/en/solutions/energylab-nordhavn-smart-components-in-integrated-energy-systems/>
- [8] <https://c2e2.unepccc.org/wp-content/uploads/sites/3/2017/04/energylab-nordhavn-integrated-energy-infrastructure-and-smart-components.pdf>
- [9] <https://vilawatt.cat/es/moneda/>
- [10] <https://www.fundacionconama.org/wp-content/uploads/conama/comunicaciones/8002/Vilawatt-comunicacion-Conama24.pdf>
- [11] <https://www.energia.barcelona/es/news/new-government-measure-to-triple-municipal-solar-power-generation-through-to-2027-1392977>
- [12] <https://www.valencia.es/-/mapa-solar-val%C3%A8ncia>
- [13] <https://www.urbanimpacte.com/>
- [14] <https://climaienergia.com/>
- [15] <https://www.downtoearth.org.in/environment/the-value-of-a-raindrop-22484>
- [16] <https://www.envrisk.t.u-tokyo.ac.jp/udm/studentsession/StudentSessionDraft-low.pdf>
- [17] <https://dpw.lacounty.gov/wmd/stwq/EastLA.aspx>
- [18] <https://deeply.thenewhumanitarian.org/water/articles/2016/09/21/how-one-california-city-is-reducing-its-dependence-on-imported-water>
- [19] <https://www.latimes.com/environment/story/2024-05-11/los-angeles-stormwater-capture>
- [20] <https://www.sicma21.com/scada-que-es-y-como-funciona/>
- [21] <https://www.esri.es/es-es/descubre-los-gis/qu-es-sig/que-es-sig>
- [22] <https://www.cnfl.go.cr/interes/informativo-general/publicaciones/medidores-con-tecnologia-ami>
- [23] <https://www.arcadis.com/en-us/news/north-america/united-states/2024/3/arcadis-to-lead-implementation-of-water-distribution-digital-twin>
- [24] <https://arl.nus.edu.sg/research-posts/nuswan-a-robotic-water-assessment-network/>
- [25] <https://www.nature.com/articles/s41598-025-98137-2>
- [26] <https://agrotechcampus.com/blog/riego-inteligente-con-inteligencia-artificial>
- [27] <https://news.mit.edu/2023/gear-lab-creates-affordable-user-driven-smart-irrigation-controller-1025>
- [28] <https://www.wired.com/2015/06/smart-sensor-farmers-dont-waste-water-drought>
- [29] <https://www.mdpi.com/2078-2489/15/6/306>
- [30] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772427122000791>
- [31] https://www.researchgate.net/publication/373545604_Smart_Irrigation_System
- [32] <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S037837742032179X>
- [33] <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11991392/>
- [34] https://www.researchgate.net/publication/356175346_Smart_irrigation_monitoring_and_control_strategies_for_improving_water_use_efficiency_in_precision_agriculture_A_review
- [35] https://spinoff.nasa.gov/Spinoff2012/ee_2.html
- [36] <https://www.bicing.barcelona>

- [37] <https://www.smuu.cat>
- [38] <https://www.bicibox.cat>
- [39] https://doc.atm.cat/ca/_dir_pdm_estudis/impuls_park_ride_estacions.pdf
- [40] <https://www.citiesforum.org/news/superblock-superilla-barcelona-a-city-redefined>
- [41] <https://www.ns.nl/en/door-to-door/ov-fiets>
- [42] <https://arxiv.org/abs/2210.02504>
- [43] <https://arxiv.org/abs/2008.05883>
- [44] <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210670723006959>
- [45] <https://activetravelstudies.org/article/id/1392>
- [46] <https://www.researchgate.net/publication/283028697>
- [47] <https://www.nature.com/articles/s41598-024-54647-z>
- [48] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2950105924000020>
- [49] <https://www.axios.com/2021/10/06/bike-sharing-citibike-new-york-climate-change>
- [50] <https://copenhagenizeindex.eu>
- [51] <https://www.accidentalex.es/donde-sufren-peatones-mas-accidente>
- [52] <https://revista.dgt.es/es/reportajes/2016/11NOVIEMBRE/1108-Seguridad-peatonal.shtml>
- [53] <https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/49603>
- [54] https://www.researchgate.net/publication/383576570_New_Approach_to_Intelligent_Pedestrian_Detection_and_Signaling_on_Crosswalks
- [55] <https://www.cutr.usf.edu/wp-content/uploads/2020/06/Integration-of-a-Robust-Automated-Pedestrian-Detection-System-for-Signalized-Intersections.pdf>
- [56] <https://www.mdpi.com/2313-576X/6/2/20>
- [57] <https://transweb.sjsu.edu/sites/default/files/2350-Pourhomayoun-AI-Machine-Learning-Pedestrian-Safety.pdf>
- [58] https://cdn.mitma.gob.es/portal-web-drupal/estudios_y_publicaciones/guia_accesibilidad.pdf
- [59] <https://financialit.net/news/artificial-intelligence/city-tampere-and-tieto-develop-ai-iot-test-solution-pedestrian-traffic>
- [60] <https://recyt.fecyt.es/index.php/CyTET/article/download/104633/78530?inline=1>
- [61] <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10792635/>
- [62] <https://llumtraffics.com/pasos-de-peatones-inteligentes/>
- [63] <https://www.bbmlcd.com/es/a-news-smart-pedestrian-crossing-lights-technologies-and-applications>
- [64] <https://publications.wri.org/citiessafer>
- [65] https://revista.dgt.es/es/multimedia/infografia/2025/03MARZO/0403-N273-Infografia_AtropellosPeatones_2025.shtml#:~:text=Entre%202014%20y%202023%2C%201,m%C3%A1s%20tras%20sufrir%20un%20atropello
- [66] <https://www.infrajournal.com/en/w/oslo-capital-ev-car>
- [67] <https://endolla.barcelona/es>
- [68] <https://liniaxarxa.cat/liniaexample/noticies/endolla-barcelona-suma-1000-punts-carregacada-vegada-mes-usuaris>
- [69] <https://carbonneutralcities.org/wp-content/uploads/2020/12/The-Worlds-First-Mass-Market-for-Electric-Vehicles-%E2%80%93-The-Oslo-Case-Study-%E2%80%93-CNCA.pdf>
- [70] <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421521005255>
- [71] <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S136192092200390>
- [72] <https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/publicaciones/directricesparalacreaciondezonasdebajasemisionestcm30-533017.pdf>
- [73] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S240589632400613X>

- [74] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110016823009055>
- [75] <https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/publicaciones/directricesparalacreaciondezonasdebajasemriones/tcm30-533017.pdf>
- [76] https://www.elconfidencial.com/espana/cataluna/2025-05-26/como-viajar-gratis-barcelona-duracion-tres-anos-ltna-lqrt_4137672
- [77] <https://summitmobilidade.estadao.com.br/guia-do-transporte-urbano/brt-como-a-proposta-de-curitiba-se-transformou-ao-longo-dos-anos>
- [78] https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-77150-0_5/
- [79] <https://changing-transport.org/wp-content/uploads/Plan-Interterritorial-Municipal-de-Movilidad-Activa.pdf>
- [80] <https://link.springer.com/article/10.1007/s11116-016-9695-5>
- [81] https://www.researchgate.net/publication/228267107_Impact_Evaluation_of_the_Phases_I_and_II_of_the_Transmilenio_Mass_Project_on_the_Total_Travel_Time_of_the_Users_of_the_Traditional_Public_Transport_in_Bogota_Evaluacion_De_Impacto_De_Las_Fases_I_Y_II_
- [82] <https://www.decidim.barcelona/>
- [83] <https://www.diba.cat/es/web/participacio/participa311-mapa>
- [84] <https://fitxers.sabadell.cat/sostenibilitat/ep-camins.pdf>
- [85] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351989424001999>
- [86] <https://link.springer.com/article/10.1007/s11676-023-01689-0>
- [87] <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10381043>
- [88] <https://arxiv.org/abs/2011.11047>
- [89] <https://landbridge.eco/2023/02/10/urban-native-landscapes/>
- [90] <https://www.agritecture.com/blog/bridging-the-gap-between-smart-cities-and-urban-agriculture>
- [91] https://cris.vub.be/ws/portalfiles/portal/112835454/Ruiz_Mall_n_et_al_2024_El_potencial_transformador_de_los_refugios_clim_ticos_escolares_basados_en_la.pdf
- [92] https://www.rees-journal.org/articles/rees/full_html/2019/01/rees180006s/rees180006s.html
- [93] <https://research.hva.nl/en/publications/the-urban-pergola-street-furniture-of-the-future>
- [94] <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1618866725002225>
- [95] <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210670724000052>
- [96] <https://arxiv.org/abs/2408.02992>
- [97] <https://climate-adapt.eea.europa.eu/en/metadata/adaptation-options/water-uses-to-cope-with-heat-waves-in-cities>
- [98] <https://rgs-ibg.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/tran.12212>
- [99] <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210670724005481>
- [100] <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/14/7811>
- [101] <https://oneclicklca.com/es/software/design-construction/envi-met>
- [102] <https://www.mdpi.com/2412-3811/7/6/85>
- [103] <https://www.mdpi.com/2624-6511/7/1/16>
- [104] <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1618866724002061>
- [105] <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210670724008540>
- [106] <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6458494/>
- [107] <https://senzemo.com/heat-island-monitoring-with-iot-sensors/>
- [108] <https://www.isglobal.org/ca/healthisglobal/-/custom-blog-portlet/el-ruido-mucho-mas-que-una-molestia>

- [109] <https://es.wikipedia.org/wiki/Macrodatos>
- [110] <https://sicaweb.cedex.es/los-mapas-de-ruido/>
- [111] <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6470762>
- [112] <https://www.datacamp.com/blog/what-is-machine-listening>
- [113] <https://cacm.acm.org/research/sonyc>
- [114] <https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/architecture>
- [115] https://ajuntament.barcelona.cat/ecologiaurbana/sites/default/files/PPT_SistemesComunicacionsControlReg.pdf
- [116] <https://arxiv.org/abs/2403.03196>
- [117] <https://www.mdpi.com/2072-4292/2/5/1400>
- [118] https://sites.utexas.edu/cm2/files/2024/11/Year6_JiaoExamining-the-Impacts-of-Land-Use-on-Air-Quality-in-Chicago-Application-of-Street-View-Imagery-and-Hyperlocal-Urban-Climate-Sensing.pdf
- [119] <https://www.lifewire.com/how-personal-air-quality-monitoring-gadgets-could-raise-public-awareness-7369863>
- [120] <https://openresearch.surrey.ac.uk/esploro/outputs/journalArticle/The-rise-of-low-cost-sensing-for/99516765702346>
- [121] <https://www.smartsantander.eu/>
- [122] <https://www.governing.com/archive/gov-santander-spain-smart-city.html>
- [123] <https://www.npr.org/sections/parallels/2013/06/04/188370672/Sensors-Transform-Old-Spanish-Port-Into-New-Smart-City>
- [124] https://www.youtube.com/watch?v=eAmRMahLmxk&t=17s&ab_channel=CleanRobotics
- [125] <https://techcrunch.com/2022/08/12/trashbot-uses-ai-to-sort-recyclables/>
- [126] <https://medium.com/makersbootcamp/sort-it-out-a-smart-trash-bin-from-cleanrobotics-66a46bedff11>
- [127] https://www.youtube.com/watch?v=Q8K1G2ClIWU&t=282s&ab_channel=CapitaLand
- [128] <https://www.residuosprofesional.com/madrid-sensores-de-llenado-contenedores-residuos/>
- [129] <https://www.mdpi.com/2079-9276/12/10/115>
- [130] https://www.researchgate.net/publication/361773117_IoT-Enabled_Smart_Waste_Management_Systems_for_Smart_Cities_A_Systematic_Review
- [131] <https://noticiasambientales.com/residuos/el-ayuntamiento-de-barcelona-instala-contenedores-inteligentes-con-el-objetivo-de-reciclar-el-65-de-los-residuos/>
- [132] <https://www.esmartcity.es/comunicaciones/sistema-inteligente-recogida-residuos-ciudades-basado-predicciones-llenado>
- [133] <https://www.rts.com/es/blog/smart-city-waste-management/>
- [134] <https://link.springer.com/article/10.1007/s10311-023-01604-3>

FIGURES



Figura 2: Exemple de bàcul intel·ligent de Signify

Font: <https://www.assets.signify.com/is/content/Signify/Assets/signify/global/20221006-brightsites-urbanwit.pdf>

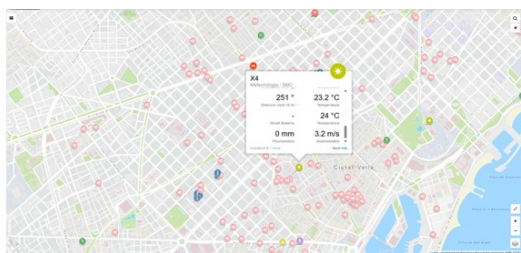


Figura 3: Imatge pròpia il·lustrativa del servei Sentilo

Font: <https://connecta.bcn.cat/connecta-catalog-web/component/map>

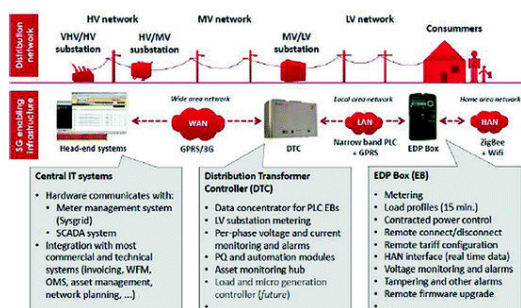


Figura 4: Supervisió i control de la xarxa de distribució

Font: <https://www.researchgate.net/publication/309217981>

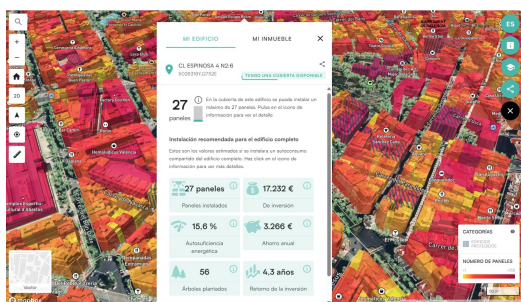


Figura 5: Imatge pròpia il·lustrativa del servei

Font: <https://climaenergia.com/es/oficina/energias-renovables>

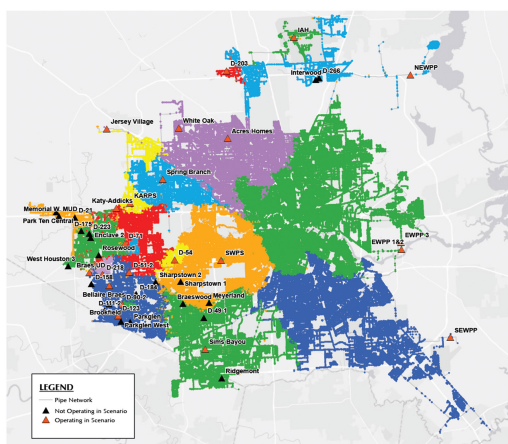


Figura 6: El model de totes les canonades monitoritza les zones d'influència de cada instal·lació d'aigua

Font: <https://www.asce.org/publications-and-news/civil-engineering-source/civil-engineering-magazine/issues/magazine-issue/article/2022/03/digital-twin-being-developed-for-houston-water-system>



Figura 7: Esquema del funcionament del mode

Font: <https://www.nus.edu.sg/neri/research/nuswan/>

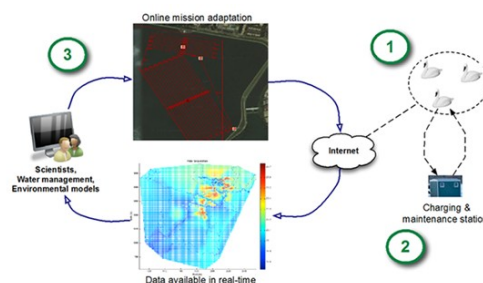


Figura 8: Un NUSwan flotant en un embassament a Singapur

Font: <https://theaseanpost.com/article/singapore-uses-robot-swans-its-water-management>



Figura 9: Sensor Soil-Click

Font: <https://www.hunterirrigation.com/es/irrigation-product/sensores/sensor-soil-clicktm>

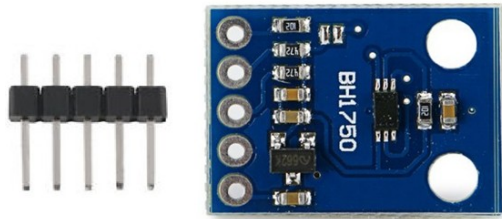


Figura 10: GY-302 BH1750 16-Bit Serial Output Light LUX Sensor Module

Font: <https://artofcircuits.com/product/gy-302-bh1750-16-bit-serial-output-light-lux-sensor-module>



Figura 11: Adafruit 3251

Font: <https://www.mouser.es/ProductDetail/Adafruit/3251?qs=DJieTMTAD3WAE3S0d7%2FRQw%3D%3D>



Figura 12: DRAGINO NLMS01 Sensor d'humitat NB-IoT

Font: <https://maker-store.es/iot-lora-nb-iot-rfid-m2m-co/lora/lora-sensoren/7035/dragino-nlms01-sensor-de-humedad-de-la-hoja-nbiot>



Figura 13: ST8-2.0 Programadors de reg intel·ligents per wifi

Font: <https://www.rainbird.com/es/products/st8-20-programadores-de-riego-inteligentes-mediante-wifi>



Figura 14: Aparcamiento de bicicletas Barcelona

Font: <https://www.barcelona.cat/mobilitat/es/medios-de-transporte/bicicleta/aparcamiento>



Figura 15: Bicycle parking Stationsplein

Font: <https://www.barcelona.cat/mobilitat/es/medios-de-transporte/bicicleta/aparcamiento>



Figura 16: Pas de vianants elevat

Font: <https://barakaldodigital.blogspot.com/2021/01/el-ayuntamiento-anuncia-nuevos-pasos.html>



Figura 19: Exemple pas de vianants

Font: <https://www.edisongalicia.es/servicios/equipamiento-urbano/senalizacion-viaria/balizas-y-bolardos-para-peatones/pedestrian/>



Figura 17: Exemple implemetació pas de vianants

Font: <https://www.infrastructures.com/0923/colas.htm>



Figura 20: Il·lustració de comportament de IA

Font: <https://transweb.sjsu.edu/sites/default/files/2350-Pourhomayoun-AI-Machine-Learning-Pedestrian-Safety.pdf>



Figura 18: Pas de vianants sensoritzat

Font: <https://www.regiondigital.com/noticias/caceres-y-provincia/389274-talayuela-implanta-sensores-inteligentes-en-pasos-de-peatones-para-garantizar-seguridad.html>



Figura 21: Estació de carrega Waypump 150 X

Font: <https://www.enelx.com/cl/es/movilidad-electrica/estaciones-de-carga>

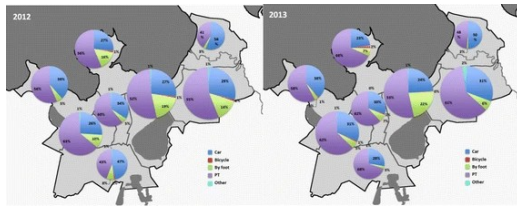


Figura 22: Distribució del mode de transport per districte abans,esquerra, i després ,dreta

Font: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11116-016-9695-5>



Figura 25: Il·lustració Polinature

Font: <https://www.gsd.harvard.edu/2024/09/belinda-tato-polinature-delivers-instant-urban-greening>

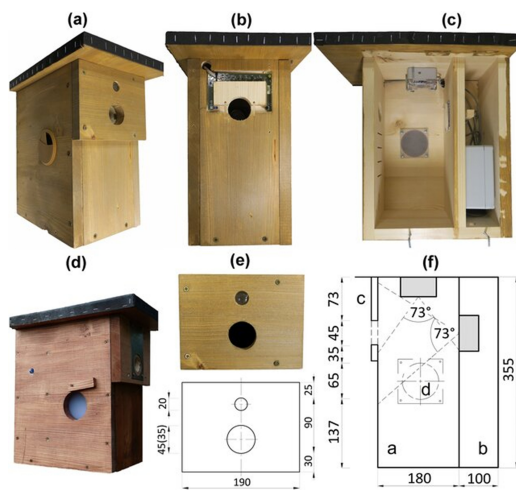


Figura 23: El disseny de la caixa niu intel·ligent model 3.0 (SNBox) i les seves parts individuals

Font: <https://doi.org/10.1002/ecs2.2761>



Figura 26: Il·lustració projecte OASIS

Font: <https://climate-adapt.eea.europa.eu/en/metadata/case-studies/paris-oasis-schoolyard-programme-france>



Figura 24: Foto de Haikubox

Font: <https://haikubox.com>

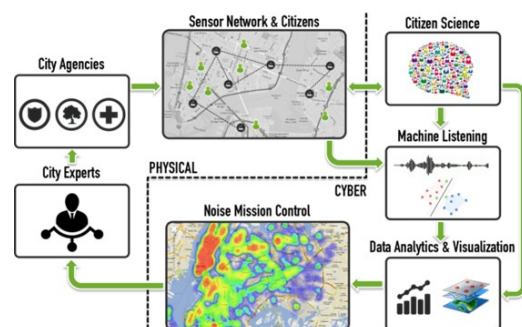


Figura 27: Esquema explicatiu de SONYC

Font: https://bpb-us-e1.wpmucdn.com/wp.nyu.edu/dist/b/2188/files/2015/06/CPS_diagram.png?bid=2188



Figura 28: Bancs fonoabsorbents snowpouf

Font: <https://snowsoundusa.com/products/acoustic-lounge/snowpouf/>



Figura 29: Formigó permeable Quick

Font: <https://pavipor.com/pavimento-hormigon-poroso/>

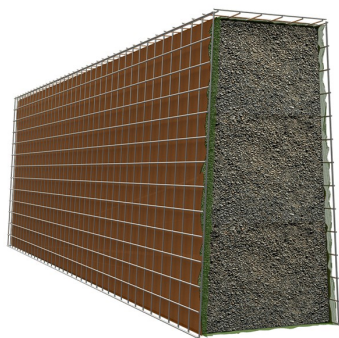


Figura 30: Pantalla Acústica Vegetal INSA TERRAK

Font: https://insametal.com/es_es/pantalla-acustica-vegetal-insa-terra



Figura 31: Estructura Korb Kultur Box

Font: <https://www.ledrosteel-box.com/es/korb-kultur-box-gallery.html>



Figura 32: Pantalles acústiques barcelona

Font: <https://www.mc2.es/proyecto/pantallas-acusticas-para-la-gran-via-de-barcelona/>

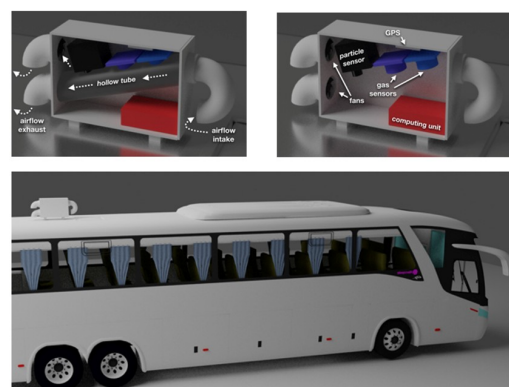


Figura 33: Model del prototip

Font: <https://www.it.pt/News/NewsPost/4663>

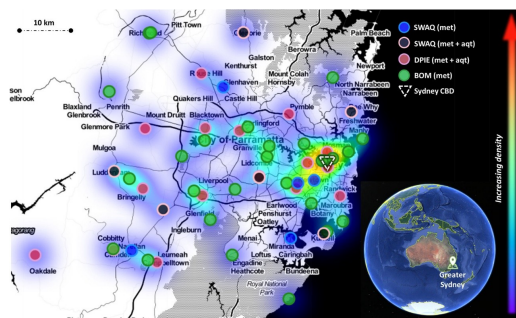


Figura 34: Mapa de calor de densitat d'observacions meteorològiques i de qualitat de l'aire a tota la regió de Gran Sídney.

Font: <https://www.nature.com/articles/s41597-022-01205-9>

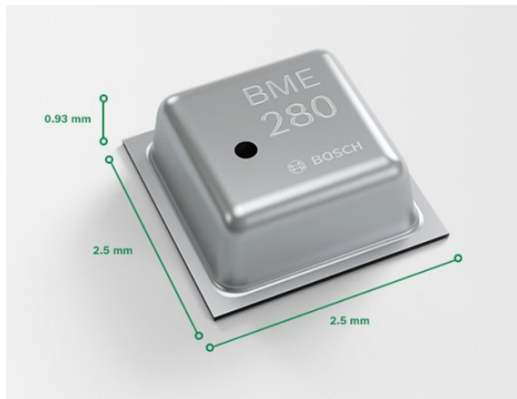


Figura 35: Sensor de temperatura – Humidity Sensor BME280 — Bosch Sensortec

Font: <https://www.bosch-sensortec.com/products/environmental-sensors/humidity-sensors-bme280/>



Figura 38: Pluviòmetre – Rain Gauge Model RG-15 — Rain Sensors

Font: <https://rainsensors.com/products/rg-15/>

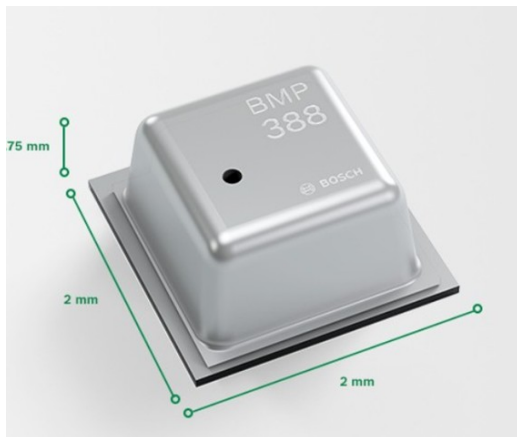


Figura 36: Baròmetre – Pressure Sensor BMP388 — Bosch Sensortec

Font: <https://www.bosch-sensortec.com/products/environmental-sensors/pressure-sensors-bmp388/>



Figura 39: Piranòmetre – SP-110-SS: Self-Powered Pyranometer

Font: <https://www.apogeeinstruments.com/sp-110-ss/>



Figura 37: Anemòmetre – DL-ATM22: sensor LoRaWAN de vent i temperatura — Catsensors

Font: <https://catsensors.com/sensors/dl-atm22/>



Figura 40: Sensor d'humitat del sòl – ECH2O EC-5

Font: <https://www.metergroup.com/environment/products/ech2o-ec-5-sensor/>



Figura 41: Sensor de partícules en suspensió (PM_{2.5} – PM₁₀) – SDS011

Font: <https://www.inovafitness.com/sds011/>



Figura 42: Sensor de gasos contaminants – Diòxid de nitrogen NO₂-A43F

Font: <https://www.spec-sensors.com/nitrogen-dioxide-sensors/>



Figura 43: Sensor de contaminants gasosos – Ozó OX-B431

Font: <https://www.alphasense.com/products/ozone-sensors/ox-b431/>