

# **Bones pràctiques**

i consideracions pel desplegament

## **d'estacions de mesura**

mitjançant la plataforma

# **IoTIB**







# **Bones pràctiques i consideracions pel desplegament d'estacions de mesura mitjançant la plataforma IoTIB**

Editat per:

Bartomeu Alorda

Autors per ordre d'aparició:

Bartomeu Alorda

Vicente Ramos

Maurici Ruiz

Xutong Sun

Josep Forteza

Joan Estrany

Antonia Paniza

Silvia Tomás

Gabriel Mesquida

Joan A. Oliver



**Aquest treball ha estat finançat per la  
Direcció general d'innovació i recerca  
mitjançant l'acció especial AAEE036/2017**

© dels textos: Els autors

Disseny de la portada i impressió: Gráficas Planisi.

ISBN: 978-84-8384-388-8

DL: PM 1461-2018

## ÍNDIX

<b>Les infraestructures de telecomunicacions per la ciència i la gestió basada en les dades</b> , Bartomeu Alorda .....	5
<b>SmartDestination, relevancia económica y territorial para las Islas Baleares</b> , Vicente Ramos, Maurici Ruiz, Xutong Sun .....	21
<b>La gestió automatitzada de la xarxa hidromètrica de Mallorca</b> , Josep Forteza, Joan Estrany .....	31
<b>Aspectos jurídicos de las Smarts cities y de la plataforma IoTIB</b> , Antonia Paniza Fullana .....	47
<b>Plataforma IoTIB: solució tecnològica i arquitectura</b> , Sílvia Tomás, Gabriel Mesquida .....	53
<b>Consideracions elèctriques i electròniques per la connexió a la plataforma IoTIB – LoraWAN</b> , Joan Antoni Oliver, Gabriel Mesquida, Bartomeu Alorda .....	65
<b>Consideracions de programari per la connexió a la xarxa IoTIB</b> , Gabriel Mesquida, Joan Antoni Oliver, Bartomeu Alorda .....	83



# Les infraestructures de telecomunicacions per la ciència i la gestió basada en les dades

Bartomeu Alorda<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Coordinador del Grup de Treball SmartCity/SmartDestinations (<http://smartcity.uib.es>), Universitat de les Illes Balears, Palma

## Resum:

Les infraestructures de comunicacions han anat guanyant importància dins les societats modernes des de la posada en servei de les televisions fins a l'arribada dels terminals mòbils. Però és, amb l'aparició dels terminals mòbils, quan la necessitat d'estar comunicat ha esdevingut una força transformadora en tots els àmbits. Així, els distints camps de les ciències poden aprofitar la possibilitat d'explorar remotament la captura de dades i la seva transmissió al centre d'anàlisi o la presa de decisions davant esdeveniments que estan succeint. Aquestes són algunes de les aplicacions on les infraestructures de telecomunicacions han permès la transformació dels mètodes anteriors. En aquest capítol es descriuen les bases per la posada en marxa d'una infraestructura de captura de dades que pugui ser útil tant des del punt de vista de la gestió, com des del punt de vista de la creació de nou coneixement promovent processos d'innovació.

## 1. Descoberta de l'entorn

Sentir l'entorn és quelcom inherent a la vida. Així, les persones tenim fins a cinc sentits diferents per a fer la descoberta de l'entorn que ens envolta. Ara bé, l'entorn és un espai en continua expansió gràcies en bona part als avanços de la ciència i la tecnologia. Avui en dia, rebem informació de bona part del Planeta Terra, podem tenir una idea aproximada de què està passant a indrets del Planeta en els quals no hi hem estat, per tant la percepció de l'entorn, avui en dia, és molt més gran de la que podien tenir les anteriors generacions.

Per altra banda, les tecnologies de comunicació i a les infraestructures de telecomunicació permeten interaccionar amb aquest entorn en expansió. Així, les persones hem deixat d'usar només sentits passius com la vista o l'oïda, i hem començat a crear continguts i missatges digitals a través del tacte i la parla. Per tant, les infraestructures de comunicació han permès expandir l'entorn social de cada persona, fent que la descoberta d'aquest nou entorn ja no es pugui fer només amb els sentits. Els dispositius personals portàtils estan ajudant a facilitar aquesta interacció convertint-se en el sisè sentit.

En aquest nou escenari les infraestructures de telecomunicacions es converteixen en el sistema nerviós del sisè sentit que permet rebre i transmetre la informació d'aquest entorn expansionat digitalment. En aquest nou entorn la porta d'entrada són els terminals mòbils definint un perfil digital de cada usuari que esdevé part de la persona física. Amb la millora de les prestacions dels sistemes de comunicacions, el nombre de dispositius portàtils i electrònics connectats per una gestió remota de l'entorn ha experimentat un increment tant en importància com en nombre de dispositius en funcionament.

### **1.1. La societat digital**

No hi ha dubte que vivim una era basada en el coneixement que posa l'accent en l'ús de les tecnologies digitals com a mitjà per potenciar la captura de dades i les anàlisis de relacions entre elles. Les persones s'han dotat de millors capacitats digitals per interaccionar amb un entorn més ampli, més complex i més canviant. Aquestes noves capacitats han transformat la forma de relacionar-se amb l'entorn passant de ser un subjecte passiu o amb capacitats d'acció en un entorn proper, a ser un subjecte actiu amb destreses per crear informació i modificar-ne la ja existent per arribar a un entorn globalitzat.

En aquesta societat digital, les infraestructures de comunicacions han adquirit molta importància a l'hora d'establir les connexions amb capacitat suficient per admetre els cada vegada més exigents serveis digitals. En aquest sentit, la modernització de les infraestructures de comunicacions ha estat una constant des de les primeres infraestructures de televisió analògica, les primeres cobertures de telefonia GSM o les primeres connexions WIFI dels ordinadors. Res a veure amb les elevades capacitats que ofereixen les actuals propostes tecnològiques de comunicacions basades en la televisió TDT, les cobertures 4G de telefonia mòbil o les connexions WIFI d'altres prestacions amb capacitats de fins a 300 Mbps.

En aquesta línia, l'ús intensiu de les xarxes socials digitals o la capacitat de produir contingut en qualsevol moment ha contribuït a crear les necessitats de millors eines de comunicació impulsant el continu progrés de les infraestructures. Vegem a continuació les necessitats que han de veure's cobertes per desplegar plenament una estratègia de societat digital.

### **1.2. Noves necessitats**

El desplegament d'un entorn digitalitzat afegeix noves necessitats a les ja descrites en referència a les infraestructures de comunicacions. Disposar de cobertura suficient per a connectar els dispositius personals és una primera necessitat com ja s'ha comentat. Però existeixen d'altres i aquestes fan referència a la informació.

La primera necessitat fa referència a l'organització de les dades o informacions que es volen compartir. L'organització de les dades o model de dades ha estat, tradicionalment, lligat a un servei o una aplicació concreta i per tant, no s'han

previst metodologies per compartir aquestes dades. Tant és així, que les administracions públiques s'han vist interpel·lades a promoure projectes de dades obertes (Open Data) modificant les estructures internes de dades i facilitant la relació entre serveis. Precisament aquesta col·laboració basada en l'intercanvi de dades està encara en procés per la seva complexitat tecnològica i jurídica degut a la normativa vigent de protecció de dades.

Els requeriments d'un accés 24/7 a la informació fa imprescindible disposar de centres de processat de dades adequats. La disponibilitat exigida avui en dia pels usuaris dels serveis o per les aplicacions que volen fer-ne ús és la segona necessitat que s'ha de tenir en compte. El disseny d'un espai digital per contenir les dades, realitzar el manteniment i assegurar la seva disponibilitat és una tasca important que s'ha de preveure dins qualsevol projecte d'estratègia digital. Recordem que qualsevol iniciativa generarà informació que serà necessari emmagatzemar, organitzar i donar-la de mètodes per recuperar-la tant pel seu propietari com per altres serveis digitals que la puguin requerir, fent necessari preveure la complexitat de les tasques de manteniment i escalabilitat de la infraestructura digital dins la proposta de recollida de les dades.

## **2. Territoris intel·ligents**

La creació d'una estratègia digital implica entre altres a les institucions públiques, al sector privat, a les institucions generadores de coneixement i a la societat que comparteixen el territori i l'interès per la descoberta de l'entorn on es vol desenvolupar. En aquest sentit, impulsar una estratègia digital deslligada del territori no seria una bona idea, ja que l'èxit de la proposta depèn en bona mesura de les infraestructures de telecomunicacions existents en aquest territori, i per tant, fa difícil pensar en posar en marxa solucions digitals de forma homogènia sense tenir en compte el grau d'immersió digital del territori [Alorda-Ladaria, 2016]. Així doncs, fer possible l'ús del sentit digital [Alorda-Ladaria, 2018] només és possible en territoris on les infraestructures de telecomunicacions tenen un desplegament important. Aquests territoris amb un alt grau d'immersió digital són els anomenats territoris intel·ligents per què permeten desplegar estratègies digitals amb tot el seu potencial benefici. Així ho apunta el model d'ecosistema per la innovació creat sobre territoris intel·ligents definit a [Robledo, 2014]. En aquest model la connectivitat forma els fonaments de tot el desplegament digital posterior que basa en una estratègia de dades obertes, participació social i la intel·ligència com a pilars per la creació d'innovació en el territori.

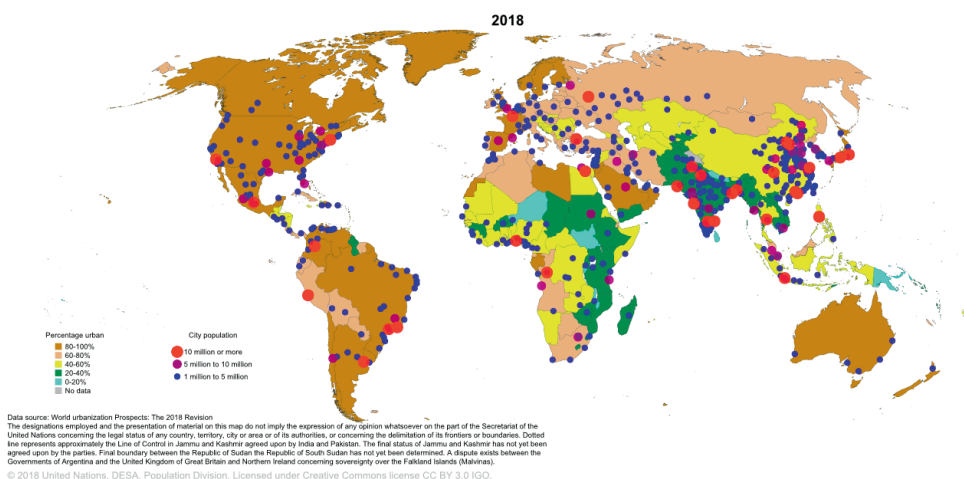
Les seccions següents situen el model de desplegament d'una ciutat intel·ligent com la motivació de l'actual tendència envers l'ús intensiu de tecnologies en un territori. El primer punt introdueix breument les pinzellades més importants del model SmartCity promogut per la Unió Europea. Seguidament es mostren algunes particularitats a tenir en compte en el cas de les Illes Balears i la

singularitat de ser il·les es llança com una oportunitat i no com una feblesa. Finalment es posa en context la plataforma IoTIB com a oportunitat per avançar en la creació d'un territori intel·ligent precursor d'un ecosistema innovador que podria ser capaç de propiciar canvis socials i econòmics envers la promesa d'un futur més sostenible.

### 2.1. El model de ciutat intel·ligent

El terme ciutat intel·ligent (SmartCity) va ser usat per primera vegada als anys 90 i tenia un focus principalment tecnològic. I encara que el significat del terme ha anat canviant amb el pas dels anys, la definició que en feia la Comissió Europea a [European Commission, 2014] encara manté la prioritat en l'ús de les tecnologies (especialment de les tecnologies de les comunicacions i la informació) per millorar-ne la competitivitat i assegurar-ne un futur més sostenible mitjançant l'enllaç simbòlic de les xarxes de persones, de empreses, de tecnologies, de infraestructures, de consum, energètiques i d'espais. En aquest sentit, el focus no és tant tecnològic com a objectiu, sinó que hi ha un focus social i la tecnologia es proposa com a medi per aconseguir els objectius.

El model de ciutat intel·ligent dona a entendre que el desenvolupament futur passa per les ciutats i la seva sostenibilitat. La importància de les ciutats ha esdevingut cada vegada major degut a la tendència demogràfica mundial de concentrar-se en grans nuclis de població, com mostra la figura 1 [Nacions Unides, 2018].



**Figura 1.** Mapa del percentatge d'urbanització per països i de les aglomeracions urbanes per dimensions [Nacions Unides, 2018].

El creixement dels nuclis de població presenta reptes i complexitats per la seva sostenibilitat i governança: la congestió dels serveis, la gestió d'un major consum energètic, l'administració dels recursos o la protecció de l'entorn. L'estratègia de ciutat intel·ligent proposa trobar nous i innovadors camins per resoldre'ls amb l'ús de la tecnologia arribant a ser una estratègia clau per aconseguir la reducció

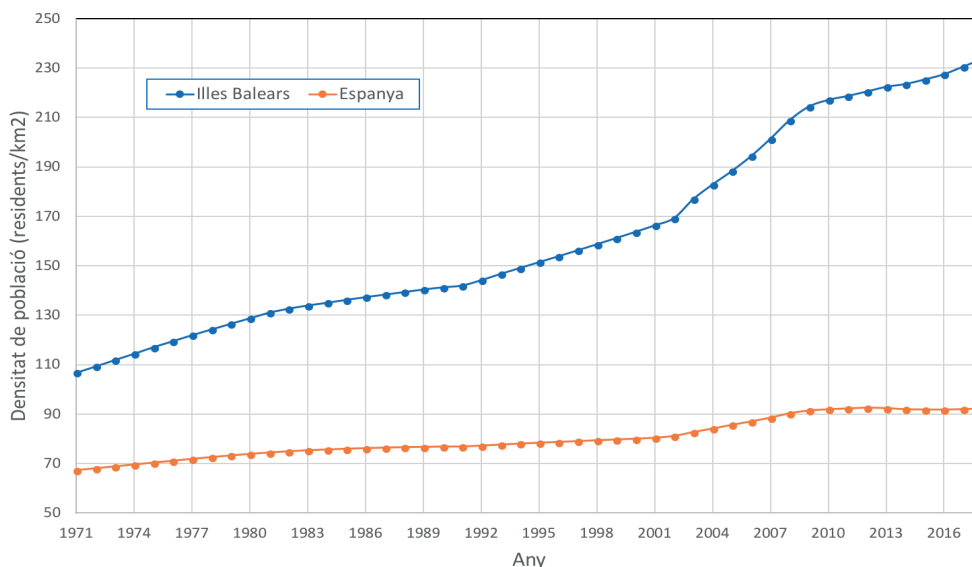
de la pobresa, la desigualtat, la falta de feina o l'accés a l'energia [European Comission, 2014].

La tendència mundial que justifica una recerca innovadora per la sostenibilitat de les ciutats es mostra igualment aplicable a les Illes Balears com demostra l'evolució de la població a totes les illes. En el següent apartat es mostren les particularitats de crear un territori intel·ligent en territoris-illes.

## 2.2. La singularitat de ser illes

Les Illes Balears presenten un creixement de població que segueix la tendència mundial, però, pel fet de ser illes amb recursos naturals reduïts, presenta singularitats que accentuen els reptes i per tant, fan més la necessitat de solucions que facin la societat sostenibles i facilitin la governança dels territoris.

La primera d'aquestes singularitats és la tendència més accentuada del creixement poblacional expressada en densitat de població a la figura 2. En aquest cas, es compara l'evolució del nombre de residents per Km<sup>2</sup> de les Illes Balears amb Espanya des de l'any 1971 fins l'actualitat. Com es pot veure, la corba creix més ràpidament a les Illes Balears que a la resta de l'estat, però a més podem veure un canvi de tendència que es va experimentar entre el 2002 i el 2008 que es va veure frenat per l'esclat de la recessió econòmica, tornant a la tendència de creixement anterior.



**Figura 2.** Evolució de la densitat de població de les Illes Balears i d'Espanya [Font: INE, 2018].

Aquest augment tan ràpid de la densitat de població en comparació amb la resta de l'estat deixa palès la necessitat de millorar la gestió dels nuclis poblacionals i dels seus recursos. La complexitat en la governança de necessitats, prioritats, previsions; o la sostenibilitat del model de societat que es crea requereix de noves eines i polítiques fonamentades amb l'anàlisi de la nova realitat. I és precisament

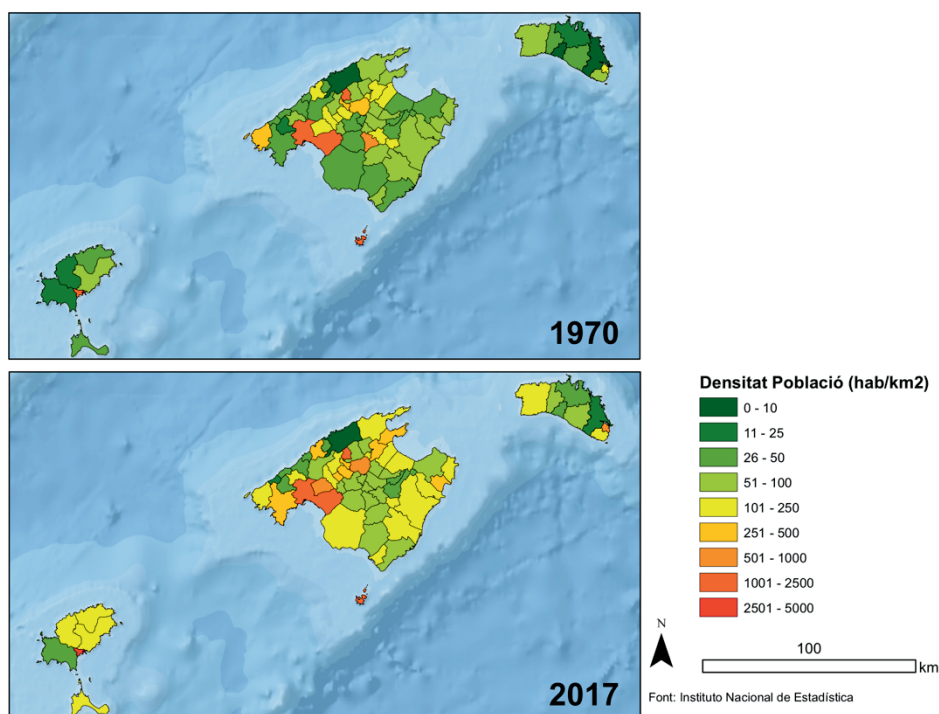


## Les infraestructures de telecomunicacions per la ciència i la gestió basada en les dades

en aquest punt, en el que el model de gestió amb un ús intensiu de les tecnologies de la informació i la comunicació pot ajudar i proporcionar elements nous per la presa de decisions, la transparència, la participació i la creació d'entorns d'innovació ciutadana.

La segona singularitat a les Illes Balears es pot atribuir a com aquesta densitat de població en augment utilitza el territori, és a dir, el grau d'urbanització que s'observa a nivell mundial té una lectura lleugerament diferent en el cas de territoris illes. La figura 3 mostra l'evolució de la densitat de població per municipis des del 1970 fins al 2017. Aquesta evolució creixent no ha conduït a una concentració en ciutats com s'apunta a nivell mundial.

Així, a totes les illes es poden veure com la densitat de població ha crescut a gairebé tots els municipis fet que evidencia una dispersió de la població resident en cada una de les illes. És precisament aquesta particularitat la que fa difícil aplicar el model de ciutat intel·ligent a les Illes Balears si no es considera al territori complet, és a dir, tota l'illa. Les distàncies són tan curtes que la població resideix en municipis diferents dels que desenvolupa la seva activitat professional. Per tant, els efectes de mobilitat dels grans nuclis poblacionals en cada illa no poden ser explicats només per la mobilitat dels seus residents. Es parla doncs, d'illa intel·ligent o territori intel·ligent que afegeix complexitat a qualsevol iniciativa, pel fet que requereix, entre altres, de la intervenció de múltiples institucions amb competències territorials diferents (Ajuntaments, Consells, o Govern).



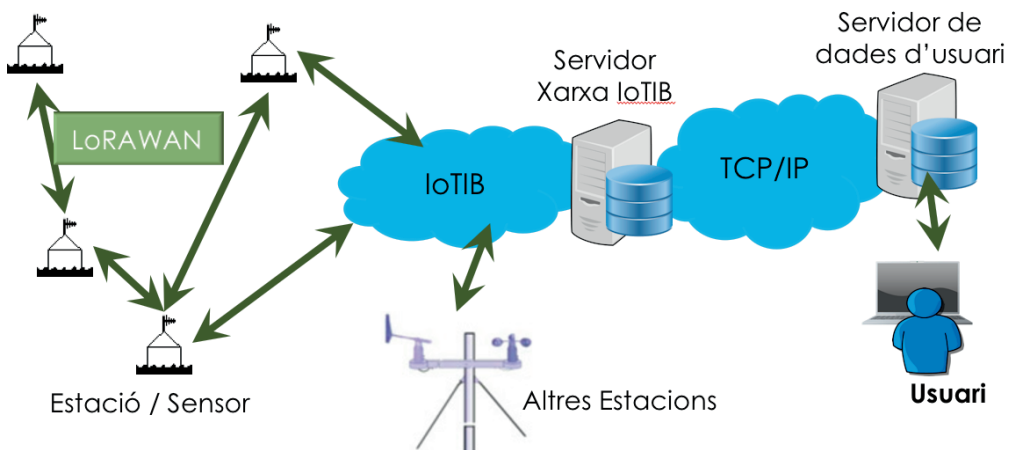
**Figura 3.** Densitat de població a les Illes Balears per municipis [Font: INE, 2018].

Les dues singularitats descrites tenen un gran impacte en la proposta de solucions eficients i sostenibles per a una part del territori sense tenir en compta la resta de l'illa. Així, la coordinació, la coresponsabilitat o l'intercanvi d'informació són elements imprescindibles en territoris illes, que, novament, les tecnologies d'informació i comunicació poden ajudar a facilitar. Aquest és el marc conceptual del qual neix la proposta de plataforma IoTIB.

### 2.3. La plataforma IoTIB

L'aposta per la consolidació del model de territori intel·ligent passa per dotar al territori d'unes infraestructures d'informació i comunicacions adequades. En aquesta línia s'impulsa la proposta de crear una plataforma de tecnologies basades en la internet de les coses (Internet of Things, IoT) que doni cobertura global a totes les Illes Balears per a aplicació en gestió de serveis públics, i obrir noves capacitats tant per a la recerca, com pel desenvolupament i la innovació a les Illes Balears.

La plataforma IoTIB aporta al territori una infraestructura de comunicacions de transport i un gestor d'aquesta infraestructura per fer possible la implementació, la sostenibilitat dels protocols que s'hi despleguin. A la figura 4 es mostra l'esquema de components i mòduls d'una solució de sensorització del territori. La plataforma IoTIB, que impulsen conjuntament IBETEC i la UIB, disposa de la capacitat de comunicació i del gestor de xarxa i, com a primera implementació, es desplega el protocol de comunicacions de baixa velocitat de transmissió i elevat rang de cobertura LoRA creant una xarxa LoRAWAN a les Illes Balears.



**Figura 4.** Proposta d'esquema de connexió de les estacions o sensors sobre el terreny fins al servidor específic de l'usuari final.

Amb el desplegament de la IoTIB es fa possible situar un sensor a qualsevol punt de la comunitat autònoma i disposar de comunicacions amb tecnologia LoRA.

## Les infraestructures de telecomunicacions per la ciència i la gestió basada en les dades

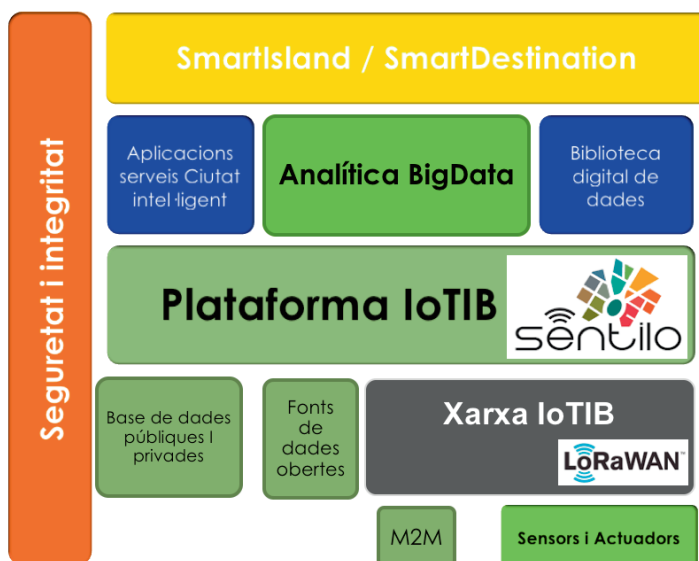
Però, hem de recordar que ni l'estació, ni el servidor de dades de l'usuari no s'inclouen en el desplegament i hauran d'incloure's en la posada en marxa de cada aplicació finalista.

Un territori connectat obrirà l'oportunitat de dotar-lo d'intel·ligència i avançar en la millora de la seva governança, la seva sostenibilitat i la seva resiliència. Aquest darrer concepte té un impacte major en unes illes/destí turístic consolidat, on s'incorpora una població flotant al llarg de l'any de volum considerable i que tenen un impacte sobre el territori que requereixen d'eines i estratègies d'adaptació. Així, la plataforma IoTIB obri camí en el desplegament d'intel·ligència impulsant entre altres accions:

- La creació d'un espai digital que facilita la cooperació entre iniciatives institucionals mitjançant la compartició de dades en l'instant de producció d'aquestes.
- Obri la porta a l'acció coordinada d'entitats competencials diferents que actuen sobre el mateix territori.
- La dotació d'una biblioteca digital amb l'històric de dades per a la planificació, l'estudi i l'avaluació de millors propostes.
- La creació d'un entorn d'innovació a través d'una estratègia d'oferta de dades obertes, que potenciï la creativitat i la relació entre l'administració pública, les entitats generadores de coneixement, el sector privat i la societat civil.
- L'oportunitat per a la implantació d'iniciatives conjuntes i cogestionades entre administracions públiques que en permeti la sostenibilitat en el temps, l'eficiència econòmica dels desplegaments i la utilització de la dada per a indicadors múltiples.

A la figura 5 es mostra l'estructura de capes d'un sistema intel·ligent en la que s'integra la plataforma IoTIB. Per tant, la xarxa LoRAWAN defineix la capa de xarxa, mentre la plataforma de gestió es decideix implantar mitjançant Sentilo ([www.sentilo.io](http://www.sentilo.io)).

La incorporació de Sentilo és una decisió estratègica que aporta una plataforma oberta creada per l'ajuntament de Barcelona amb l'objectiu d'aconseguir un mòdul "connector" capaç d'integrar-se amb qualsevol tecnologia de sensorització o font de dades digitals existent i oferir una interfície unificada per les capes superiors de verificació, analítica i creació d'històrics. Sentilo per tant, no és una plataforma d'usuari final, però permetrà estandarditzar l'accés a les dades proporcionades per les diferents fonts que en un futur proper conformaran la plataforma IoTIB.



**Figura 5.** Proposta d'implementació de la plataforma IoTIB mitjançant Sentilo.

Com veurem en aquest llibre, la cooperació i la col·laboració no està exempta de reptes i requisits legals i jurídics a l'hora d'accedir a dades, però precisament són aquests els reptes que la societat ens encomana afrontar per a oferir el millor servei possible a la societat de les Illes Balears. En aquest document es detallen els aprenentatges tecnològics que han aparegut en una prova pilot a la conca d'Andratx, i com han estat solucionats treballant amb tecnologies quan encara no hi ha el mercat aplicacions per a tot. Així, de nou la implicació amb el sector generador de coneixement i l'empresa privada per fer-ne producte, es fa necessària, obrint les portes a projectes d'innovació que mitjançant l'avaluació dels encerts i els desencerts permetran crear un dinamisme econòmic centrat en el coneixement i en les dades. Per tant, hi ha reptes socials a vèncer, potser equivocar-se no és tan dolent i hem d'entendre que permet aprendre com fer millor les coses, potser invertir en projectes pilot és el camí que permetrà fer millor les grans inversions.

Vegem a continuació els fonaments de la captura de dades, activitat fonamental que possibilita la plataforma IoT i que facilitarà entendre els capítols posteriors.

### **3. La captura de dades**

L'obtenció de dades fiables és una de les tasques inicials per l'anàlisi de l'estat de la situació en qualsevol entorn de presa de decisions. Tant és així, que la presa de decisions a partir de la captura de dades automatitzada està fent possible la disminució del temps entre la presa de decisió i l'instant en el que s'obté la mesura. Aquesta reducció del temps de decisió ha estat possible en bona part gràcies a la incorporació de la tecnologia electrònica i per automatitzar processos mitjançant les capacitats de les infraestructures de comunicacions.

## Les infraestructures de telecomunicacions per la ciència i la gestió basada en les dades

La millora constant tant de la cobertura oferta per les tecnologies de comunicacions, com de la reducció dels requeriments d'energia dels components electrònics usats, són factors que han impulsat el desplegament de sistemes de mesura en espais oberts, fent possible la millora de la resolució espacial de les captures mitjançant un major nombre d'estacions de mesura. De la mateixa manera, també s'ha vist millorada la resolució temporal de les captures, degut a que la variable és obtinguda amb període entre captures cada vegada menors.

Davant aquests avantatges que impulsen la millora de les tecnologies electròniques i de comunicació s'han de tenir present els següents requeriments imprescindibles que les estacions de mesura tenen:

- ✓ Fiabilitat de la captura: aquest requeriment es basa en la capacitat de l'estació de realitzar les mesures en el moment precís, en la seqüència prevista i de tots els sensors disponibles. Així doncs, la fiabilitat de la captura dona indicacions del grau d'autonomia de l'estació per realitzar les tasques sense supervisió. Així doncs, es cercaran tecnologies que hagin demostrat una elevada solvència en el procés de captura i que incorporin característiques per solucionar de forma autònoma incidències habituals: pèrdues d'alimentació, fallada d'un sensor, referències de tensió estables, entre d'altres.
- ✓ Capacitat d'emmagatzematge i/o transmissió: en aquest cas s'espera que l'estació tingui suficient capacitat per emmagatzemar les captures realitzades i, que aquestes romanguin en el sistema fins que siguin degudament recuperades per l'usuari. En el cas, d'incorporar sistemes de transmissió, el sistema d'emmagatzematge continua essent important com a alternativa de seguretat evitant la pèrdua de dades en cas de fallada del sistema de comunicacions. Així doncs, la capacitat de transmissió d'una estació no s'espera que elimini la necessitat d'espai per emmagatzemar les dades.
- ✓ Sistema d'alimentació: podríem dir que es tracta del requeriment més important de tota estació de captura, ja sigui aïllada, o disposi de sistema de transmissió. El sistema d'alimentació proporciona l'energia suficient per a que les funcions previstes es puguin realitzar i n'assegura el manteniment del nivell d'energia al llarg del temps. En aquest cas, la majoria d'estacions es dissenyen amb elements de producció d'energia elèctrica a partir de fonts renovables. La font més usada són les plaques fotoelèctriques que proporcionen energia durant el dia mitjançant la càrrega de bateries, que allarguen l'activitat de l'estació en els períodes sense llum solar (nit), o durant baixades sobtades, o no, de radiació solar (pas de núvols o dies ennigulats).

Vegem a continuació quins mòduls formen part d'una estació automàtica genèrica aïllada basada en la incorporació d'un element electrònic amb funcions de registrador de dades.

### 3.1. L'estació basada en un registrador de dades

Una estació de captura de dades automàtica genèrica aïllada realitza les tasques de mesura automatitzada mitjançant un registrador de dades electrònic. La figura 6 mostra les parts que formen part d'aquest sistema registrador de dades genèric. Les funcions que ha de realitzar aquest element electrònic són molt diverses: des del control de l'instant de mesura a l'emmagatzematge de les dades de forma segura, passant per les funcions de lectura dels sensors i fer arribar l'alimentació adequada a totes les parts de l'estació.



**Figura 6.** Parts d'una estació de mesura genèrica aïllada

En una estació de captura de dades es poden identificar 6 funcions principals que pot realitzar el sistema registrador de dades:

- Proporcionar alimentació: Hi ha models de registradors que disposen de la funció de generar, emmagatzemar i proporcionar l'energia elèctrica suficient a les parts de l'estació de mesura per a que realitzin la seva funció.
- Disposar d'entrades i sortides digitals o analògiques: connexions d'entrada dels senyals que provenen dels sensors disponibles a l'estació de mesura. Les entrades digitals permeten connectar amb sensors amb interfície digital o, també, si es configuren com a sortides activar o desactivar funcions de neteja o diferents rangs de mesura en els sensors.
- Disposar d'una unitat de control: electrònica de control necessària per a coordinar totes les funcions del registrador.

## Les infraestructures de telecomunicacions per la ciència i la gestió basada en les dades

- Disposar de busos de comunicació: existeixen en el mercat sensors amb una naturalesa més avançada degut a que poden proporcionar la informació de la captura en un format complex. En aquest sentit, la connexió dels sensors fent servir busos de comunicació facilita la possibilitat d'incrementar el nombre de sensors connectats per cada registrador de dades. Un exemple de bus de comunicació s'anomena SD-12 (Serial Digital Interface 1200 baudis) que s'estableix com un estàndard de comunicació per simplificar la interfície amb sensors, ja que només s'utilitza una línia de dades, una línia de referència i una línia d'alimentació a 12 volts.
- Disposar de controlador de temps real: potser és l'element més important per establir l'instant precís en el que s'ha de realitzar la mesura de valors per part del registrador de dades. Es tracta d'un component electrònic capaç de mantenir les variables temporals a l'estació. Aquestes referències de temps s'utilitzen per crear una marca temporal de cada registre de valors i, així, determinar a quin instant de temps corresponen. Si l'estació és aïllada, la precisió en la mesura de l'instant de temps depèn d'aquest controlador de temps real, si l'estació disposa de capacitat de comunicació, es podrà rebre informació del servidor de referència que permetrà corregir desviacions i millorar la precisió en el còmput del temps entre captures.

Una estació de captura de dades automatitzada genèrica aïllada és, en sí mateixa, un sistema elèctric i electrònic complex que requerirà de manteniment tant per a la descàrrega de les dades mesurades, com per la verificació del funcionament de totes les parts del sistema. I, en qualsevol cas, presentarà dos principals desavantatges que en funció del destí de les dades poden limitar l'aplicabilitat de les dades:

- Les dades mesurades podran ser analitzades cada vegada que siguin descarregades del registrador de dades, és a dir, es podrà determinar que hi ha hagut un esdeveniment gràcies a les dades, però sempre serà en una anàlisi històrica de les dades. No es podran rebre aquestes dades de l'esdeveniment en el moment que es produeixi.
- El manteniment de l'estació requereix de la seva visita presencial a l'emplaçament on està instal·lada. I si es produeixen falles de funcionament, no hi ha constància d'aquest estat fins que no es realitzi la visita presencial. Així doncs, és possible que el període de mesures no sigui continu degut a períodes sense captura de mesures i a uns manteniments massa espaiats en el temps. La reacció davant una pèrdua de funcionament podria ser més ràpida si l'estació genera avisos de fallades.



Aquestes limitacions es poden veure minimitzades amb la incorporació a l'estació de qualche recurs de transmissió que faciliti tant l'enviament de dades pel seu anàlisi, com l'enviament de missatges en cas d'esdeveniments singulars o en cas de fallades i errors.

Vegem a continuació les diferències en el disseny de l'estació per dotar-la de capacitats de comunicació.

#### 4. Una xarxa d'Estacions connectades

Els avantatges principals que aporta dotar de capacitat de comunicació a les estacions de mesura són: anàlisi d'esdeveniments en el moment que succeeixen, facilitat dels processos de reacció a fallades o per manteniment i la reducció dels errors en la marca temporal de les mesures. Ara bé, crear una xarxa d'estacions de mesures implicarà la posada en servei d'infraestructures addicionals de comunicació (torres de comunicació, antenes, serveis de connexió, servidors, ...), que no serien necessàries si es fan servir estacions aïllades.

L'element principal a afegir és l'antena de connexió que crea la cobertura necessària usant la tecnologia de comunicacions seleccionada. Aquest element es mostra a la figura 7, on es visualitza una possible xarxa d'estacions connectades a una antena, que, a la vegada, connecta les estacions amb el servidor de dades. La necessitat d'un servidor de dades no és en principi un nou requeriment, ja que en tot sistema d'anàlisi de dades procedents de mesures és habitual disposar d'una base de dades per desar les sèries temporals de les estacions.

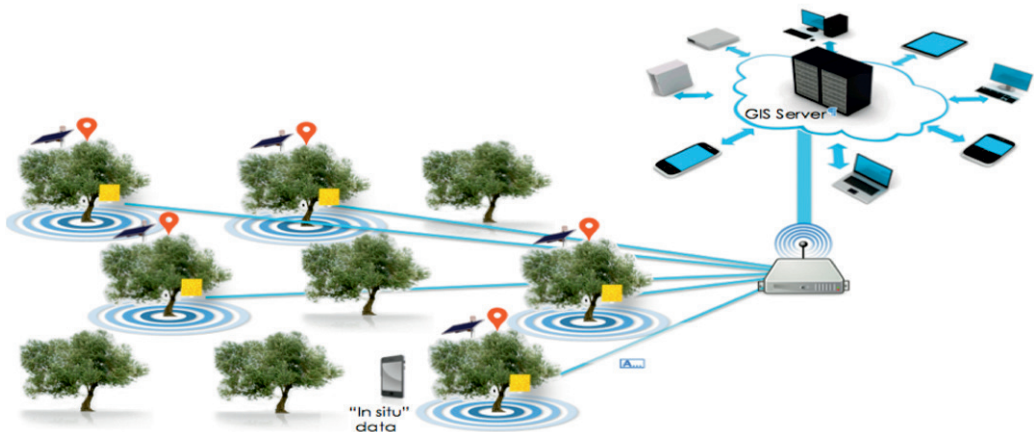


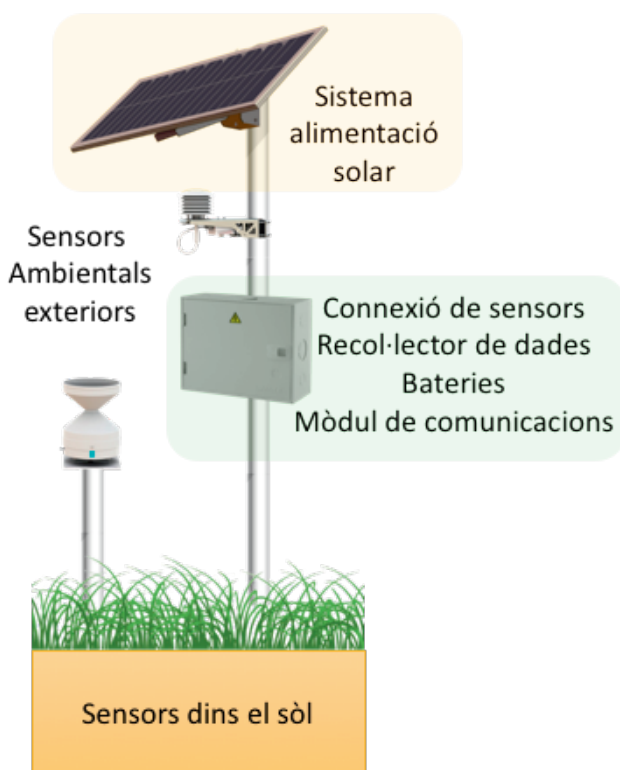
Figura 7. esquema d'una xarxa d'Estacions

L'antena és l'element principal a incloure que permetrà connectar les estacions de mesura amb el servidor de dades. La connexió entre l'antena i el servidor de dades dependrà de les tecnologies disponibles, però típicament es fa servir, o bé Internet o bé, una infraestructura de xarxa local. En aquest sentit, la disposició de les antenes dependrà en bona mesura de les operadores de comunicacions que habiliten la connexió a través d'infraestructures de comunicacions propietàries.



## Les infraestructures de telecomunicacions per la ciència i la gestió basada en les dades

La plataforma IoTIB-LoraWAN disposarà d'una xarxa d'antenes amb capacitat de comunicació Lora que crearà un espai de cobertura a totes les Illes Balears. D'aquesta forma la connexió en xarxa de les estacions de mesura a les Illes Balears es simplifica, i les capacitats de connexió es redueixen a dotar a les estacions de mesura de funcions per a comunicar mitjançant LoraWAN. La resta d'elements de la infraestructura de comunicacions ja estaria garantida dins el desplegament de la plataforma IoTIB – LoraWAN. La figura 8 mostra els mòduls principals d'una estació de mesura aïllada. Les tres funcions principals que han d'afegir-se per incorporar la comunicació mitjançant LoRA seran: controlador de dades per consulta del registrador, manipulador de dades per construir les trames de dades i transmissor LoRA per crear l'enllaç amb l'antena.



**Figura 8.** Esquema de mòduls necessaris a l'estació per connectar-la a la xarxa

## 5. Conclusions

La plataforma IoTIB és un desplegament d'infraestructures de comunicacions sobre el territori de les Illes Balears, amb potencialitats per impulsar, iniciatives que només es veuran limitades, per les capacitats que es puguin posar en joc a

l'hora de resoldre els reptes jurídics, tecnològics i socials que implicarà la posada en servei de cada una d'elles.

La proposta conjunta que impulsen IBETEC i UIB es basa en la posada en servei d'una tecnologia basada en el protocol LoRA per donar cobertura de comunicacions a totes les aplicacions de sensorització de l'administració pública i de les entitats generadores de coneixement. En aquest sentit, en aquest manual s'aporten arguments i idees de com resoldre molts dels aspectes tecnològics, jurídics i de repercussió social que el desplegament de la IoTIB comporta. Es vol ajudar a fer caure la balança del costat que aposti per les TIC a les Illes Balears.

## Referencis

Alorda-Ladaria B., Ruiz-Perez, M., 2016, The Digital Communications capabilities Analysis helps to define the Smart Destination deployment in Balearic Islands, The 6th International Conference on Tourism and Hospitality between China – Spain.

European Commission, 2014, Mapping Smart Cities in EU, Dept. Of Economic and Research policy

Nacions Unides, 2018, portal web World Urbanization Prospects 2018, <https://esa.un.org/unpd/wup/Maps/> (setembre 2018).

Robledo J.G., Larios V.M., Gómez L., 2014, Living Lab for Smart Territory, IEEE-GDL CCD Smart Cities white paper, may 2014.



# SmartDestination, relevancia económica y territorial para las Islas Baleares

Vicente Ramos<sup>1</sup>, Maurici Ruiz<sup>2</sup>, Xutong Sun<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Membre del Grup de Recerca COMET (<http://www.uib.es/es/recerca/estructures/grups/grup/COMET>), Departament de Economia Aplicada, Universitat de les Illes Balears, Palma

<sup>2</sup> Membre del Grup Mediterranean Hydrological and Ecogeomorphological Connectivity (<http://www.uib.eu/research/groups/grup/MEDhyCON>), Departament de Geografia, Universitat de les Illes Balears, Palma

<sup>3</sup> Máster en Economía del Turisme: Monitoratge i Avaluació.

## Resumen:

El núcleo de las estrategias Smart son los sistemas inteligentes que combinan de forma eficiente diferentes fuentes de datos a partir de las herramientas TIC disponibles para generar conocimiento con capacidad de crear valor de forma sostenible. En este contexto la red IoTIB puede constituir una herramienta fundamental en el proceso de implementación de las estrategias de Destino inteligente en las Islas Baleares. La tipología de los sensores IoT es cada día más amplia y su ámbito de aplicación al apoyo de las tareas de planificación y gestión del destino turístico cada vez más extensa. La monitorización de la actividad y estado del turista en el destino, la predicción del comportamiento del turista, la optimización de instalaciones y equipamientos turísticos y el apoyo informativo continuo al turista son las principales aplicaciones de esta tecnología al ámbito de Baleares. Baleares como destino turístico europeo preferente debe liderar el proceso de despliegue tecnológico IoT e integrarlo a sus activos de infraestructuras turísticas de forma inmediata, si quiere mantener su competitividad frente a otras zonas turísticas mediterráneas en auge. Cualquier tipo actuación u omisión que provocase lentitud o ineficacia en la adopción de esta tecnología daría lugar no solo a una pérdida en su primacía en innovación y desarrollo turístico, sino que ofrecería una imagen negativa del modelo turístico balear.

## 1. Contextualización

El desarrollo eficiente de la red IoTIB tiene el potencial de constituir un elemento de soporte clave para la implantación de los principios recogidos en la estrategia de Destinos Inteligentes (Smart Destinations, SD) (Segitur, 2015; MIET, 2012) en el conjunto de las Islas Baleares.

El Subcomité 5 de Destinos Turísticos Inteligentes del Comité Técnico de Normalización AEN/ CTN 178 de Ciudades Inteligentes de Aenor propuso en 2013 la siguiente definición de SD:

“un espacio turístico innovador, accesibles para todos, consolidado sobre una infraestructura tecnológica de vanguardia que garantiza el desarrollo sostenible del territorio, facilita la interacción e integración del visitante con el entorno e incrementa la calidad de su experiencia en el destino y la calidad de vida de los residentes”.

En esta definición, cabe destacar el papel de la Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) como elemento transversal que permita equilibrar el éxito turístico (derivado de incrementar la calidad de la experiencia del visitante) con la mejora de la calidad de vida del residente, en un marco de sostenibilidad territorial (capacidad de mantener dicho equilibrio en el largo plazo).

Las SD pueden entenderse como la aplicación en el ámbito turístico de las llamadas estrategias “inteligentes” (Smart). Este concepto se usa en relación a la creación de un Sistema Inteligente que mediante el uso eficiente de las TIC (sensores, *bigdata*, IoT, Inteligencia Artificial, etc...) pueda dar respuesta desde distintos ámbitos (tecnológico, económico y social) a los nuevos retos (Gretzel, *et al.*, 2015; Zhang, Li y Liu, 2012).

Para que se pueda hablar de un sistema inteligente son precisos al menos los siguientes cuatro elementos: un sistema holístico de recogida de datos de alta frecuencia, una red eficiente de comunicación y almacenamiento de los mismos (en una o varias bases datos, pero con open data entre los participantes), el análisis cruzado de dichos datos para obtener comprender las relaciones entre ellos y, finalmente, la obtención de conocimiento que proporcione valor y ayude en el proceso de planificación y toma de decisiones.

En el marco del presente proyecto, la plataforma IoTIB tiene el potencial de dar respuesta a los dos primeros elementos que forman un sistema inteligente. Los dispositivos IoT (Want, 2015) se ubican en el territorio (edificaciones, carreteras, árboles, etc.), se instalan en vehículos, o pueden también ser portados directamente por las personas (teléfonos móviles, dispositivos **wearables**, etc). Si se conectan a una red de comunicaciones, es posible su control remoto y el envío de los datos capturados a un repositorio On cloud. Normalmente los sistemas IoT funcionan de forma autónoma capturando la información específica para la que han sido diseñados, pero mantienen una comunicación a través de la red con el resto de los dispositivos. Aplicado al ámbito turístico, la integración de los datos de los distintos dispositivos facilita el conocimiento de diversas variables del destino y sus recursos, y permite analizar patrones de movilidad y preferencias de los turistas. Además, el IoT facilita la participación proactiva de

los turistas en la gestión del destino turístico y crea nuevas formas de asociación entre la actividad turística y la gobernanza (Tripathy et al., 2018).

Como se ha señalado, la instrumentación IoT se mantiene interconectada, lo cual amplía sus funcionalidades de forma continua, constituyendo un ecosistema tecnológico con gran potencial analítico. El cruce de datos en tiempo real de varias temáticas monitorizadas permite disponer de una visión global e integradora del metabolismo del destino turístico (estado de los recursos, movilidad turística, capacidades de carga de equipamientos, etc). Dicha visión facilita el progreso del modelo turístico hacia la sostenibilidad integral en el marco de la *Green economy* (Pan, 2018).

## **2. De las ciudades inteligentes a los destinos inteligentes**

La popularización de las llamadas estrategias de Ciudades Inteligentes (Smart Cities, SC) tanto a nivel nacional (Gutierrez, et al.; 2013) como internacional (Lamfus, et al.; 2015), se explica en gran parte el cambio de paradigma al que hemos asistido durante el comienzo del siglo XXI, ya que por primera vez la mayoría de los habitantes del planeta han pasado a vivir en áreas urbanas (el 54% en 2014, según UNDESA, 2014). De hecho, en el citado informe se estima que el porcentaje de población urbana alcanzará el 66% en 2050. Este aumento notable de la población urbana lleva aparejados algunos impactos negativos, entre los que se señalan: degradación ambiental, crisis de recursos, escasez de agua, contaminación acústica, congestión de tráfico, etc. La estrategia de SC se desarrolla con el objetivo de mejorar la calidad de vida de sus habitantes, de forma sostenida, a través de la colaboración entre ciudadanos, empresas, instituciones de conocimiento y agencias municipales haciendo uso de las posibilidades que nos ofrecen hoy en día las tecnologías de la información (Bakici, Almirall y Wareham, 2013; Snow, Håkonsson y Obel, 2016).

Las estrategias de SC y SD tienen particularidades, si bien es difícil definir una frontera estricta entre ellas (Khan, Woo, Nam y Chathoth, 2017). Las principales diferencias tienen que ver con tres ámbitos, los límites espaciales, el objetivo principal que se pretende alcanzar, y las diferentes necesidades entre turistas y residentes. En el caso del turismo urbano, el ámbito de análisis puede coincidir con una ciudad, pero frecuentemente la extensión del destino turístico va más allá de los límites de una ciudad, incluyendo entornos rurales (Zhang, Li and Liu, 2012). Obviamente, eso exige una consideración particular en el caso de la implementación territorial de las infraestructuras y, en particular, de las redes de comunicaciones como la IoTIB. Desde la perspectiva del objetivo, los SD usan tecnologías avanzadas para mejorar y optimizar la experiencia de los turistas y la gestión de los servicios turísticos; Sin embargo, las ciudades inteligentes usan estas tecnologías para gestionar de forma inteligente todos los aspectos de la ciudad al objeto de mejorar la calidad de vida de los residentes. Desde la perspectiva de las diferentes necesidades, en el caso de los turistas, el elemento

central es la experiencia de viaje (que tiene componentes de extraordinariedad (Walls et al., 2011), mientras que los residentes se enfocan más en sus actividades diarias.

Sobre el Archipiélago Balear se desarrolla un modelo de territorial compuesto por núcleos urbanos de densidades edificatorias elevadas (normalmente costeros) que se insertan en una matriz de amplias áreas rurales y naturales plagadas de construcciones diseminadas. Ello configura un modelo de islas- ciudad con una vocación turística prioritaria que define un modelo económico basado en los servicios y las tecnologías. El despliegue de iniciativas Smart (*cities, destination*) en Baleares necesariamente debe ampliar su visión y escala geográfica hacia un enfoque *SmartIslands*. Este concepto ha sido promovido por el Consell de Mallorca en la puesta en marcha de su proyecto “Smart Island Mallorca” ([https://www.red.es/redes/sites/redes/files/mallorca5\\_0.pdf](https://www.red.es/redes/sites/redes/files/mallorca5_0.pdf)) que ha sido beneficiario de la I Convocatoria de Islas Inteligentes del Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital con un total de 8,8 Millones de Euros. Sus principales objetivos son impulsar el desarrollo de una plataforma Smart OS que sirva para gestionar desde un punto de vista tecnológico y promover la desestacionalización del turismo usando los activos de Mallorca y reducir los efectos negativos de la insularidad. El concepto de Smart Island propuesto para Mallorca asume los objetivos de SD y SC y amplía su alcance hacia un modelo integral de desarrollo tecnológico que promueve la diversificación económica en un marco de sostenibilidad ambiental y social.

### 3. Aplicación de IoT en los destinos inteligentes

El abanico de aplicaciones de las tecnologías IoT en las SD es muy amplio, y cada día se enriquece con nuevos dispositivos y funcionalidades. La Tabla 1 recoge los principales tipos de sensores que serían de aplicación en Baleares, la variable que monitorizan y una breve descripción de sus potenciales aplicaciones.

**Tabla 1.** Posibles Sensores con aplicación turística en el marco de la IoTIB.

Tipo de sensor	Objetivos	Aplicaciones
Temperatura	Miden la cantidad de energía térmica	Control de los sistemas de refrigeración. Aplicaciones: procesos de fabricación, producción sistemas agrícolas
Proximidad	Detectan la presencia o ausencia de un objeto cercano. También pueden detectar las propiedades de este objeto.	Control de presencia. Movimiento de personas, presencia de turistas, sistemas de alarma y seguridad. Información online de ofertas al turista. Disponibilidad de aparcamientos
Presión	Detectan presión y cambios.	Mantenimiento de sistemas de aguas y calefacción. Paso de vehículos.

Calidad de agua	Detectan calidad de agua y monitorización de iones. (Cloro, carbono orgánico, pH, etc)	Control de sistemas de distribución de agua. Control de calidad de aguas de baño.
Químico / Gas /	Detección de cambios en la química de líquidos y del aire	Monitoreo ambiental. Control de contaminación (CO <sub>2</sub> , CO, O <sub>3</sub> , O <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , NO <sub>3</sub> , partículas, etc... Sistemas de seguridad.
Humos	Detectores de humos	Sistemas de seguridad frente a incendios y contaminación
IR	Sensor infrarrojo permite detectar características del cuerpo y del entorno.	Asistencia sanitaria (detección flujo sanguíneo y presión arterial, etc.).
Sensores de nivel	Determinar nivel o cantidad de fluidos, líquidos que fluyen en un sistema abierto o cerrado.	Nivel de depósitos de agua, combustible u otros líquidos.
Sensores de imagen	Captura de imágenes y videos	Seguridad. Imagen médica, automóvil,
Sensores de movimiento	Detección de movimiento físico en un área	Seguridad, detección de intrusos, peajes, secadores manuales, iluminación. Aire acondicionado, parkings y estacionamientos, ventiladores
Sensores de acelerómetro	Medir la aceleración física que experimenta un objeto. Detecta vibraciones, inclinación y aceleración.	Sistemas antirrobo de objetos. Seguimiento deportivo.
Sensores de giroscopio	Medida de la velocidad angular. Detección de velocidad alrededor de un eje.	Navegación de coches, drones UAV.
Sensores de humedad	Muy parecidos a los de temperatura.	Control de aires acondicionados. Hospitales e industrias farmacéuticas
sensores ópticos	Cantidad de rayo de luz y energía electromagnética.	Control de energía eléctrica. Control medioambiental y energía.
Sensores de localización	Proporcionan las coordenadas geográficas de la posición de los objetos	Múltiples aplicaciones: localización y movilidad de personas, vehículos, animales, análisis de proximidades, flujos turísticos, etc.



Los ámbitos aplicación IoT en el ámbito de las SD pueden clasificarse en los siguientes grupos:

1. IoT para la monitorización del comportamiento del turista (comportamiento espacial, temporal). Los dispositivos geoposicionados permiten conocer cuál es la movilidad del visitante en el destino turístico: lugares y duración de la visita, centros de compra, uso de vehículos, organización horaria de sus actividades, etc. Por tanto, se podrán establecer patrones y tendencias espaciotemporales de comportamiento que ayudan al planificador y gestor a definir necesidades, segmentar la demanda, y dimensionar las infraestructuras y equipamientos.
2. IoT integrado en programas de recomendación para mejorar las relaciones entre el turista y el destino (itinerarios, destinos), a partir de la evolución tecnológica desde sistemas “always on” a sistemas “always-responsive” que combinan la ubicación del turista con las características del entorno (context-aware) (Gretzel, *et al.*, 2015)
  - a. En especial IoT proporciona información al turista a partir de su localización geográfica (recursos turísticos o equipamientos próximos, congestión de tráfico, meteorología, etc). Se hablaría de la construcción de un Smart Map interactivo (Tripathy et al., 2018).
  - b. Así mismo, la información proporcionada en (1) convenientemente procesada servirá para conocer el grado de saturación de determinados recursos en tiempo real e implementar soluciones para reducir los niveles de congestión.

Es importante señalar que IoT también tiene un efecto positivo sobre el llamado turismo experiencial, considerado actualmente el *core* de la industria turística (Tussyadiah and Pesonen, 2016), en el que el producto es co-creado en la interacción de productores y clientes. Las relaciones con el entorno se estrechan y el turista dispone de información operativa que le ayuda a gestionar su estancia en el destino turístico.

También el turismo con necesidades especial puede verse mejorado notablemente con IoT. En este punto destacamos la mejora en los aspectos de monitorización de la salud del turista (diagnóstico remoto, acceso a centros hospitalarios, etc.), aspectos de accesibilidad, etc.

3. IoT para la predicción del comportamiento del turista. Conociendo los modelos de comportamiento de la actividad turística y sus relaciones espacio temporales con otras variables es posible establecer modelos predictivos de la actividad del turista. Ello facilitará el dimensionamiento de infraestructuras y equipamientos y ayudará a su gestión eficiente.
4. IoT para optimizar las instalaciones y equipamientos del destino turístico. Monitorización de sistemas de distribución (climatización, iluminación,

medida de uso de las instalaciones), reducción de consumos energéticos y de agua, control de ruidos, detección de contaminación, control de riesgos de incendios, etc.

Puede preverse que el despliegue de dispositivos IoTIB en Baleares tendrá un impacto inmediato en la mejora de la planificación y gestión de los equipamientos y servicios y un efecto positivo sobre la sostenibilidad ambiental y calidad de vida de las personas, tanto sobre residentes como turistas. El entorno insular da lugar a sinergias y amplificación de los efectos positivos de las inversiones tecnológicas.

#### **4. Contribución específica de la captación de datos mediante la red de sensores pública IoTIB**

Las características de presente propuesta técnica de comunicación mediante la IoTIB hacen que dé respuesta de forma particularmente adecuada a la estrategia de SD que se incluyó ya en el Plan Nacional e Integral de Turismo 2012-2015 (MIET, 2012).

En primer lugar, proporciona una cobertura completa de territorio que resulta más difícil de alcanzar mediante otras soluciones técnicas.

En segundo lugar, el coste de mantenimiento es notablemente menor. Asimismo, la solución LoraWAN es de frecuencia abierta, lo cual supone un ahorro de coste en términos de licencias. Cabe recordar que la conceptualización de los SD va ligada a la sostenibilidad económica. Es ese sentido, uno de los principios que inspira dicha estrategia es la búsqueda de la eficiencia (lograr el objetivo buscado al menor coste posible). Como se plantea en SEGITUR (2015) uno de los elementos que caracteriza la evolución reciente del análisis turístico es que los costes pasan a ser uno de los elementos centrales en sustitución de los precios.

En tercer lugar, la posibilidad de ofrecer una red de comunicación a un coste asequible supone un enorme salto en la efectividad de la monitorización del territorio por medio de sensores no conectados. El acceso a la información de estos últimos exige el desplazamiento hasta el sensor, lo que supone un período de latencia alto entre el evento, la disposición de información y, por tanto, la respuesta.

En cuarto lugar, el uso de una misma solución tecnológica para la transmisión de la información lleva aparejada la homogeneización del formato de los datos. Como ya se ha comentado, un sistema sólo puede ser considerado inteligente cuando permite el cruce de datos para obtener conocimiento. Por tanto, la posibilidad de unificación de formato de los datos de la red de sensores repartida en el territorio de Baleares abre la puerta a la creación de un verdadero sistema inteligente de gestión del territorio. Sólo así se podrá aprovechar todo el potencial de la denominada sociedad de los sensores (Andrejevic y Burdon, 2015). Esto va

en la línea de algunas de propuestas (Harrison *et al*, 2010; Neuhofer, Buhalis y Ladkin, 2015) que caracterizan las estrategias Smart con la explotación integrada de datos operativos con frecuencias próximas al tiempo real. Asimismo, en la medida en que la información recogida por sensores públicos sea abierta, o se llegue a acuerdos de compartir información con organismos públicos, sería posible utilizar los datos un mismo sensor para diferentes ámbitos. Obviamente eso permite multiplicar el cruce de información para obtener conocimiento con potencial de creación de valor

## **5. Retos y factores críticos**

El éxito de la implantación del IoT en Baleares como destino turístico viene determinado por un conjunto de factores críticos que a continuación enumeramos:

- Reconocimiento de que las TIC no son un fin en sí mismo, sino una herramienta de utilidad para la consecución de los objetivos definidos en las SC y SD. Por tanto, es preciso realizar un análisis realista sobre la utilidad de los datos a capturar y, definir con rigor las hipótesis que se tratarán de verificar al cruzar la información almacenada en el sistema inteligente.
- Existencia de infraestructuras de telecomunicaciones de base sobre las que desplegar los ecosistemas IoT.
- Disponer de sistemas de gestión de la calidad de los datos. Es necesario que exista un riguroso control de la calidad de los datos obtenidos por los sensores remotos. Para ello, será necesario establecer protocolos de calibrado y validación tanto de la propia actividad del sensor como del sistema de almacenamiento de la información. La calidad de los dispositivos IoT tendrá un efecto directo sobre la calidad de los datos que se capturan, por ello se considera necesario apostar dispositivos de calidad.
- Valorar el coste integral de los sistemas desplegados: captura de datos, almacenamiento, su procesamiento y mantenimiento.
- Establecer normas de seguridad y de protección de datos. Será fundamental establecer protocolos para asegurar el cumplimiento de las normativas de protección de datos personales que pudieran ser gestionados por las plataformas IoT.
- Promover iniciativas público-privadas para el despliegue y mantenimiento de las instalaciones.
- Exigir el uso de estándares internacionales en protocolos tecnológicos de captura, transmisión y almacenamiento de la información.

- Fomentar las iniciativas OpenData en todos los proyectos desarrollados con el objeto de facilitar el intercambio de información y la sinergia del ecosistema tecnológico.
- Desarrollar un programa de evaluación del impacto del uso de las tecnologías implementadas sobre el sector turístico, la calidad de vida de las personas y el medio ambiente.
- Promover actuaciones formativas en el desarrollo y explotación de plataformas IoT que de lugar a nichos laborales de alta cualificación.
- Integrar centros tecnológicos y de investigación de Baleares (UIB, IMEDEA, INAGEA, SOCIB, Instituto Oceanográfico, etc) en el desarrollo y explotación de plataformas IoT.
- Desarrollar actuaciones de difusión de las iniciativas IoT desarrolladas entre la población local y el turismo.
- Invitar a la participación y colaboración de ciudadanos y turistas en el ecosistema IoT de Baleares para la mejora de sus actividades cotidianas y el apoyo a la gestión de recursos.

Baleares como destino turístico europeo preferente debe liderar el proceso de despliegue tecnológico IoT e integrarlo a sus activos de infraestructuras turísticas de forma inmediata, si quiere mantener su competitividad frente a otras zonas turísticas mediterráneas en auge. La lentitud en la adopción de esta tecnología daría lugar no solo a una pérdida en su primacía en innovación y desarrollo turístico, sino que ofrecería una imagen de retraso poco recomendable.

## Referencias

- Andrejevic, M., & Burdon, M. (2015). Defining the sensor society. *Television and New Media*, 16(1), 19–36.
- Bakici, T., Almirall, E., & Wareham, J., 2013, A Smart City Initiative: The Case of Barcelona. *Journal of the Knowledge Economy*, 4(2), 135–148.
- Gretzel, Ulrike, Hannes Werthner, Chulmo Koo, and Carlos Lamsfus. "Conceptual Foundations for Understanding Smart Tourism Ecosystems." *Computers in Human Behavior* 50 (2015): 558-63. Web
- Gutiérrez, V., Galache, J. A., Sánchez, L., Muñoz, L., Hernández-Muñoz, J. M., Fernandes, J., & Presser, M., 2013, SmartSantander: Internet of things research and innovation through citizen participation. In A. Galis & A. Gavras (Eds.), *The Future Internet* (pp. 173–186). Heidelberg: Springer.

- Harrison, C., Eckman, B., Hamilton, R., Hartswick, P., Kalagnanam, J., Paraszczak, J., & Williams, P., 2010, Foundations for smarter cities. IBM Journal of Research and Development, 54(4), 1–16.
- Khan, M. S., Woo, M., Nam, K., & Chathoth, P. K., 2017, Smart city and smart tourism: A case of Dubai. Sustainability (Switzerland), 9(12)
- Lamsfus, C., Martín, D., Alzua-Sorzabal, A., & Torres-Manzanera, E., 2015, Smart tourism destinations: An extended conception of smart cities focusing on human mobility. In I. Tussyadiah & A. Inversini (Eds.), Information and Communication Technologies in Tourism 2015 (pp. 363–375). Heidelberg, Germany: Springer.
- MIET (Ministerio de Industria, Energía y Turismo), 2012, Plan Nacional e Integral de Turismo 2012-2015
- Neuhofer, B., Buhalis, D., & Ladkin, A., 2015, Smart technologies for personalized experiences: a case study in the hospitality domain. Electronic Markets, 25 (3)
- PAN, Shu-Yuan, et al. Advances and challenges in sustainable tourism toward a green economy. Science of the Total Environment, 2018, vol. 635, p. 452-469.
- SEGITUR, 2015, Libro Blanco de Destinos Turísticos Inteligentes: Construyendo el futuro. Ed. Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Madrid.
- Snow, C. C., Håkansson, D. D., & Obel, B., 2016, A smart city is a collaborative community: Lessons from smart Aarhus. California Management Review, 59(1), 92–108.
- Tripathy, A.K., Tripathy, P.K., Ray, N.K., Mohanty, S.P., 2018. ITour: The Future of Smart Tourism: An IoT Framework for the Independent Mobility of Tourists in Smart Cities. IEEE Consum. Electron. Mag. 7, 32–37. doi:10.1109/MCE.2018.2797758
- UNDESA, 2014, World Urbanization Prospects.
- Walls, A. R., Okumus, F., Wang, Y., and Kwun, D. J.-W., 2011, An epistemological view of consumer experiences. International Journal of Hospitality Management, 30(1), 10-21.
- Want, R., Schilit, B. N., & Jenson, S., 2015, Enabling the Internet of Things. Computer, 1, 28–35
- Zhang, L., Li, N., & Liu, M., 2012, On the basic concept of smarter tourism and its theoretical system. Tribune Tourism, 27(5), 66–73.

# La gestió automatitzada de la xarxa hidromètrica de Mallorca

Josep Fortesa<sup>1,2</sup> i Joan Estrany<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Grup de Recerca en Hidrologia i Ecogeomorfologia en Ambients Mediterranis –MEDHyCON (<http://medhycon.uib.cat>), Departament de Geografia, Universitat de les Illes Balears, Palma

<sup>2</sup> Institut d'Investigacions Agroambientals i d'Economia de l'Aigua –INAGEA (<http://inagea.com>), Universitat de les Illes Balears, Palma

## Resum:

La xarxa fluvial és una component estructural bàsica del paisatge a les Illes Balears que requereix d'una gestió acurada per fer front als reptes socioeconòmics de sostenibilitat i resiliència front els processos de canvi global. Per tal de caracteritzar i quantificar els recursos hídrics superficials és necessari que la xarxa hidromètrica permeti una anàlisi curosa dels processos hidrològics i alhora sigui una eina de predicció dels riscos d'inundació tot oferint millores en la gestió i avaluació ecosistèmica de l'aigua. Les estacions hidromètriques –a partir de les quals s'obtenen aquestes dades– requereixen d'una continuïtat temporal, un manteniment i una contínua optimització. D'ençà el 2004, la Universitat de les Illes Balears ha implementat en diferents fases una xarxa hidromètrica digital. Nogensmenys, els avenços tecnològics ja permeten una optimització ràpida i accessible de les xarxes hidromètriques mitjançant el monitoratge automatitzat de les diferents variables. Aquest procés possibilita l'obtenció de dades fiables en temps real fent possible una predicció més acurada dels riscos d'inundació. En una de les estacions de la Universitat de les Illes Balears, sa Murtera, ubicada a la conca del torrent de sa Font de la Vila (Andratx), s'ha experimentat l'automatització de sensors per a l'enviament de dades en temps real basada en la infraestructura de comunicació LoraWAN, la qual està desplegant la Direcció General d'Innovació i Recerca del Govern de les Illes Balears.

## 1. Les xarxes hidromètriques

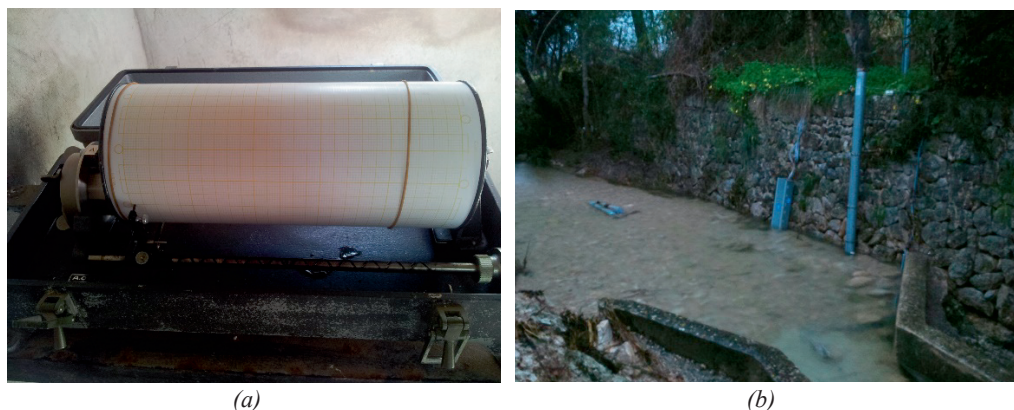
La gestió dels recursos hídrics d'un territori passa necessàriament pel seu estudi, caracterització i quantificació amb el major detall i precisió raonablement possibles, amb les restriccions tècniques i econòmiques inherents a cada època, però sense oblidar la importància i valor d'aquells des del punt de vista mediambiental i socioeconòmic.

La Llei de Recursos Hídrics del 1963 aprovada i desenvolupada al Regne Unit fou l'impuls més important pels primers estudis hidrològics, sobretot en el món anglosaxó (Ward, 1967). La llei marcà un abans i un després, ja que els estudis posteriors establiren les bases científiques per a la recol·lecció de dades, balanços hidrològics, sistemes de recerca i la classificació de les conques en representatives i experimentals. La realització d'aquests treballs apuntaven la



## La gestió automatitzada de la xarxa hidromètrica de Mallorca

necessitat de dissenyar i implementar xarxes hidromètriques a partir de l'estudi de diferents components del cycle de l'aigua tals com la precipitació, l'evaporació, l'aigua superficial i les aigües subterrànies (Gregory, 1964), tot i trobar-se amb una manca d'informació –p. ex., classificació de sòls, geomorfometria, capacitat d'infiltració, usos del sòl– que dificultava l'establiment de balanços hidrològics. Alguns estudis inicials utilitzaven instruments de mesura molt senzills tals com sistemes d'engranatge que connectaven un pes a una ploma per enregistrar les oscil·lacions del nivell de l'aigua (Fig. 1a). No obstant, els avenços tecnològics han permès un monitoratge continu a gran resolució temporal (i.e., escala minatural), el seguiment de més d'una variable, la millora en les tècniques d'aforament, l'automatització dels sistemes de monitoratge i l'obtenció de dades en temps real. Le Coz (2008) i Volkman et al. (2010) expliquen com les millores en la instrumentació utilitzada permeten una predicció més acurada d'esdeveniments de crescuda fluvials així com obtenir més informació i de més qualitat (Fig. 1b).



**Figura 1.** (a) Limnigràf instal·lat en estació hidromètrica. (b) Estació hidromètrica equipada amb instruments digitals al torrent de Sant Miquel (Mallorca).

Així doncs, xarxa hidromètrica no és més que un sistema de monitoratge de les components del cycle de l'aigua (Mishra i Coulibaly, 2009). Hi ha diferents tipus de xarxes depenent de les variables a mesurar i/o dels objectius específics a assolir; tot podent classificar-se pel monitoratge de l'aigua superficial, de l'aigua subterrània endemés de per la qualitat de l'aigua. Els objectius genèrics d'aquestes xarxes són l'estudi *per se* del recurs hídic, l'estudi del canvi global (això és, canvi climàtic més canvis en els usos del sòl) i les implicacions en els recursos hídrics, l'avaluació de projectes d'irrigació i la distribució de l'aigua dins el cycle hidrològic. Assolir aquests objectius permet ampliar els coneixements sobre el monitoratge continu dels sistemes fluvials, establir els requeriments de dades per part dels usuaris així com millorar-ne el seu disseny, la difusió de la informació i els sistemes de presa de decisions (Dixon, 2010). La implantació d'una xarxa hidromètrica suposa per tant conèixer i controlar els principals processos hidrològics a escala conca de drenatge per utilitzar-los en

l'estimació dels riscos d'inundació, oferir millores en la gestió dels recursos hídrics i realitzar avaluacions hidro-ecològiques.

Per tant, el monitoratge d'aquest sistema i la transformació d'aquest en dades es pot entendre com un cicle de vida de dades (Dixon, 2010; Dixon, 2013) format per sis etapes: (a) disseny de la xarxa de monitoratge; (b) detecció i registre de dades, (c) validació i arxivament de dades, (d) síntesis i anàlisi de dades, (e) difusió de la informació i (f) ús de la informació i presa de decisions.

Nombrosos estudis s'han centrat en el disseny i optimització de xarxes hidromètriques, sobretot al Canadà (Spence et al., 2007; Mishra i Coulibaly, 2010), als Estats Units (Crawford, 1979; Volkmann et al., 2010; Li et al., 2012) i al Regne Unit (Ward, 1967; Laizé, 2004; Laizé et al., 2008; Dixon, 2010). A l'àmbit mediterrani, al sud de França, destaca el *l'Observatoire Hydro-météorologique Méditerranée Cévennes Vivarais* (Boudevillain et al. 2011), focalitzat en la millora de la comprensió dels events de precipitació intensa que generen crescudes espasmòdiques. A Espanya, la creació de sistemes automàtics d'informació hidrològica en grans conques, tals com el *Sistema Automático de Información Hidrológica de la Confederación Hidrográfica del Júcar* (Belmonte i Beltran, 2001) i el *Sistema Automático de Información Hidrológica de la Cuenca Hidrográfica del Ebro* (Gil et al. 2008).

A més a més, en el disseny de les xarxes hidromètriques s'han aplicat gran diversitat de mètodes (Mishra i Coulibaly, 2009). Tot i els diferents mètodes de disseny, un problema bàsic rau en què les variables hidromètriques no es poden explicar tan sols a partir de models matemàtics, en els quals la magnitud de les variables és una funció invariant en el temps de la magnitud de la variable en un altre punt (Mishra i Coulibaly, 2010). Per tant, la xarxa ideal és aquella que comprèn les característiques físiques dels processos hidrològics (p. ex., precipitació, geomorfologia, estructura geològica i litologia així com usos del sòl), les quals posteriorment seran transformades en dades i integrades en futurs models de gestió i presa de decisions (Moss, 1979). Amb tot, en el disseny d'una xarxa cal justificar els objectius i la implementació de la xarxa mitjançant el període d'estudi, els processos hidrològics a estudiar, el número d'estacions i la freqüència del monitoratge així com la disponibilitat de recursos humans i instrumentals tot tenint en compte les característiques hidrològiques de la conca (Ward, 1967). Igualment, cal considerar que la capacitat econòmica és un factor limitant en la densitat de la xarxa.

Es contrasta que el disseny i l'avaluació de la xarxa hidromètrica permet planificar, predir i valorar la informació que genera cada estació, quina és la informació total de la xarxa, quanta informació d'una estació es pot conèixer a partir del coneixement d'una altra i quina és la informació duplicada entre diverses estacions (Li et al., 2012). En aquest punt és fonamental definir la densitat –nombre d'estacions– i l'escala temporal –interval de temps de mesura–



i espacial de la xarxa –localització– (Mishra i Coulibaly, 2009). La xarxa ha de tenir una densitat òptima que permeti englobar la diversitat de les característiques climàtiques, geològiques, d'usos del sòl i utilització de l'aigua. En aquest sentit, un increment inicial de les estacions a la xarxa hidromètrica suposa una millora considerable en la quantitat i qualitat de la informació obtinguda. Emperò, es pot establir un llindar en el nombre d'estacions, a partir del qual no es detecten o són pràcticament imperceptibles les millores en la resolució i fiabilitat de les dades hidromètriques (Girons et al., 2015).

A més del monitoratge de l'escorrentia superficial, les xarxes hidromètriques han de comptar amb la mesura de variables meteorològiques, principalment la precipitació. Una de les tècniques que recentment han sofert una millora tecnològica important són els radars de precipitació. Aquests instruments assoleixen una resolució espacial d'1 a 36 km<sup>2</sup> i una resolució temporal de 5-15 minuts, calibrats i validats amb estacions pluviomètriques (Volkman et al., 2010; Bricet et al., 2011; Girons et al., 2015). Endemés, la resolució temporal i espacial que obté el radar s'adequa a les necessitats d'informació meteorològica que es requereixen per estudiar els esdeveniments de precipitació en quant a mida, intensitat i durada (Crawford, 1979).

Finalment, l'obtenció de valors hidromètrics representatius és fonamental per detectar dades errònies, caracteritzar els events extrems, les dinàmiques hidrològiques i els seus possibles canvis. Cal considerar que poques dades a nivell temporal poden conduir a valors poc representatius, sobretot en el càlcul del cabal mitjà en règims hidrològics efímers i intermitents (Westberg et al., 2011). En aquest sentit, la *International Hydrological Decade* estableix un període mínim de deu anys de recol·lecció de dades (Ward, 1967). Autors com Boudevillain et al. (2011) coincideixen en una monitorització d'una durada superior a deu anys per obtenir resultats representatius. Però, autors com Sense i Farqharon (1998) recomanen un període entre 15 i 20 anys. Boudevillain et al. (2011) afirmen que s'ha de seguir una triple estratègia: estudis actuals, estudi d'esdeveniments extrems i dades històriques. És per això que implementar una xarxa hidromètrica i obtenir resultats a llarg termini ha de permetre millorar la qualitat de les dades de manera que les desviacions estàndards no superin el 20% pel cabal mitjà, el 30% pel període de retorn T50 i la mitjana de les inundacions anuals i un 10% pel període de retorn T2 i la mitjana setmanal del cabal (Mosley i Mckerchar, 1989). A l'extrem oposat, es troben estudis que utilitzen registres a curt termini, com als continents africà i asiàtic (Mosley i McKerchar, 1989), en els quals la disminució del nombre d'estacions ve fonamentada per problemes de finançament, marcs institucionals inadequats, falta de reconeixement de valor de les dades a llarg termini, guerres o d'altres desastres (Mishra i Coulibaly, 2009) i/o un mal disseny (Sense i Farquharsin, 1998). Tot plegat, incrementa exponencialment la incertesa de les dades i per tant la presa de decisions errònies afectant a l'abastiment d'aigua i a la mala inversió i gestió dels recursos. Esdevé

aquí fonamental utilitzar registres a llarg termini així com avaluar i actualitzar el disseny de la xarxa hidromètrica periòdicament.

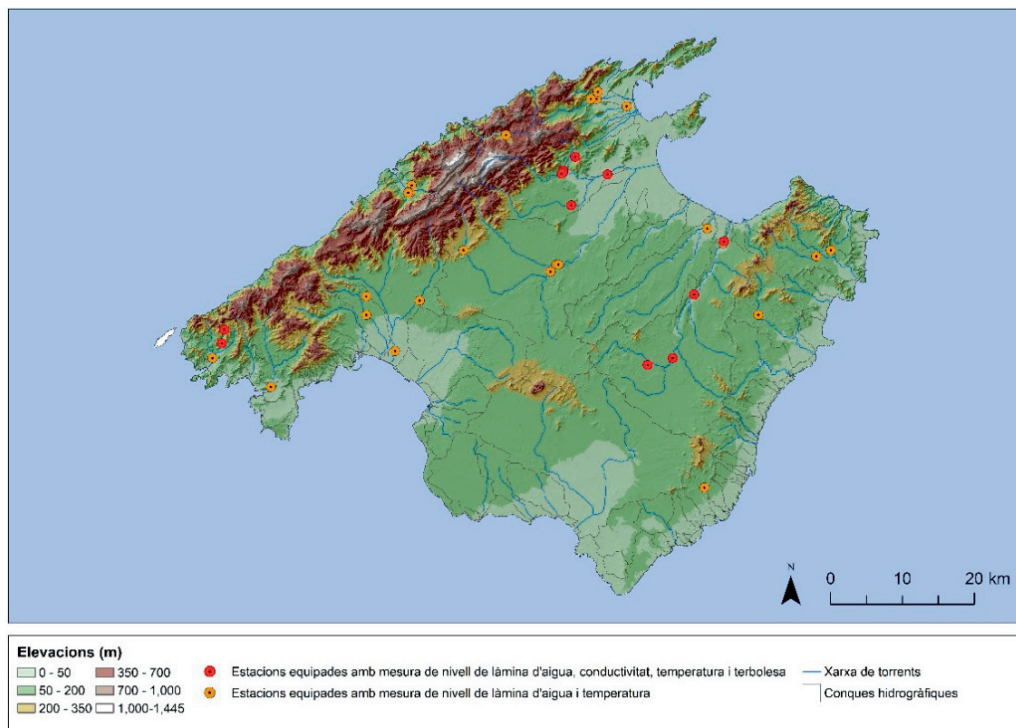
## **2. La xarxa hidromètrica de la Universitat de les Illes Balears**

El monitoratge de la hidrologia superficial a l'illa de Mallorca es realitza mitjançant una xarxa foronòmica (1965-actualitat), gestionada per la Direcció General de Recursos Hídrics de la Comunitat Autònoma de les Illes Balears, la qual és competent de la planificació hidrològica i del domini públic hidràulic. El disseny de la xarxa respon a un objectiu inicial -durant els anys 60 del segle XX- d'estudi sobre el potencial hidrològic de conques de drenatge per construir una sèrie d'embassaments projectats per la Prefectura d'Obres Hidràuliques de Balears. La xarxa foronòmica actualment es compon de 32 estacions equipades amb instrumental analògic (7 limnífgrafs i 25 limnífmetres). Els limnífgrafs s'ubiquen dins casetes d'aforament a un dels marges dels torrents. Aquesta caseta té un pou amb una obertura inferior que connecta l'instrumental amb la secció del canal. L'instrument està compost per un sistema d'engranatges que connecten un pes a una ploma per enregistrar a un paper (limnífgrama) les oscil·lacions del nivell de l'aigua. Setmanalment de forma manual s'ha de canviar el limnífgrama i donar corda al mecanisme d'engranatges. El limnífmetre, és una barra metàl·lica, ubicada a un dels marges del canal, amb una escala centimètrica per llegir diàriament el nivell de la làmina d'aigua de forma visual. Amb el pas dels anys, aquests sistemes han quedat obsolets per mor del deficient manteniment, la manca de renovació de l'instrumental, fent que el mètode de recollida de dades condueixi a dia d'avui a la poca representativitat i validesa de tota la sèrie temporal de dades (Estrany, 2008).

La Universitat de les Illes Balears va implementar en diferents fases des de l'any 2004 una xarxa hidromètrica que compta actualment amb 34 estacions equipades amb sensors digitals de pressió (Fig. 2). D'aquesta manera, s'obté un registre continu i precís que juntament amb un manteniment adequat i mesures acurades de camp, permet obtenir dades hidromètriques per sustentar amb rigor la investigació en hidrologia superficial en conques mediterrànies. Els registres històrics d'hidrologia superficial són de suma importància en la planificació hidrològica, de riscos d'inundació i de sostenibilitat dels ecosistemes lòtics. Així, la Directiva Marc de l'Aigua de la Unió Europea (2000) exigeix l'aplicació de cicles de planificació hidrològica en els quals la robustesa i fiabilitat de les sèries de dades generades per les xarxes hidromètriques són fonamentals per a la realització dels Plans de Risc d'Inundació.

Aquesta infraestructura formada per estacions hidromètriques i meteorològiques que mesuren multitud de variables físiques en la xarxa fluvial de l'illa de Mallorca es troba actualment basada en un model de captura d'estacions aïllades que requereixen la inspecció periòdica per validar-ne el seu funcionament i descarregar les dades de les mesures capturades. Aquest model actualment està

obsolet i requereix d'una actuació de disseny que permeti passar tota la infraestructura a un model distribuït d'estacions connectades.

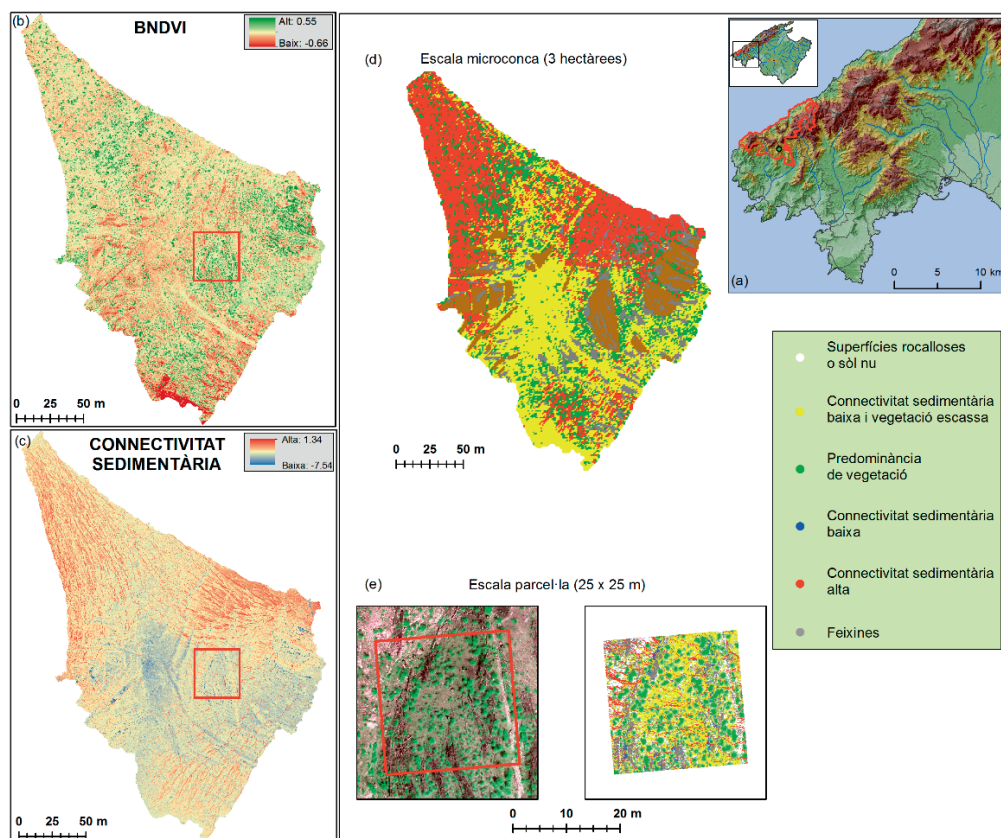


**Figura 2.** Xarxa hidromètrica de la Universitat de les Illes Balears composta per 34 estacions hidromètriques.

Amb l'objectiu d'aprofitar al màxim la integració de serveis disponibles a les Illes Balears, el redisseny de tota la xarxa hidromètrica UIB usant la tecnologia *LoraWAN* està en procés de desplegament a través de la col·laboració entre la Direcció General d'Innovació i Recerca de la Conselleria d'Innovació, Recerca i Turisme i la Universitat de les Illes Balears. En aquest sentit, el grup de recerca en Hidrologia i ecogeomorfologia en ambients mediterranis –MEDhyCON ha comptat amb el finançament de l'*Acció Especial de Recerca, Desenvolupament Tecnològic i Innovació AAEE036/2017 "Bones pràctiques per la captura de dades del territori a través de la connexió de sensor a la xarxa LoraWAN pública"*, finançada per la Conselleria d'Innovació, Recerca i Turisme del Govern de les Illes Balears 2017-2018. Aquesta tecnologia de comunicacions de sensors s'adapta perfectament a les necessitats de la xarxa hidromètrica, ja que evita un consum energètic elevat en les estacions hidromètriques durant la transmissió i permet aconseguir llargues distàncies de cobertura amb una infraestructura mínima. Per tant, la tecnologia *LoraWAN* permetrà introduir l'automatització a totes les estacions hidromètriques de la xarxa UIB a un cost molt baix de desplegament.

### 3. Àrea pilot

La conca de drenatge del torrent de sa Font de la Vila (4,8 km<sup>2</sup>) fou seleccionada per estudiar la resposta ecogeomorfològica de l'àrea afectada per l'incendi forestal ocorregut a l'estiu del 2013 a la comarca del Pariatge, ponent de l'illa de Mallorca. S'implementà un sistema de monitoratge del flux d'aigua i del sediment, així com un seguiment sistemàtic de l'evolució de la vegetació a la zona afectada a través de l'ús d'imatges multi-espectrals capturades amb drons, avions i satèl·lits. El conjunt d'informació recollida permet realitzar una anàlisi detallada de la dinàmica i correlació de les variables ambientals post-incendi a diferents escales geogràfiques (Fig. 3).



**Figura 3.** Anàlisi multi-escalar de la resposta ecogeomorfològica post-incendi al coll de So na Vidala, comarca del Pariatge, Mallorca. (a) Localització de l'àrea d'estudi a l'illa de Mallorca com també dins el perímetre de l'àrea cremada a l'incendi del 2013. (b) Índex de vegetació normalitzada per estimar la quantitat, qualitat i desenvolupament de la vegetació post-incendi a l'abril de 2015. (c) Índex de connectivitat sedimentària com a valoració crítica de l'aigua i el sediment que es transfereix entre dos compartiments del paisatge. Distribució geogràfica dels sis elements més significatius del paisatge configurats a partir d'anàlisi espacial a escala micro-conca (d) i escala parcel·la (e).

El sistema creat facilita l'avaluació de l'efecte de la precipitació sobre la recuperació de la coberta vegetal i els usos del sòl i permet la identificació de diversos escenaris d'evolució natural de l'espai forestal. La integració de les

dades hidrogeomorfològiques en la gestió post-incendi té per objectiu millorar la resiliència ecosistèmica i incrementar l'eficiència en la restauració paisatgística a curt i llarg termini (Estrany et al., 2018).

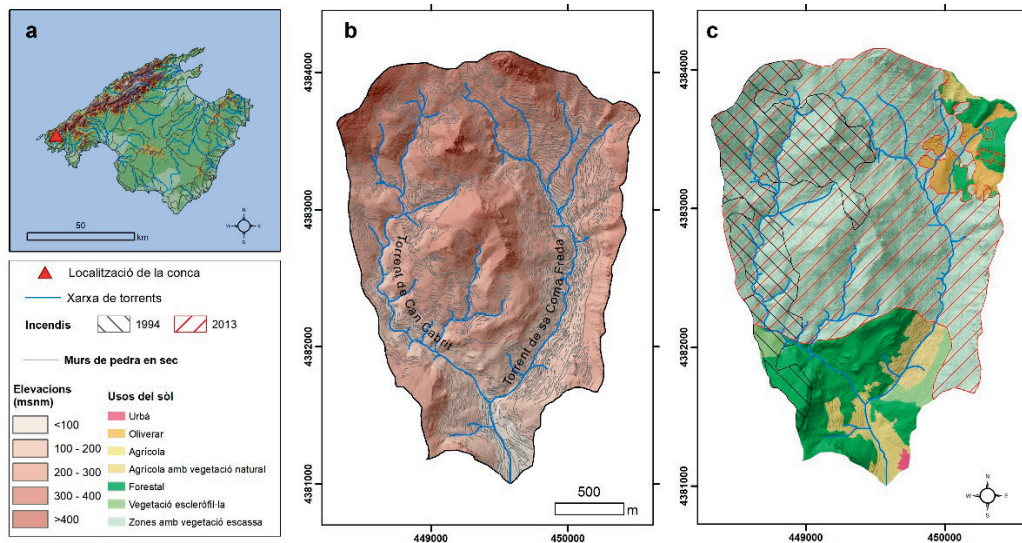
Amb l'objectiu principal d'analitzar l'exportació d'aigua i sediment, en aquesta conca –la qual és representativa dels usos del sòl, la geomorfologia i la litologia de la zona afectada per l'incendi forestal– el grup de recerca MEDhyCON construí just dos mesos després de l'incendi forestal dues estacions hidromètriques en col·laboració de la Conselleria de Medi Ambient, Agricultura i Pesca. Emfatitzant que els incendis forestals generen perturbacions en les dinàmiques i processos del medi natural, causant canvis severs al cicle hidrològic i geomorfològic, la sèrie de dades està permetent el monitoratge continu dels processos post-incendi d'erosió i exportació d'aigua i sediment a escala conca de drenatge a curt termini (1 any després de l'incendi) i ja a mig termini ( $\approx 5$  anys), tot tenint l'oportunitat d'un monitoratge a llarg termini (10 anys), considerant el context de canvi global i els seus efectes en ecosistemes mediterranis. Donada la situació actual, és transcendental estudiar els llindars de sensibilitat dels sistemes ecogeomorfològics a llarg termini del període post-incendi (i.e., 10 anys) per valorar els riscos de desertificació existents mitjançant la continuació de les línies de treball que ja han generat una base de dades d'extraordinari potencial científic-tècnic. El procés d'abandonament de les tasques agrícoles a la Serra de Tramuntana causant d'una aforestació massiva i el consegüent increment dels riscos d'incendi forestal, confereix un paper clau a les terrasses agrícoles –ara abandonades– ja que de les anàlisis de qualitat del sòl que el grup MEDhyCON està desenvolupant, se'n deriva que els sòls d'aquestes terrasses agrícoles abandonades és on s'observen majors indicis de degradació de la qualitat del sòl (Lucas-Borja et al. 2018), fent peremptòria la necessitat de continuar la recerca per tal d'estudiar els efectes ecosistèmics del foc a llarg termini en un espai declarat Patrimoni de la Humanitat eminentment pel seu impressionant llegat que en el paisatge ha deixat la tècnica de pedra en sec durant mil·lennis –encara que intensament des del segle XVIII– a través de la faraònica construcció de diversitat d'estructures de conservació del sòl.

La ubicació de la primera estació hidromètrica en el torrent de Sa Font de la Vila es planificà a uns 600 metres al nord-oest del nucli urbà d'Andratx. Aquesta estació tanca una conca que és part dels contraforts sud-occidentals de la Serra de Tramuntana, tot presentant unes altituds compreses entre els 490 m.s.n.m a la zona de capçalera i el 71 m.s.n.m a l'estació esmentada. La conca està dividida en dues sub-conques principals, el torrent de Can Cabrit a l'oest i el de Sa Coma Freda a l'est (Fig. 4b), per confluïr finalment en el torrent que dona nom a la conca.

La litologia es caracteritza per la presència de materials calcaris del Retià i Lias, a excepció dels fons de les valls on es troben argiles i margues del Keuper, cosa



que –combinada amb el gradient clinomètric moderat <10%– ha propiciat històricament l’aprofitament agrícola de la zona, patent en les nombroses estructures tradicionals de conservació de sòl que es poden trobar en forma de marjades i parats. L’àrea afectada per aquestes estructures a la conca és del 37% amb un total de 147 km lineals de murs de pedra en sec (Fig. 4b).



**Figura 4.** (a) Ubicació del torrent de Sa Font de la Vila a l’illa de Mallorca. (b) Model Digital d’Elevacions de Sa Font de la Vila. (c) Usos del sòl (2012) com també afectació dels incendis forestals del 1994 i 2013 a l’àrea d’estudi.

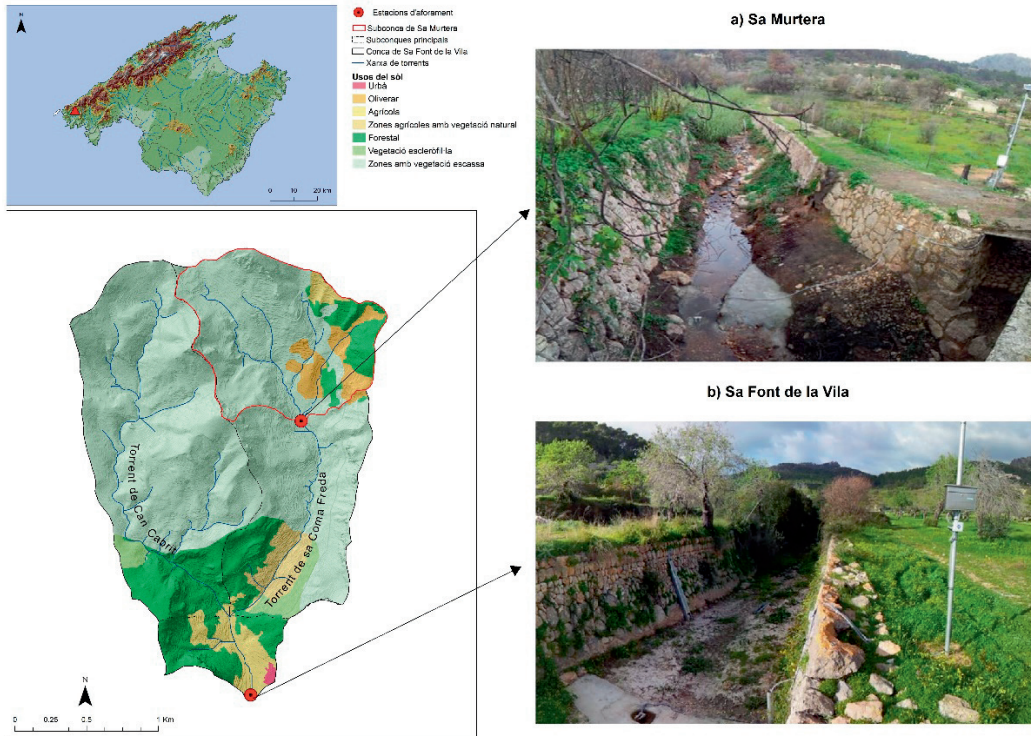
La conca ha estat afectada per dos grans incendis forestals durant els darrers 20 anys (Fig. 4c), un al 1994, cremant un 45% de la seva superfície i un altre al 2013, on l’afectació va arribar al 77%. Abans de l’incendi forestal del 2013, els usos del sòl (Fig. 4c) es composaven per masses forestals (52%), conreu arbrat de secà (23%), matollar (19%) i conreu herbaci de secà (6%).

Segons la classificació climàtica d’Emberger (Guijarro, 1986), el clima a Sa Font de la Vila és mediterrani temperat subhúmit a les zones de capçalera i càlid subhúmit a les parts baixes de la conca. Segons dades reportades a l’estació meteorològica B118 s’Alqueria d’Andratx (1974-2010) de l’Agència Estatal de Meteorologia (AEMET), la temperatura mitjana anual és de 16,5°C i la precipitació de 531,7 mm, amb un coeficient de variació interanual del 23%. Tempestes intenses, amb un període de retorn de 10 anys, poden acumular fins a 85 mm en 24 hores.

#### 4. Monitoratge continu dels fluxos d’aigua i sediment a l’àrea pilot

A finals de l’any 2013 es varen instal·lar dues estacions hidromètriques per monitoritzar els fluxos d’aigua i sediment en suspensió. Aquestes estacions són, sa Murtera (1,1 km<sup>2</sup>), localitzada a la part nord-est de la conca de sa Font de la

Vila, a la capçalera del torrent de sa Coma Freda, i l'estació de Sa Font de la Vila (4,8 km<sup>2</sup>).



**Figura 5.** El mapa superior esquerre mostra la ubicació de la conca del torrent de sa Font de la Vila a l'illa de Mallorca, mentre que el mapa inferior esquerre mostra els usos del sòl de dita conca com a àrea pilot, amb la ubicació de les estacions hidromètriques de sa Murtera –fotografia dreta superior– i sa Font de la Vila –fotografia dreta inferior–.

D'aquesta manera es monitoritzen tant les dinàmiques hidrològiques i sedimentàries a la zona de capçalera de la conca, podent establir les aportacions hídriques i sedimentàries d'un dels petits compartiments en que es divideix la conca principal, com els processos hidrològics i erosius que es produeixen en la totalitat de la conca, el que permet obtenir una visió generalitzada de les seves dinàmiques.

L'estació de sa Murtera ha estat seleccionada com a estació pilot per dur a terme el procés d'automatització. Aquesta està instrumentada sobre una secció irregular que presenta marges d'uns 3 metres d'alçada, tenint una amplada de 6 metres a la part alta i de 2,5 metres a la part baixa de la secció (fotografia superior de la Fig. 5). La instrumentació consisteix en un acumulador de dades *Campbell Scientific CR200X* alimentat per un panell solar i dues bateries de 7 ampers i 14 volts, on s'emmagatzemen les dades d'altura de làmina d'aigua recollides per una sonda de pressió *Campbell Scientific CS451-L*, les dades de terbolesa de l'aigua mesurades per un turbidímetre *OBS-3+* amb un doble rang de mesura de 0-1.000/1.000-4.000 NTU, així com dades de conductivitat i temperatura de l'aigua

mesurades per una sonda *Hobo U24-001 Logger*, amb un rang de lectura entre 0-10.000  $\mu\text{S cm}^{-1}$ . A més a més, s'hi va connectar una sonda d'humitat i temperatura del sòl (*Campbell Scientific CS650*), la qual mesura la humitat dels 30 centímetres superficials del sòl. La mesura contínua de la humitat del sòl permet conèixer el grau de saturació hídrica del sòl i correlacionar-lo amb la resposta de l'escorrentia a la precipitació. Es va instal·lar en el marge del llit fluvial un mostrejador de botelles per sífó adaptat a les dimensions del canal (d'1 m d'alçada i equipat amb 7 botelles) que s'utilitza tant per calibrar els valors continus proporcionats pel turbidímetre i transformar-los en concentració de sediment en suspensió com per obtenir més informació sobre les dinàmiques de transport de sediment en suspensió i dissolució a la conca. Finalment, i de manera complementària, es va instal·lar un pluviòmetre *Casella* i un termòmetre *Hobo Pendant* per mesurar la intensitat i volum de la precipitació així com la temperatura, respectivament. El datalogger gestiona un programa que ordena la lectura de les sondes minutalment així com l'emmagatzematge amb la mitjana de dites lectures quinzeminutalment.

## **5. Del monitoratge continu al monitoratge en temps real**

El procediment per a l'obtenció de dades es realitza a partir de sortides de camp en les quals l'equip de recerca visita les estacions de la xarxa hidromètrica. Aquestes sortides s'organitzen amb una periodicitat màxima de dos mesos i mig, temps en el qual se supera la capacitat d'emmagatzematge de dades del datalogger. Una vegada a l'estació, es realitzen tasques de manteniment de la secció (p. ex., netejar la secció d'aforament i eixermar vegetació), mesura de la velocitat del flux amb molinet hidràulic, recollida manual de mostres d'aigua i sediment en suspensió i descàrrega de dades a través de connexió RS232 o USB entre un ordinador portàtil i el datalogger. En el moment que es produeix aquesta connexió, el programa de gestió del datalogger permet tant la consulta de les dades en temps real com la consulta ràpida de les dades descarregades tot identificant si hi ha algun error en el funcionament de l'instrumental. És durant aquest procés quan es pot detectar la pèrdua d'informació i discontinuïtat en les sèries temporals, tot podent causar discontinuïtats de vegades significatives des d'un punt de vista estadístic.

L'automatització de l'estació consistí en la provisió de material elèctric i electrònic per adequar l'estació a les capacitats de transmissió *LoRAWAN*, pel qual també es realitzà procés de donar d'alta el transmissor amb el gestors de la plataforma *LoRAWAN* per a la validació de cobertures i funcionament. Finalment, es va dur a terme una programació del portal de connexió del servidor *LoRAWAN* amb la base de dades que finalment organitzarà les dades en base a un model específic.

L'automatització de l'estació possibilita l'obtenció i visualització de les dades en temps real i per tant conèixer i validar els valors de les variables ambientals



monitoritzades. Es genera així un embrió del que és un sistema d'alerta i informació hidrològica que transmet dades en temps real contínuament i permet detectar canvis sobtats en les variables mesurades (i.e., làmina d'aigua), fent factible la generació d'alertes per risc d'inundació. El règim hídric dels cursos fluvials mediterranis es caracteritza per esdeveniments de precipitació intensos i breus que es transformen en crescudes espasmòdiques de poques hores de durada i virulenta intensitat. Aquest comportament efímer dificulta l'obtenció de mesures de camp que ajuden a validar els processos hidrològics i el calibratge de l'instrumental. L'obtenció de dades en temps real ha de facilitar l'ajustament de la realització d'aquestes mesures de camp i per tant aconseguir la màxima representativitat possible, contemplant que aquestes mesures es restringeixen a moments puntuals de l'any. A més, aquest avenç, ajudarà a identificar problemes en el funcionament dels sensors per actuar de manera més àgil i eficaç en la solució dels problema. D'aquesta manera, s'assegura una major robustesa i continuïtat de la sèrie de dades sense buits temporals i ajustant les mesures de camp per obtenir la màxima representativitat estadística.

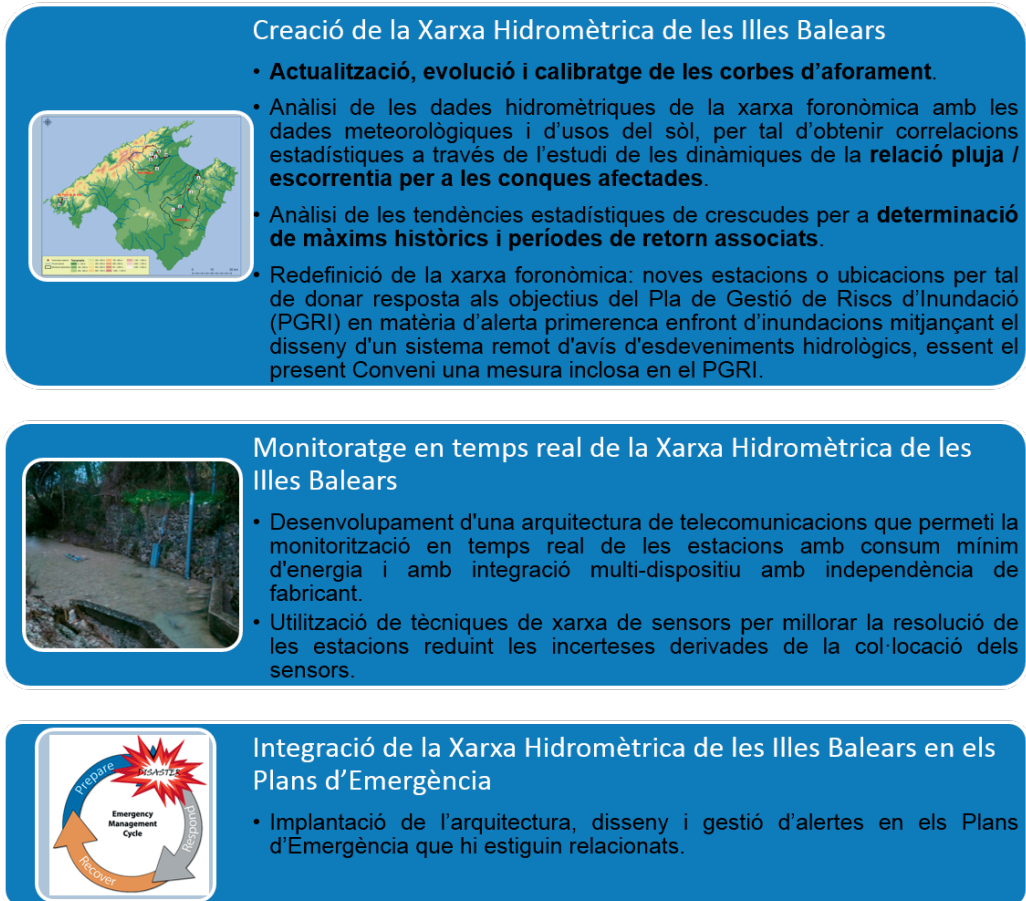
### 6. Prospectiva

La gestió del coneixement d'un recurs tan valuós avui en dia com és l'aigua requereix d'una monitorització automatitzada per a la protecció, preservació, modernització i recuperació del medi natural, rural i agrari. La xarxa de torrents és una component estructural bàsica del paisatge a les Illes Balears que requereix d'una gestió acurada per afrontar els reptes socials i turístics de sostenibilitat i la lluita contra el canvi climàtic. Així doncs, el repte a mig-llarg termini és ampliar el procés d'automatització ja validat a l'estació de sa Murtera a la resta de la xarxa hidromètrica de la Universitat de les Illes Balears. Aquest procés consta de tres fases (Fig. 6). La primera fase, la qual el grup ja ha assolit en part, és la redefinició de la xarxa hidromètrica mitjançant l'ús de sensors digitals, el calibratge d'aquests sensors i l'actualització de les corbes d'aforament. Una vegada obtingudes aquestes dades es pot realitzar l'estudi de les dinàmiques hidrològiques i l'anàlisi de les tendències de crescudes per a la determinació de màxims històrics i període de retorn associats (Fortesa et al., 2018).

La segona fase és el desenvolupament d'una arquitectura de telecomunicacions que permeti la monitorització en temps real de les estacions amb consum mínim d'energia i amb integració multi-dispositiu amb independència de fabricant. Aquesta monitorització en temps real transformarà la xarxa hidromètrica en un Sistema Automàtic d'Informació Hidrològica (SAIH) el qual serà de suma importància en la planificació hidrològica, de riscos d'inundació i de sostenibilitat dels ecosistemes lòtics. D'aquesta manera, la tercera fase serà adaptar aquest SAIH als Plans d'Emergència de les Illes Balears i a la Directiva Marc de l'Aigua (Unió Europea, 2000), la qual exigeix l'aplicació de cicles de planificació hidrològica en els quals la robustesa i fiabilitat de les sèries de dades

generades per les xarxes hidromètriques són fonamentals per a la realització dels Plans de Risc d'Inundació.

L'impacte d'aquesta nova gestió automatitzada permetrà el desenvolupament d'una nova metodologia d'explotació i manteniment de les estacions hidromètriques tot palesant el potencial que les noves tecnologies poden tenir en la construcció de coneixement en matèria de medi ambient i l'impacte social en quan a disminució de riscos ambientals com les inundacions.



**Figura. 6.** Objectius específics de la xarxa hidromètrica de la Universitat de les Illes Balears.

En definitiva, aquesta eina de transferència de coneixement implicarà una millora important de la gestió de la xarxa fluvial de les Illes Balears amb la creació d'un instrument operatiu de recolzament a la planificació i gestió dels recursos hídrics superficials i els riscos d'inundació donant compliment al desplegament i aplicació del Pla de Gestió del Risc d'Inundació de les Illes Balears. D'aquesta forma, s'assolirà un elevat grau de capacitat predictiva front situacions d'avinguda i inundacions permetent anticipar l'episodi d'inundació i així realitzar

les accions preventives necessàries per disminuir els danys que eventualment pogués produir la inundació.

El canvi global –entès com la suma de canvis en els usos del sòl i en el clima– pot provocar modificacions significatives en els processos hidrològics. Les projeccions climàtiques indiquen l'ocurrència d'esdeveniments extrems, *ergo* sequeres, inundacions. Augmentant les temperatures i alterant els règims de precipitació, s'espera que el canvi climàtic afecti la dinàmica hidrològica. Les prediccions dels efectes del canvi climàtic sobre els recursos hídrics varien molt, depenent de la ubicació geogràfica i dels escenaris usats, encara que mitjançant la millora de les xarxes de control hidromètric i mitjançant la modelització matemàtica, serà possible abordar els reptes que planteja el canvi global. Es tracta per tant de simular els processos hidrològics en conques de drenatge a partir de dades fiables que alhora permeti la simulació dels efectes del canvi global sobre els recursos hídrics. Addicionalment, la Universitat de les Illes Balears està promovent una cultura de dades obertes per a problemes hidrològics a regions mediterrànies. En aquest mateix nivell, aportarà altres beneficis importants per a la societat, com indicadors ambientals que es podran utilitzar per quantificar els canvis en la disponibilitat de recursos hídrics (a causa del canvi global) i facilitar la interpretació dels resultats de modelització, especialment en aquelles zones afectades per riscos ambientals com les inundacions i els incendis forestals. Tot plegat donarà suport i alimentarà la plataforma de gestió automatitzada que proporcionarà tècniques de gestió millorades en benefici dels usuaris finals.

### Referències

- Belmonte AMC, Beltrán FS, 2001. Flood events in Mediterranean ephemeral streams (ramblas) in Valencia region, Spain. *Catena*, 45(3), 229-249.
- Boudevillain B, Delrieu G, Galabertier B, Bonnifait L, Bouilloud L, Kirstetter PE, Mosini ML, 2011, The Cévennes-Vivarais Mediterranean Hydrometeorological Observatory database. *Water Resources Research*, 47, 1–6.
- Crawford KC, 1979, Considerations for the design of a hydrologic data network using multivariate sensors. *Water Resources Research*, 15(6), 1752-1762.
- Dixon H, 2010, Managing national hydrometric data: from data to information. *Global Change: Facing Risks and Threats to Water Resources (Proc. Of the Sixth World Water Conference, Fez, Morocco 2010)*. IAHS Publ. 340, 451-158.
- Dixon H, Hannaford J, Fry MJ, 2013, The effective management of national hydrometric data—experiences from the United Kingdom. *Hydrological Sciences Journal*, 58(7), 1383-1399.
- Estrany J, 2008, Calibratge de la corba d'aforaments i anàlisi de resultats a estacions d'aforament experimentals. Informe tècnic. Direcció General de Recursos Hídrics. Conselleria de Medi Ambient. Govern de les Illes Balears.
- Estrany J, Ruiz-Pérez M, Calsamiglia A, Carriquí M, García-Comendador J, Nadal M, Fortesa J, López-Tarazón JA, Medrano H, Gago J, 2018. Sediment connectivity linked to vegetation using UAVs: high-resolution imagery for ecosystem management. *Science of the Total Environment*, *en revisió*.

- Fortesa J, García-Comendador J, Calsamiglia A, López-Tarazón JA, Latron J, Alorda B, Estrany J, 2018. Comparison of recording Systems and stage/discharge rating curves: uncertainty analysis of streamflow data in a Mediterranean island. *Science of the Total Environment*, *en revisió*.
- Gil FE, Zueco SD, Ojeda AO, Fabre MS, 2008. La crecida del Ebro de 2007: procesos hidrometeorológicos y perspectivas de gestión del riesgo. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, (48), 129-154.
- Girons Lopez M, Wennerström H, Nordén LA, Seibert J, 2015, Location and density of rain gauges for the estimation of spatial varying precipitation. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 97, 167-179.
- Gregory S, 1964, Water resource exploitation-policies and problems. *Geography*, 49(3), 310-314.
- Guijarro JA, 1986, Contribución a la Bioclimatología de Baleares. Resumen de Tesis Doctoral, Universitat de les Illes Balears, 36 pp.
- Laizé CLR, 2004, Integration of spatial datasets to support the review of hydrometric networks and the identification of representative catchments. *Hydrology and Earth System Sciences*, 8(6), 1103-1117.
- Laizé CLR, Marsh TJ, Morris DG, 2008, Catchment descriptors to optimise hydrometric networks. *Water Management*, 161(WM3), 117-125.
- Le Coz J, 2008, Challenges in hydrometry: some examples from France. *Experiences and Advancements in Hydrometry Mar 2008*, Seoul, South Korea. 8 p.
- Li C, Singh VP, Mishra AK, 2012, Entropy theory-based criterion for hydrometric network evaluation and design: Maximum information minimum redundancy. *Water Resources Research*, 48(5).
- Lucas-Borja ME, Calsamiglia A, Fortesa J, García-Comendador J, Guardiola EL, García-Orenes F, Gago J, Estrany J, 2018. The role of wildfire on soil quality in abandoned terraces of three Mediterranean micro-catchments. *CATENA*, 170, 246-256.
- McMillan H, Krueger T, Freer J, 2012, Benchmarking observational uncertainties for hydrology: rainfall, river discharge and water quality. *Hydrological Processes*, 26, 4078-4111.
- Mishra AK, Coulibaly P, 2009, Developments in hydrometric network design: A review. *Reviews of Geophysics* 47.
- Mishra AK, Coulibaly P, 2010, Hydrometric network evaluation for Canadian watersheds. *Journal of Hydrology*, 380(3-4), 420-437.
- Mosley MP, Mckerchar AL, 1989, Quality assurance programme for hydrometric data in New Zealand. *Hydrological Sciences Journal*, 34(2), 185-202.
- Moss ME, 1979, Some basic considerations in the design of hydrologic data networks. *Water Resources Research*, 15(6), 1673-1676.
- Spence C, Saso P, Rausch J, 2007, Quantifying the Impact of Hydrometric Network Reductions on Regional Streamflow Prediction in Northern Canada. *Canadian Water Resources Journal*, 32(1), 1-20.
- Unió Europea 2000, Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy (Water Framework Directive). *Official Journal of the European Communities C L 327 22/12/2000*.
- Volkman THM, Lyon SW, Gupta HV, Troch P, 2010, Multicriteria design of rain gauge networks for flash flood prediction in semiarid catchments with complex terrain. *Water Resources Research* 46, 1-16.
- Ward ARC, 1967, Design of Catchment Experiments for Hydrological Studies Published by : The Royal Geographical Society ( with the Institute of British Geographers ). *The Geographical Journal*, 133(4), 495-502.
- Westerberg I, Guerrero JL, Seibert J, Beven KJ, Halldin S, 2011. Stage-discharge uncertainty derived with a non-stationary rating curve in the Choluteca River, Honduras. *Hydrological Processes* 25 (4): 603-613.



# Aspectos jurídicos de las smart cities y de la plataforma IoTIB

Antonia Paniza Fullana<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Profesora Titular de Universidad de Derecho Civil, Departamento Universitat de les Illes Balears

## 1. Planteamiento: Internet de las cosas desde el punto de vista jurídico

Los avances tecnológicos sobre los que se basan las smart cities conllevan la recogida de gran cantidad de información, basándose en plataformas de tecnologías del conocido como Internet de las Cosas (Internet of Things, IoT)<sup>1</sup>. En este tema se abre necesariamente un debate entre la privacidad y la gran cantidad de información que es necesario recoger para que la tecnología funcione adecuadamente. Se analizarán en este trabajo algunos de los puntos del IoT desde la perspectiva jurídica, destacando la cuestión de la protección de datos de carácter personal. Las posibilidades, ventajas y avances que supone manejar gran cantidad de datos conlleva desde un punto de vista jurídico el análisis del tipo de datos recogidos, lo que nos llevará a la aplicación de la normativa correspondiente, así como la posibilidad de crear perfiles cruzando datos diferentes, lo que puede afectar a la privacidad del usuario.

## 2. La plataforma IoTIB y la privacidad: la normativa sobre protección de datos de carácter personal

Tal como se ha explicado en otros capítulos, con la plataforma IoTIB se pretenden situar sensores en cualquier punto de la Comunidad Autónoma, pero ni la estación/sensor ni el servidor de datos dependerán de la aplicación finalista. Supondrá importantes mejoras para consumidores y empresarios sin que ello suponga un menoscabo para la protección de datos personales y la privacidad de los usuarios. Se trata de una plataforma abierta, que tendrá acceso a datos proporcionados por diferentes fuentes que conformarán la plataforma IoTIB. Hay que destacar dos aspectos desde el punto de vista jurídico: la protección de datos de carácter personal, la responsabilidad de las partes que concurren en la plataforma, así como la seguridad de este tipo de redes.

La protección de la privacidad es uno de los grandes retos que plantean las plataformas del Internet de las cosas. La Propuesta de Reglamento del Parlamento Europeo y del Consejo sobre el respeto de la vida privada y la protección de los datos personales en el sector de las comunicaciones electrónicas y por el que se deroga la Directiva 2002/58/CE (Reglamento sobre la privacidad y las comunicaciones electrónicas), en su considerando 12, ya incluye

---

<sup>1</sup> En general, *vid.*

[http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2015/557012/EPRS\\_BRI\(2015\)557012\\_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2015/557012/EPRS_BRI(2015)557012_EN.pdf)

expresamente en su ámbito de aplicación a las comunicaciones de máquina a máquina. Lo hace en estos términos: *“Los dispositivos y máquinas conectados se comunican cada vez más entre sí mediante redes de comunicaciones electrónicas (internet de las cosas). La transmisión de comunicaciones de máquina a máquina comporta el transporte de señales a través de una red y, por ende, constituye generalmente un servicio de comunicaciones electrónicas. Con el fin de garantizar la plena protección de los derechos a la privacidad y la confidencialidad de las comunicaciones y promover una internet de las cosas fiable y segura en el mercado único digital, es necesario aclarar que el presente Reglamento ha de aplicarse a la transmisión de comunicaciones de máquina a máquina. Por lo tanto, el principio de confidencialidad establecido en el presente Reglamento también ha de aplicarse a la transmisión de comunicaciones de máquina a máquina. También se podrán adoptar salvaguardias específicas en la normativa sectorial, como por ejemplo la Directiva 2014/53/UE”*<sup>2</sup>. Incluye en su ámbito de aplicación las comunicaciones de máquina a máquina a los efectos de la prestación de servicios de comunicaciones electrónicas a los usuarios.

En este tema, hay que tener en cuenta especialmente el Dictamen nº 8/2014, del Grupo de Trabajo del artículo 29, sobre la evolución reciente de la Internet de las cosas, de fecha 16 de septiembre de 2014. En nota informativa de la Agencia Española de Protección de Datos ya se hacía referencia a los peligros que podía conllevar para la protección de datos de carácter personal. Lo hacía en estos términos: *“A pesar de que los objetos que conforman la internet de las cosas recogen piezas aisladas de información, los datos recogidos de diferentes fuentes y analizados de otra forma o en conjunción con otros pueden revelar auténticos patrones de la vida de las personas. Un ejemplo destacado en el Dictamen es la información recogida por el acelerómetro y el giroscopio de un smartphone, que podría ser utilizada para obtener información sobre los hábitos de conducción del individuo”*. La nueva normativa de protección de datos, el Reglamento (UE) 2016/679 del Parlamento Europeo y del Consejo de 17 de abril de 2016, relativo a la protección de las personas físicas en lo que respecta al tratamiento de datos personales y a la libre circulación de esos datos y por el que se deroga la Directiva 95/46/CE (Reglamento general de protección de datos) ya nos da algunas pautas que se pueden tener especialmente en cuenta en estos casos. Esta normativa será aplicable en el Internet de las cosas (IoT).

Entonces la primera pregunta que hay que formular es: ¿Qué es un dato de carácter personal? Un dato de carácter personal, según definición del artículo 4 del Reglamento general de protección de datos, es *“toda información sobre una*

---

<sup>2</sup> Sobre esta cuestión, *vid.* PIÑAR MAÑAS, J.L.: *Derecho, Técnica e Innovación en las llamadas ciudades inteligentes. Privacidad y gobierno abierto* en PIÑAR MAÑAS, J.L. (Dir.): *Smart cities. Derecho y técnica para una ciudad más habitable*. Zaragoza, 2017, página 29.



*persona física identificada e identificable (“el interesado”); se considerará persona física identificable toda persona cuya identidad pueda determinarse, directa o indirectamente, en particular mediante un identificador, como por ejemplo, un nombre, un número de identificación, datos de localización, un identificador en línea o uno o varios elementos propios de la identidad física, fisiológica, genética, psíquica, económica, cultural o social de dicha persona”.* Hay que tener en cuenta que esta norma se aplica al tratamiento total o parcialmente automatizado de datos personales, así como al tratamiento no automatizado de datos personales contenidos o destinados a ser incluidos en un fichero. En el caso de que en la plataforma se recogieran datos de carácter personal en el sentido expuesto será aplicable el Reglamento general de protección de datos, con las consecuencias que esta aplicación conlleva, destacando en el ámbito que aquí se analiza los deberes de información, el consentimiento del usuario, la finalidad del tratamiento y la cesión de los datos a terceros.

Puede ocurrir que los datos que se recojan estén totalmente anonimizados, pero aun así hay que vigilar que, aunque directamente no se pueda identificar a la persona, en ocasiones cruzando diferentes datos sí se podría llegar a identificar<sup>3</sup>. Otro aspecto importante a tener en cuenta en estos casos debido a la gran cantidad de datos que se pueden llegar a obtener es la posibilidad de elaboración de perfiles, que también define el Reglamento general de protección de datos como *“toda forma de tratamiento automatizado de datos personales consistente en utilizar datos personales para evaluar determinados aspectos personales de una persona física, en particular para analizar o predecir aspectos relativos al rendimiento profesional, situación económica, salud, preferencias personales, intereses, fiabilidad, comportamiento, ubicación o movimientos de dicha persona física”.*

Desde el punto de vista subjetivo, hay que diferenciar el titular de la infraestructura para crear la plataforma y los que, con posterioridad, utilizarán los datos obtenidos con los sensores colocados estratégicamente para obtener la información que servirá para crear sus propios proyectos. En este caso, parece que quien hará uso de los datos obtenidos por los sensores será cada uno de los proyectos que utilicen la infraestructura colocada previamente. El sistema en cuanto a partes implicadas y la posibilidad de uso de los datos puede ser complicada en este tipo de infraestructuras sobre las que se basan las *smarts*

---

<sup>3</sup> Sobre esta cuestión se puede consultar el documento de la Agencia de Protección de Datos sobre esta cuestión: Orientaciones y Garantías en los procedimientos de anonimización de datos personales

([https://datos.gob.es/sites/default/files/doc/file/orientaciones\\_y\\_garantias\\_anonimizacion\\_0.pdf](https://datos.gob.es/sites/default/files/doc/file/orientaciones_y_garantias_anonimizacion_0.pdf))  
. Y el Dictamen 05/2014 del Grupo de Trabajo de Artículo 29 sobre técnicas de anonimización.



*cities*<sup>4</sup>. La plataforma se podría considerar responsable solo en el caso de que recopilara datos de carácter personal de los usuarios, en el sentido que se ha definido anteriormente. El Reglamento general de protección de datos, distingue las figuras del responsable y encargado del tratamiento. El “responsable” se define como “la persona física o jurídica, autoridad pública, servicio u otro organismo que, solo o junto con otros, determine los fines y medios del tratamiento”. Y será “encargado del tratamiento”, “la persona física o jurídica, autoridad pública, servicio u otro organismo que trate datos personales por cuenta del responsable del tratamiento”<sup>5</sup>.

Es importante que las partes apliquen los principios del Reglamento general de protección de datos de la privacidad desde el diseño y la privacidad por defecto. Ambos se recogen en su artículo 25. Por lo que se refiere a la privacidad desde el diseño se exige que el responsable del tratamiento aplique, tanto en el momento de determinar los medios de tratamiento como en el momento del propio tratamiento medidas técnicas y organizativas apropiadas, como la seudonimización, concebidas para aplicar de forma efectiva los principios de protección de datos, como la minimización de datos y también integrar las garantías necesarias en el tratamiento, a fin de proteger los derechos de los interesados.

Por lo que se refiere a la privacidad por defecto, exige al responsable del tratamiento la aplicación de medidas técnicas u organizativas para garantizar que solo sean objeto de tratamiento los datos personales que sean necesarios para cada uno de los fines específicos del tratamiento. Y ello, según el artículo 25.2 del Reglamento general de protección de datos se aplicará a la cantidad de datos personales recogidos, a la extensión de su tratamiento, a su plazo de conservación y a su accesibilidad. Estas medidas también garantizarán que por defecto los datos personales no sean accesibles a un número indeterminado de personas<sup>6</sup>.

Por otra parte, también hay que destacar, entre otras, la recomendación que contiene la *Opinion 8/2014 on the Recent Developments on the Internet of Things* que establece recomendaciones para todas las partes implicadas, entre ellas, la

---

<sup>4</sup> Vid. VALERO TORRIJOS, J. y ROBLES ALBERO, J.R.: *Open Smart Cities: ¿De quién son los datos?* en AA.VV.: *Regulating Smart cities. Actas del 11º Congreso Internacional Internet, Derecho y Política*. Universitat Oberta de Catalunya, Barcelona, 2-3 de julio de 2015, páginas 15 a 27.

<sup>5</sup> Sobre las figuras del responsable y el tratamiento, aunque el Dictamen se hizo con la normativa anterior, vid. el Dictamen 1/2010 del Grupo de Trabajo del artículo 29, sobre los conceptos de “responsable” y “encargado” del tratamiento.

<sup>6</sup> Tal como establece la *Opinion 8/2014 on the Recent Developments on the Internet of Things, adopted don 16 september 2014* en el apartado 7.1 sobre recomendaciones a todas las partes que deberían aplicar los principios de la privacidad desde el diseño y la privacidad por defecto.

obligación de informar del tipo de datos que recogen los sensores y que después serán tratados, el tipo de datos que reciben y como serán procesados y combinados.

Por ello las recomendaciones serían:

- Tener en cuenta el tipo de datos que se recopilan para su posterior tratamiento y establecer quién es el responsable o encargado del tratamiento.
- Si se recopilan estos datos que en la medida que sea posible sean anónimos y no se puedan vincular a una persona física identificada o identificable.
- Que no se realicen perfiles públicos no deseados.
- En el caso de que se traten datos de carácter personal, se apliquen los principios de privacidad desde el diseño y por defecto, minimizando el uso de datos de carácter personal.
- Que se informe de los datos recogidos por los sensores y en caso de utilizar datos de carácter personal se cumplan todas las obligaciones que prevé la normativa sobre protección de datos aplicable, siendo básico el consentimiento, la información, establecer las finalidades del tratamiento y previendo las obligaciones en caso de cesión de datos a terceros.

### **3.- A modo de conclusión**

Son muchos los retos jurídicos que plantea el Internet de las cosas desde muy diferentes perspectivas, pero ello no debe ser un impedimento para el avance de plataformas que pretenden impulsar las ciudades inteligentes, ya que los beneficios para los usuarios pueden ser muy amplios. Se trata de buscar un equilibrio que haga posible el avance tecnológico dentro de un marco de seguridad jurídica para el usuario, garantizando en todo caso sus derechos.

### **Referencias**

NAVAS NAVARRO, S.: *Mercado digital. Principios y reglas jurídicas*. Valencia, 2016.

PIÑAR MAÑAS, J.L.: *Derecho, Técnica e Innovación en las llamadas ciudades inteligentes. Privacidad y gobierno abierto* en PIÑAR MAÑAS, J.L. (Dir.): *Smart cities. Derecho y técnica para una ciudad más habitable*. Zaragoza, 2017.

VALERO TORRIJOS, J. y ROBLES ALBERO, J.R.: *Open Smart Cities: ¿De quién son los datos?* en AA.VV.: *Regulating Smart cities. Actas del 11º Congreso Internacional Internet, Derecho y Política*. Universitat Oberta de Catalunya, Barcelona, 2-3 de julio de 2015, páginas 15 a 27.

### **Documentos**

*-Opinion 8/2014 on the Recent Developments on the Internet of Things (Adopted don 16 September 2014). Article 29 Data Protection Working Party.*

## **Aspectos jurídicos de las smart cities y de la plataforma IoTIB**

-Dictamen 05/2014 del Grupo de Trabajo de Artículo 29 sobre técnicas de anonimización.

### **Normativa**

- Reglamento (UE) 2016/679 del Parlamento Europeo y del Consejo de 17 de abril de 2016, relativo a la protección de las personas físicas en lo que respecta al tratamiento de datos personales y a la libre circulación de esos datos y por el que se deroga la Directiva 95/46/CE (Reglamento general de protección de datos).

- Propuesta de Reglamento del Parlamento Europeo y del Consejo sobre el respeto de la vida privada y la protección de los datos personales en el sector de las comunicaciones electrónicas y por el que se deroga la Directiva 2002/58/CE (Reglamento sobre la privacidad y las comunicaciones electrónicas).

# Plataforma IoTIB: solució tecnològica i arquitectura

Sílvia Tomás<sup>1</sup>, Gabriel Mesquida<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departament tècnic, (<http://www.caib.es>) IBETEC, Palma

## Resum:

IBETEC és una entitat pública empresarial dependent de la Vicepresidència i Conselleria d'Innovació, Recerca i Turisme del Govern de les Illes Balears. L'activitat principal es dirigeix a la instal·lació d'infraestructures i serveis de telecomunicacions per a les administracions públiques de la comunitat autònoma de les Illes Balears, entre les infraestructures instal·lades es troba la nomenada xarxa IoTIB. En aquest capítol explorarem la solució tecnològica i l'arquitectura d'aquesta xarxa.

## 1. La xarxa IoTIB

La xarxa IoTIB és una xarxa de sensorització de baixa velocitat de transmissió basada en la tecnologia LoRaWAN.

La xarxa IoTIB es compon de :

1. Xarxa LoRaWAN
2. Xarxa Transport IBETEC

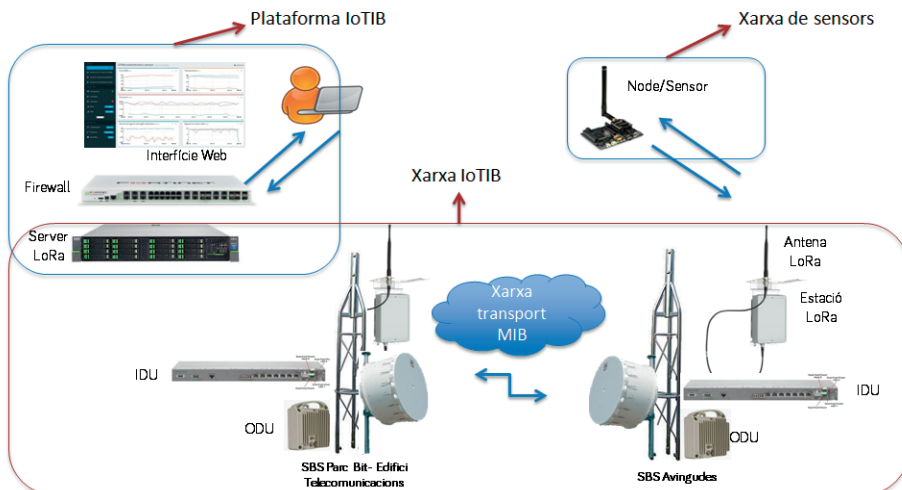


Figura 1. esquema general del funcionament de la xarxa IoTIB.

La xarxa LoRaWAN de la xarxa IoTIB és el conjunt de gateways, coordinats pel servidor de xarxa, que donen cobertura de l'especificació de xarxes LoRaWAN dins el territori de les Illes Balears.

La xarxa Transport s'encarrega de transportar les dades des de els gateways o concentradors fins al servidor de la xarxa IoTIB.

### 2. LoraWAN

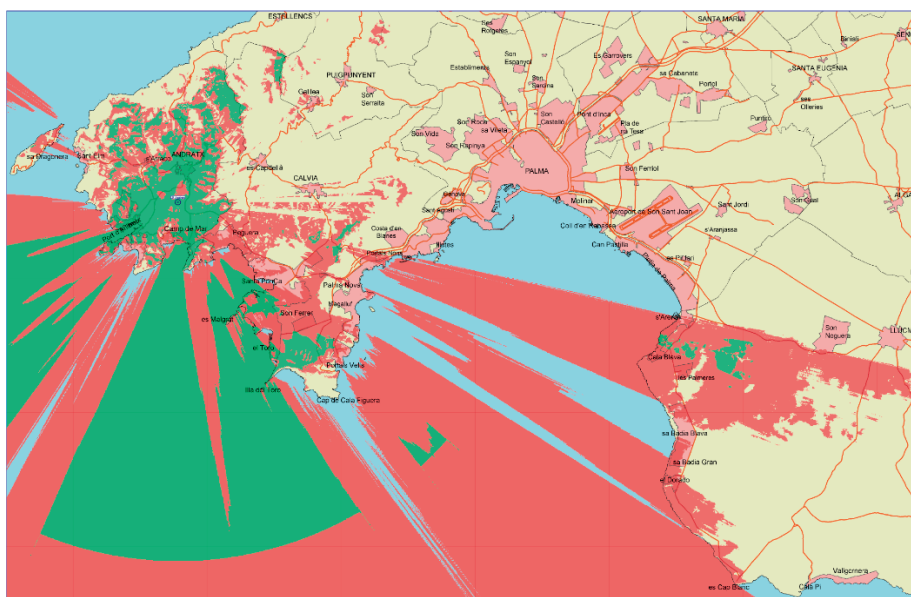
LoRaWAN es una especificació de xarxes LPWAN (Low Power Wide Area Network) pensada per comunicar dispositius de baix consum.

L'especificació cobreix les capes PHY (capa física) i MAC de la xarxa, deixant a les aplicacions la resta de capes.

#### 2.1. Comunicació

La comunicació entre els dispositius i les estacions base (gateways) es basa en la modulació “Chirp Spread Sprecum”, manté les mateixes característiques de baixa potència de la modulació FSK però significativament augmenta el rang de comunicació.

Aquesta modulació permet enllaços de diversos quilòmetres (15km aproximadament), fins i tot en entorns urbans (aproximadament 2km), amb un bitrate de fins a desenes de kbps (de 0.3 kbps fins a 50 kbps) en la banda ISM de 868MHz.



**Figura 2.** Simulació teòrica de cobertura d'un gateway de la xarxa IoTIB.

La longitud màxim dels missatges que es poden enviar varia en funció del Datarate.

Taula 1. taula dels valors de payload màxims en funció del camp “Datarate”.

Datarate (DR)	Spread Factor (SF)	Bandwidth (BW)	Payload màxim (Bytes)
DR0	SF12	125Khz	51
DR1	SF11	125Khz	51
DR2	SF10	125Khz	51
DR3	SF9	125Khz	115
DR4	SF8	125Khz	222
DR5	SF7	125Khz	222
DR6	SF7	250Khz	222
DR7	FSK	50kbps	222

La periodicitat dels missatges és un altre factor a tenir en compte, per norma general es recomana que un node esperi almenys 3 minuts entre transmissions.

Per a més informació consulteu la referència “Understanding the Limits of LoRaWAN”.

## 2.2 Arquitectura LoraWAN

La topologia de la xarxa proposada per LoRaWAN és d'estrella, és a dir, els dispositius es connecten directament amb un (o més) concentradors (gateways) de forma bidireccional (amb restriccions). Aquests gateways transmeten les dades dels dispositius al servidor de xarxa i a la inversa usant una connexió IP estàndard.

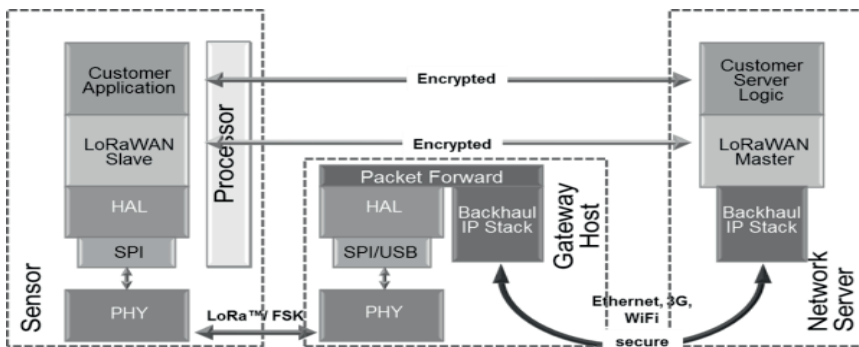


Figura 3. arquitectura de red LoRAWAN extreta de la referència “LoRaWAN What is it?”

Una característica interessant de LoRaWAN és que els gateways són simples intermediaris entre els dispositius i el servidor de xarxa.

El servidor de xarxa és l'encarregat de gestionar la xarxa de dispositius LoRaWAN, permetent la presència de múltiples antenes (gateways) i la gestió centralitzada de tota la xarxa; d'aquesta forma, ampliar la xarxa amb més gateways per millorar la cobertura és un procés molt senzill.

A causa de la naturalesa transparent dels gateways un dispositiu pot moure's i connectar-se a diferents gateways sense necessitat de cap tipus de procés de connexió (el procés de connexió es fa amb el servidor de xarxa). El flux de dades està pensat perquè sigui dels dispositius cap als servidors

(uplink) amb possibilitat que els dispositius puguin rebre dades del servidor de xarxa de forma ocasional (downlink). Segons la classe del dispositiu (A, B o C) tindrà més capacitat i velocitat de recepció en el downlink. Els paquets de dades poden requerir d'un acknowledge (ACK) per part del servidor de xarxa per confirmar la correcta recepció del mateix. En aquest paquet de ACK, el servidor de xarxa pot, opcionalment, enviar informació al dispositiu perquè usi un determinat data-rate. D'aquesta forma, és possible variar les condicions de la transmissió per millorar la cobertura, reduir el consum, etc.

### 2.2.1 Característiques tècniques LoRaWAN

Les característiques tècniques que possibilita el protocol LoRa són:

1. Baix consum.
2. 30dB de rebuig a interferència co-canal.
3. Cobertures de 2-5 Km en entorns urbans densos i 15Km en suburbans/rurals.
4. Balanç d'enllaç de 159 dB uplink i 161 dB downlink.
5. Sensibilitat a l'entorn a -148 dBm (en el millor cas).
6. Us de codis ortogonals per a que diferents senyals ocupin simultàniament l'ampla de banda.
7. Taxa de dades adaptativa (ADR). La capacitat de la cèl·lula es pot incrementar al reduir la grandària de la cèl·lula.
8. Velocitat entre 0.3Kbps (SF12) i 10 Kbps (SF7) o 50 kbps via SFK.

El servidor central gestiona les velocitats i les potències de transmissió dels dispositius.

### 2.2.2 Tipus de dispositius LoRaWAN

LoRaWAN defineix tres (3) tipus diferents de dispositius, anomenats classes, dissenyats per a diferents aplicacions:



Figura 4. representació de l'increment de consum en funció de la classe de dispositiu.

Les tres (3) classes de dispositius (A, B i C) permeten una comunicació bidireccional, la diferenciació de classes recau en el temps o moments en el que el dispositiu permet la recepció de downlinks i per tant, també afecta al consum del propi dispositiu; Actualment el servidor de la xarxa IoTIB NO accepta els dispositius de classe B.

L'annex 2 d'aquest capítol amplia informació sobre les diferents classes de dispositius.

### **2.3 Exposició als camps electromagnètics de les estacions LoRA**

Adequació tècnica de l'equipament i compliment de l'ordenament legal.

La tecnologia LoRaWAN opera a Europa en la banda de 863-876MHz

Tx: 865-873MHz

Rx: 863-873MHz

El fabricant certifica el compliment dels estàndards:

1. Seguretat (EN 60950-1).
2. Compatibilitat Electromagnètica (EN 301 489-1, EN 301 489-3, EN 301 489-7, EN 301 489-19 ).
3. Característiques Radioelèctriques (EN 301 511, EN 301 908, EN 300 440-1, EN 300 440-2, EN 300 220-1, EN 300 220-2, EN50385, EN62479).

Els estudis i proves que s'han realitzat a nivell internacional demostren el nul·l impacte sobre la salut que representa la exposició al públic dels CEM de les estacions emissores.

## **3 Xarxa de transport IBETEC**

La xarxa de transport de dades entre estacions LoRa s'estableix principalment a través de radioenllaços digitals de microones. Les freqüències de les obertures estan compreses en les bandes, de 5,925-7,125 GHz principalment en els canals marítims entre illes, 12,7-13,25 GHz, 17,7-19,7 GHz, i 21,2-23,6 GHz en la resta.

A l'annex 3 d'aquest capítol es pot observar la xarxa Transport de IBETEC de forma gràfica.

### **3.1. Comunicació entre Illes**

Actualment IBETEC no disposa d'infraestructura pròpia per dur a terme transports de dades entre illes. De fet, IBETEC utilitza actualment i des de 2011 dues VLANs cedides per la Direcció General de Desenvolupament Tecnològic (DGDT) pel transport de dades entre illes.

La connexió s'estableix a través dels punts d'accés de la xarxa corporativa del Govern de les Illes Balears en ParcBIT (Mallorca), Hospital Mateo Orfila de Maó (Menorca) i Hospital Can Misses (Eivissa).



## 4 Cobertura de la xarxa IoTIB

Actualment la xarxa IoTIB es troba en fase d'expansió (instal·lació de nous gateways dins la xarxa) per aconseguir cobrir el màxim territori possible dins l'àmbit de les Illes Balears.

Aquesta primera fase d'expansió suposarà tenir 54 gateways situats al llarg del territori Balear.

L'annex 1 mostra la simulació teòrica de les diferents Illes una vegada finalitzada la primera fase d'expansió (54 gateways instal·lats).

## Referències

Ferran Adelantado, Xavier Vilajosana, Pere Tuset-Peiro, Borja Martinez, Joan Melià-Seguí, Thomas Watteyne, 2017, Understanding the Limits of LoRaWAN, <https://arxiv.org/pdf/1607.08011.pdf>

LoRa Alliance, 2015, LoRaWAN What is it?, <https://loro-alliance.org/sites/default/files/2018-04/what-is-lorawan.pdf>

LoRa Alliance, 2018, LoRa Alliance documentation, <https://www.lora-alliance.org/lorawan-for-developers>

LoRa Alliance, 2018, LoRa Alliance about LoRaWAN, <https://loro-alliance.org/about-lorawan>

## ANNEX 1 SIMULACIONS DE COBERTURA DE LA XARXA IoTIB

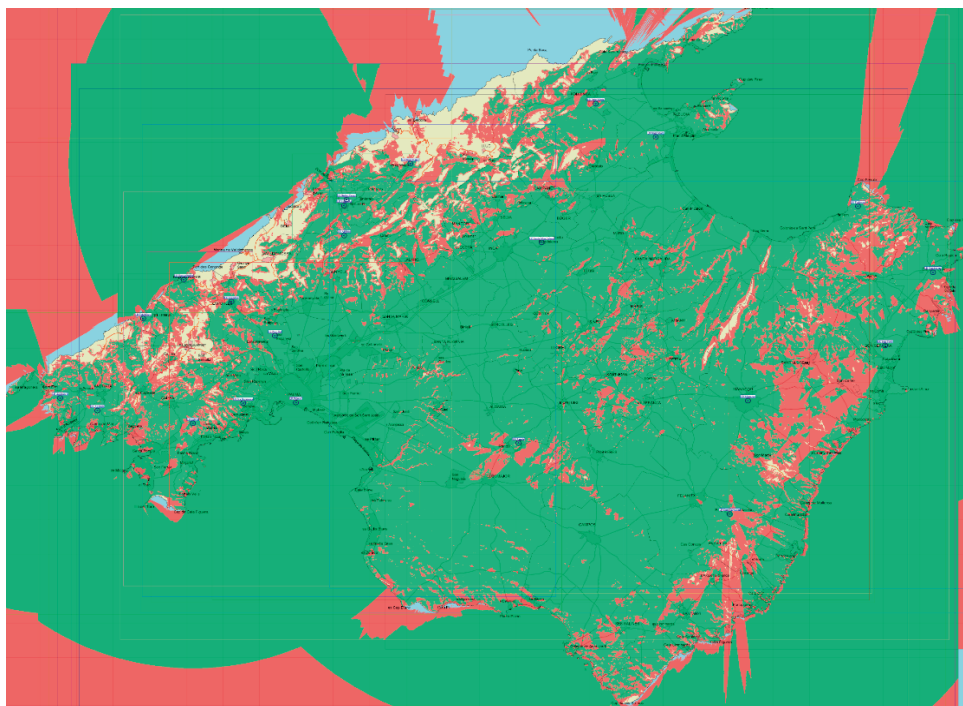


Figura5: Simulació teòrica de l'Illa de Mallorca

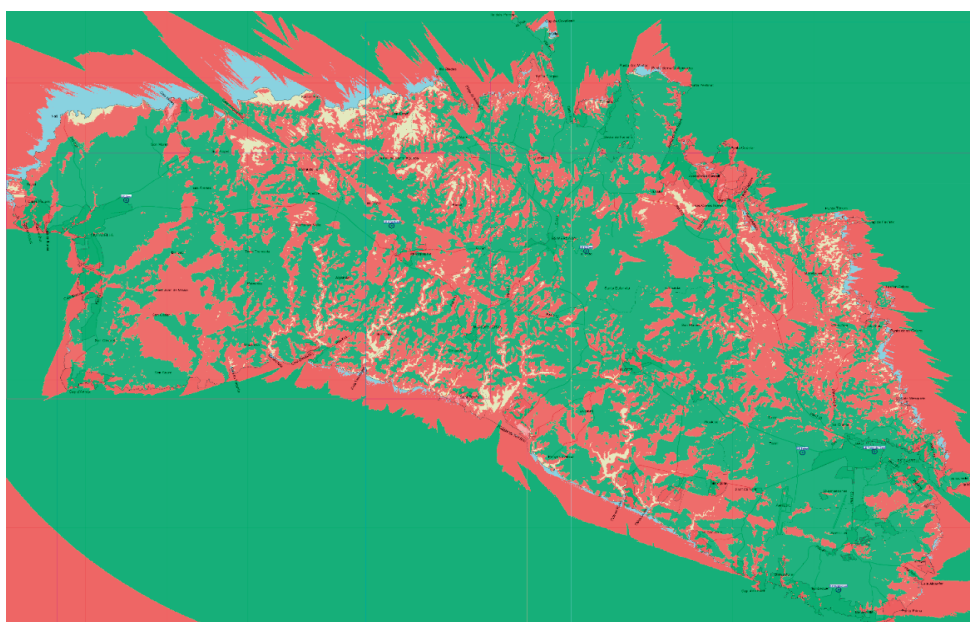


Figura 6: Simulació teòrica de l'Illa de Menorca



Figura 7: Simulació teòrica de les Illes Pitiüses

## **ANNEX 2 CLASSES DE DISPOSITIUS LORAWAN**

### **Classe A**

Els dispositius de Classe A només pot rebre dades (canal downlink) si ha enviat abans un paquet (canal uplink). Això és per que cada vegada que el dispositiu envia un paquet, s'obre l'oportunitat de rebre un paquet de tornada. Aquest paquet de tornada conté el ACK del paquet enviat així com dades de l'aplicació si és necessari.

Aquest tipus de dispositius seran els de menor consum de l'especificació, i ens serviran per a aplicacions en les quals els dispositius no hagin de rebre dades habitualment. Un dispositiu compatible amb LoRaWAN ha d'implementar sempre aquesta classe bàsica.

### **Classe B**

Els dispositius de classe B afegeixen la capacitat de rebre dades (downlink) sense necessitat d'enviar un paquet (uplink). D'aquesta forma l'aplicació pot enviar dades als dispositius de forma programada. Això s'aconsegueix mitjançant l'enviament periòdic de beacons per part del gateway. Aquests beacons permeten als dispositius estar sincronitzats amb el gateway, i d'aquesta forma poden negociar temps de recepció de paquets des del gateway al dispositiu (downlink).

Aquesta classe de dispositius tindran un consum major d'energia que els de classe A causa de la recepció periòdica dels beacons des del gateway.

### **Classe C**

Els dispositius de la classe C estan permanentment escoltant, i per tant poden rebre dades (downlink) en qualsevol moment (excepte quan estiguin enviant dades (uplink)).

Aquesta classe proporciona els millors temps de resposta i capacitat d'enviament des del servidor als dispositius, a costa d'un consum energètic molt major respecte a les classes A i B.

### ANNEX 3 Xarxa de transport IbeTEC



Figura 8: Xarxa Transport de l'Illa de Mallorca



Figura 9: Xarxa Transport de l'Illa de Menorca



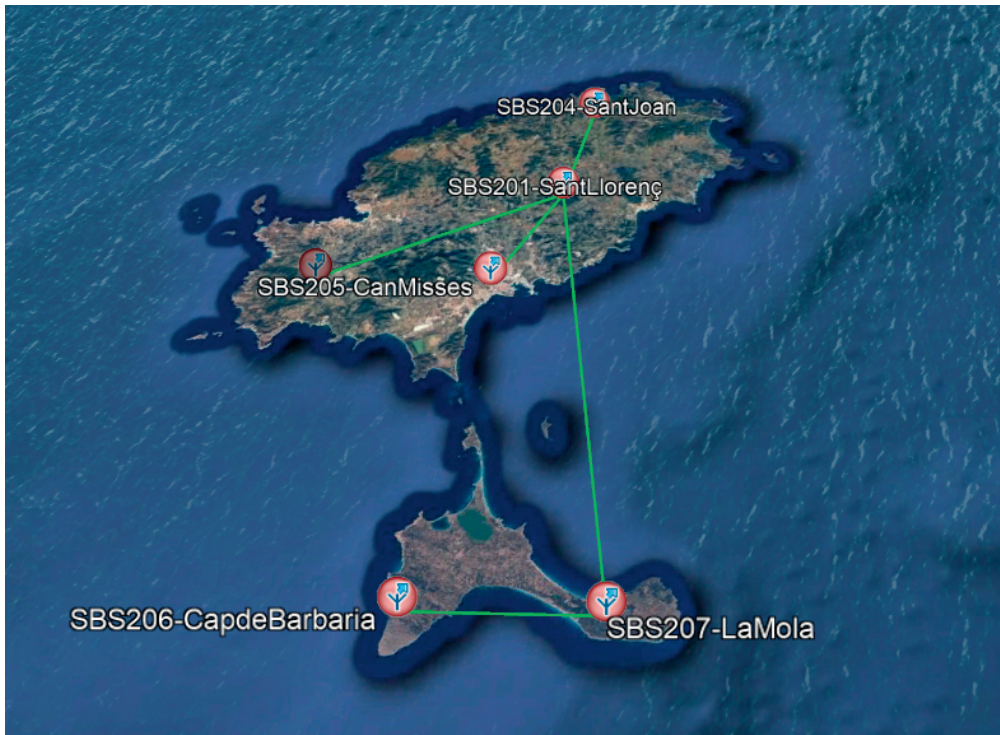


Figura10: Xarxa Transport de les Illes Pitiüses



# Consideracions elèctriques i electròniques per la connexió a la plataforma IoTIB - LoraWAN

Joan Antoni Oliver<sup>1</sup>, Gabriel Mesquida<sup>1</sup>, Bartomeu Alorda<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Col·laborador del Grup de Recerca de Sistemes Electrònics (<http://smartlab.uib.es>), Departament de Física, Universitat de les Illes Balears, Palma

<sup>2</sup> Membre del Grup de Recerca de Sistemes Electrònics (<http://smartlab.uib.es>), Departament de Física, Universitat de les Illes Balears, Palma

## Resum:

La plataforma IoTIB desplega entre altres tecnologies de comunicacions, una xarxa basada en el protocol LoraWAN. Aquesta xarxa proporciona molts avantatges tant a nivell de serveis, com a nivell de cobertura i rendiment energètic dels dispositius que si connecten. Però, pel fet d'implicar la utilització del protocol LoRA per a la connexió dels nodes presenta reptes importants a l'hora d'adaptar les estacions ja existents en el territori, o bé, a l'hora de desplegar noves estacions: la inclusió d'un mòdul de comunicacions a les estacions amb capacitat de transmissió LoRA. Aquest capítol mostra en detall el sistema desenvolupat per la transmissió d'estacions ja existents basada en registradors de dades comercials, i la recerca feta en sistemes transmissors per la seva consideració en noves estacions.

## 1. La captura de dades en xarxa

La plataforma IoTIB obri la possibilitat de connectar les estacions de captura de dades ja existents en el territori de les Illes Balears. Aquesta possibilitat es desplega mitjançant la tecnologia LoRA, per tant, es fa necessari disposar d'una metodologia per adaptar les estacions existents i dissenyar les de nova implantació.

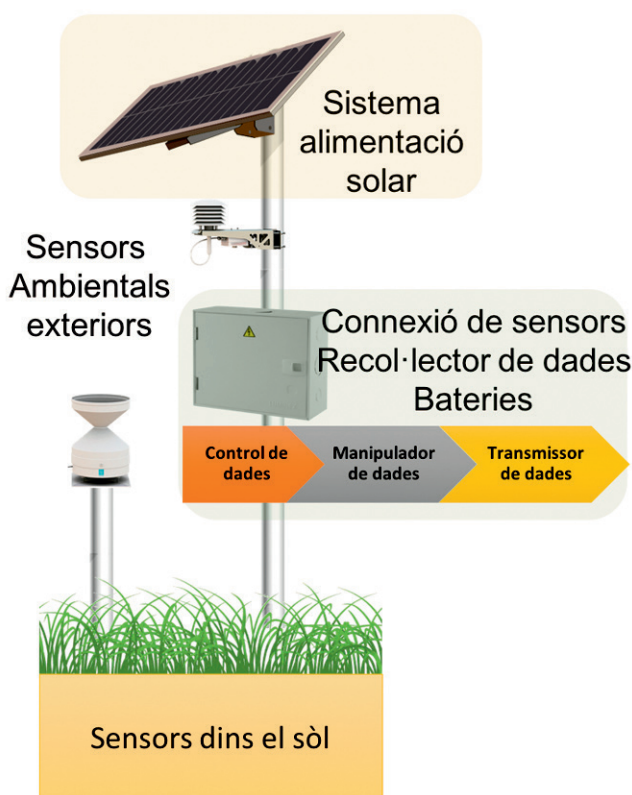
Aquesta metodologia ha estat desenvolupada a partir de la consideració del cas particular d'una estació existent a la conca de "Sa Murtera" amb interès tant per la Universitat de les Illes Balears com per departaments de la Conselleria de Media Ambient, Agricultura i Pesca del Govern de les Illes Balears. Aquesta estació s'ha elegit com model genèric amb estructura basada en la utilització de registradors de dades. Val a dir, que el registrador més usat a les Illes Balears per aquest tipus d'estació, són els comercialitzats sota la marca Campbell Scientific. Així doncs, en aquest capítol es reporta el desenvolupament fet considerant la família de registradors d'aquest fabricant, però es considera que una actuació similar es podria realitzar amb registradors d'altres fabricants. Només s'hauria de conèixer les capacitats de comunicació del producte amb un element electrònic exterior que en permeti la seva automatització.



## Consideracions elèctriques i electròniques per la connexió a la plataforma IoTIB – LoraWAN

### 1.1.L'estació connectada

Com ja hem comentat en capítols anteriors una estació basada en un registrador de dades requereix d'un conjunt d'elements per a poder funcionar de forma aïllada: alimentació, sensors, connexions i registrador. Però, si a més, hem de considerar una estació connectada basada en registrador de dades serà necessari afegir un mòdul de comunicacions que influirà tant en el consum de l'estació com en la capacitat de tractament de les dades. La figura 1 mostra com seria l'esquema de mòduls d'una estació connectada a partir dels mòduls genèrics d'una estació aïllada que disposa de sensors de captura tant ambientals com de paràmetres dins el sòl. A aquesta estructura d'estació aïllada s'hi ha incorporat un mòdul transmissor que realitzarà les tasques de: control de les dades per poder llegir automàticament les dades, manipulació de les dades per la seva transmissió i gestió de la xarxa durant la transmissió.



**Figura 1.** Esquema de mòduls necessaris a l'estació per connectar-la a la xarxa

Vegem amb més detall cada una de les funcions que s'han d'incloure en el disseny d'una estació de mesura genèrica per a que tingui comunicació mitjançant la plataforma IoTIB.

## **1.2 Gestió de la funció de transmissió**

Per poder centrar-se sobre la funció de transmissió s'ha de suposar que el disseny de l'estació ja contempla capacitats per la captura, registre i magatzem de les dades dels sensors. Així doncs, incorporar una funció de transmissió implica que es pugui obtenir automàticament el control sobre les dades emmagatzemades sense interferir en el procés de captura, que es pugui manipular el format de les dades per crear la trama o trames de comunicació seguint les especificacions del protocol, i finalment, transmetre les dades amb qualche tipus de procés verificador que les dades han arribat al seu destí. Les capacitats de control i manipulació de les dades seran requerides sigui quin sigui el mitjà de comunicació definitiu, per tant, dependran únicament de la versatilitat del registrador de dades a l'hora de facilitar accés al magatzem de dades.

Aconseguir l'accés a les dades del registrador, passarà, en general, per la necessitat d'interrogar el registrador de dades mitjançant el mateix tipus d'interfície que per una descàrrega de dades per part de l'usuari. En la majoria dels casos, els fabricants de registradors disposen de mòduls de gestió de dades i fins i tot, mòduls transmissors, ja que els registradors no es dissenyen per anar donant les dades sinó per a poder treballar sols en una estació aïllada i per tant, només comparteixen les dades registrades en el moment que l'usuari els ho demana amb un programari. En el cas que els mòduls de gestió de dades i/o transmissió existeixin pel protocol que es vol fer servir com a mitjà de comunicació es recomana incorporar-los al disseny de l'estació.

Per altra banda, és habitual que no existeixin mòduls comercials per a tots els protocols, ja sigui per que el fabricant encara no els ha considerat o no ha rebut peticions de clients per la seva inclusió en el catàleg, o ja sigui per que el protocol en qüestió encara està en expansió, com és el cas del protocol LoraWAN. Sigui com sigui, una vegada es té el control sobre les dades capturades pel registrador, es poden manipular i transformar de la forma que més convingui per crear les trames de comunicació. En el cas de fer servir un sistema de comunicacions de baixa velocitat de transmissió i baixa capacitat de dades és important seleccionar sols la informació útil i codificar les dades en el format adequat per a que ocupin el mínim possible dins la trama de comunicació.

La secció 2 d'aquest capítol descriu els mòduls de comunicació que s'han proposat afegir per a fer possible la comunicació a través de la plataforma IoTIB-LoraWAN de dues estacions basades en registradors comercials amb una àmplia implantació a les Illes Balears, però, el fabricant encara no comercialitza mòduls de comunicació pel protocol LoraWAN.

### **1.3.El mòdul de comunicació**

Amb la dada preparada per la transmissió, el mòdul de comunicació activa les seves funcions fent possible que la trama de dades arribi al servidor de destí. Per

## Consideracions elèctriques i electròniques per la connexió a la plataforma IoTIB – LoraWAN

a fer possible això, el mòdul de transmissió s'encarrega no només de l'enviament de les dades, sinó de fer la gestió la comunicació que s'estableix amb l'antena de la xarxa LoraWAN.

A l'hora d'escollir un mòdul per tal de realitzar les comunicacions s'ha de tenir en compte una sèrie de paràmetres importants: la freqüència, la potència d'emissió, la velocitat de transmissió, i la mesura de la qualitat de l'enllaç, entre altres. Vegem a continuació la descripció d'aquests paràmetres i quins valors particulars s'han de tenir presents per la plataforma IoTIB-LoraWAN.

- **Freqüència:** és una magnitud que mesura el nombre de repeticions per unitat de temps de qualsevol fenomen, en aquest cas, les ones electromagnètiques. Existeixen diferents bandes de freqüència que formen part de l'espectre electromagnètic. La tecnologia, LoRa utilitza la banda de radiofreqüència, més concretament dins Europa, la freqüència de treball és la 868 Mhz. Existeixen altres bandes: a EEUU 915MHz i 433MHz per Àsia per a la tecnologia LoRa, fins i tot, en alguns països encara està per definir la banda degut a les regulacions internes. Per tant, s'ha de tenir present a l'hora d'adquirir el transmissor la freqüència amb la qual es farà feina.
- **Potència d'emissió:** la potència d'emissió s'expressa en dBm (decibels-miliwat) i depèn de cada transmissor encara que el protocol LoRa defineix una màxima potència de 20 dBm per transmissor. S'ha de tenir present que encara que la potència d'emissió pugui millorar la qualitat de la transmissió, també augmenta el consum de corrent necessari. Aquest augment de corrent per estacions alimentades per bateries pot ser un factor crític a l'hora de dimensionar el sistema d'alimentació.  
Per altra banda, és convenient tenir present que el protocol LoraWAN preveu una adaptació continua de la potència de transmissió per tal de no usar més potència de la necessària en cada transmissió. Aquesta adaptació es fa de forma automàtica seguint un algoritme especificat al protocol i, per tant, la potència de transmissió màxima només s'arriba en comptades vegades o en circumstàncies en les que l'estació estigui en emplaçaments de baixa qualitat de l'enllaç amb l'antena. Si aquest és el cas, es recomana millorar la cobertura a la zona per reduir el consum del transmissor o augmentar la capacitat del sistema d'alimentació.
- **Velocitat de transmissió:** El protocol LoRa combina factors de propagació, correcció d'errors i l'ampla de banda del senyal per millorar la qualitat de l'enllaç i permetre descodificar trames per davall del nivell de renou existent en el canal. Aquesta adaptació dinàmica per mantenir la qualitat del canal produeix variacions dinàmiques en la velocitat de transmissió de les dades. En conclusió, l'efecte adaptatiu significa que a

grans distàncies entre l'antena i el transmissor s'utilitzen factors de propagació (en anglès Spreading factor, SF) que produiran velocitats de transmissió més baixes, mentre, que els nodes que tenen millor cobertura i distàncies més curtes a l'antena, utilitzaran factors de propagació que permeten augmentar la velocitat de transmissió.

LoRa defineix fins a sis factors de propagació (SF7 – SF12) i tres amples de banda (125kHz, 250kHz, 500kHz). Aquests factors i amples de banda estan definits per les agències reguladores de cada país o regió. A Europa s'especifica un únic ample de banda de 125kHz i factors de propagació del nivell 7 al nivell 12.

- **Qualitat de la comunicació:** La qualitat de la comunicació es pot definir per molts paràmetres, però el més usat és la combinació entre la potència mitja del senyal del paquet rebut (Received Signal Strength Indicator, RSSI) i la probabilitat de rebre el paquet de forma correcta (Link Quality Indicator, LQI). Ambdós paràmetres tenen una elevada variabilitat i depenen tant de l'emplaçament com del renou existent en el canal. El protocol LoRa obté una gran cobertura: entre 2 i 5 km en àrees urbanes i més de 14km en àrees suburbanes i amb visió directa sense obstacles. Així amb una sola antena es poden aconseguir àmplies zones amb una elevada qualitat en la comunicació. La plataforma IoTIB pretén abastir pràcticament tot el territori Balears una vegada finalitzat tot el desplegament de la xarxa.

Així doncs, ja es veu que la comunicació té uns requeriments que han de fer pensar al dissenyador de l'estació que la localització de l'antena o antenes més properes és important, i d'igual forma l'emplaçament de l'antena del transmissor també tindrà la seva importància tant a l'hora de reduir el consum energètic al mínim, com a l'hora de garantir la recepció de les dades. A més, s'ha de tenir present que el medi de transmissió (l'aire) no és un medi constant, per tant, que podria ser necessari ajustos automàtics o retransmissions abans d'aconseguir que les dades arribin al destinatari.

Vegem a continuació una descripció dels transmissors existents en el mercat i un resum de les principals característiques.

#### **1.4. Transmissors LoRA**

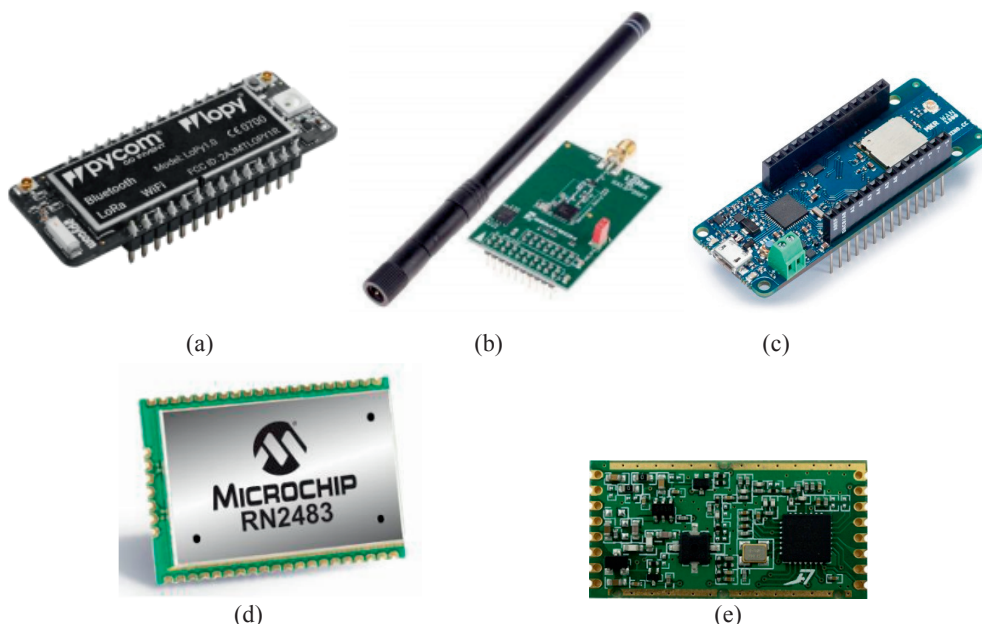
A nivell comercial existeixen dues famílies de dispositius transmissors: els mòduls transmissors i els mòduls integrats. La diferència entre ells, es centra les funcions que permeten fer. Així, els mòduls transmissors implementen les funcions del transmissor de dades (figura 1) definides en el protocol LoRA i permeten la transmissió de les dades del manipulador de dades (figura 1) des de l'estació a l'antena receptora. També permeten la recepció de paquets que són enviats al sistema de control de dades (figura 1).

## Consideracions elèctriques i electròniques per la connexió a la plataforma IoTIB – LoraWAN

Per altra banda, els mòduls integrats són circuits electrònics que inclouen tant les funcions de control i manipulació de les dades, com les de transmissió en un únic dispositiu.

Vegem a continuació la llista de transmissors LoRA comercials que existeixen en el mercat:

- **Lopy4** (figura 2a) [Pycom, 2018]: aquest és un exemple de mòdul integrat del fabricant Pycom. Disposa de capacitats per transmetre fins amb 4 protocols (Wifi, Bluetooth, Sigfox i LoRA). A més, disposa de capacitat de procés per a poder manipular les dades i capacitat de connexió amb registradors per accedir a les taules de dades. Com a desavantatge, s'ha de tenir present que no disposa d'una gran capacitat per emmagatzemar dades. El llenguatge de programació és el microPython i disposa de moltes llibreries que poden ajudar a la manipulació de les dades.
- **SX1272** (figura 2b) [Semtech, 2018]: es tracta d'un mòdul transmissor del fabricant Semtech de baixa potència que incorpora tecnologia LoRA de llarg abast. La interfície és tipus SPI (Serial Peripheral Interface) i per tant, es pot usar amb la majoria de microcontroladors del mercat. A la figura 2b apareix el mòdul transmissor instal·lat sobre una placa de suport que no és necessària si en el projecte es desenvolupa una placa específica. Aquest dispositiu ofereix comunicacions d'àrea ampla amb tolerància de fins a 89dB a les interferències.



**Figura 2.** mòduls LoRA comercials. (a) Lopy4, (b) SX1272, (c) MKR WAN 1300, (d) RN2483, (e) RFM95PW.

- **MKR WAN 1300 (LoRA Connectivity)** (figura 2c) [Arduino, 2018]: aquest mòdul integrat es una placa que combina el microcontrolador SAMD21 de Atmel amb el transmissor CMWX1ZZABZ de Murata. L'entorn de programació és el propi d'Arduino i representa una eina molt útil per al desenvolupament de proves pilot.
- **RN2483** (figura 2d) [microchip, 2018]: aquest mòdul és una solució mixta de mòdul transmissor, ja que disposa de capacitat per a transmetre dades a través d'una interfície UART, però també incorpora fins a 14 pins digitals per actuar sobre la sortida a model de control, per reportar un valor digital si es configuren com entrada i un circuit ADC per la lectura de senyals analògiques. Consta de dos connectors per antena amb dues freqüències de funcionament, una per EEUU i l'altra per Europa.
- **RFM95PW** (figura 4e) [HopeRF, 2018]: aquest dispositiu és un mòdul transmissor per al protocol LoRa, que proporciona comunicació amb alta immunitat a la interferència, al mateix temps que minimitza el consum de corrent. Disposa d'una interfície SPI per connectar-se amb un sistema electrònic digital i fins a 5 pins digitals que poden actuar com a entrada o sortida programables.

A mode de resum es pot concloure que en el mercat existeixen múltiples solucions adaptables a cada estació, tant si el registrador de dades disposa de capacitat per incloure capacitats de comunicació LoRa, com si es tracta de fer un desenvolupament complert independent del registrador.

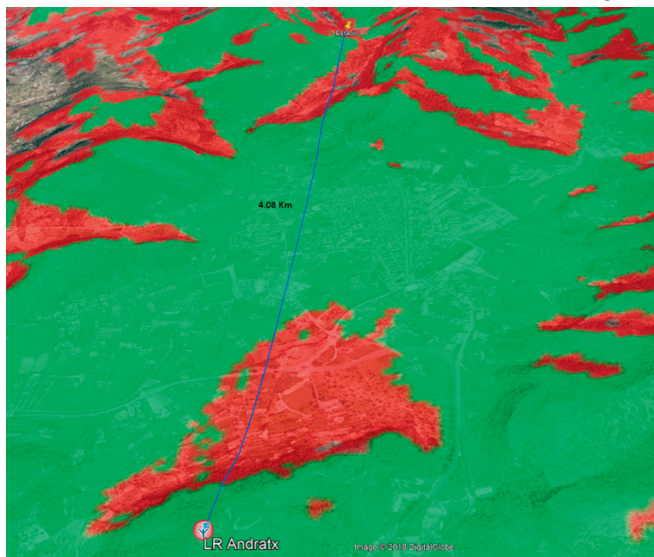
Vegem a continuació el cas de l'estació existent a la conca d'Andratx que s'ha fet servir per a reportar una solució adoptada resultat de l'experimentació.

## 2. El cas de l'estació existent d'Andratx

L'estació d'Andratx és propietat de la Universitat de les Illes Balears i és gestionada per l'equip d'investigació d'eco-morfologia i connectivitat hidrològica de la mediterrània. Ha sigut seleccionada per ser una estació existent integrada en el projecte d'investigació que fa el seguiment de la regeneració de l'incendi que l'estiu de 2013 va afectar el terme d'Andratx. L'estació es troba dins la conca anomenada Sa Murtera d'uns 5 Km<sup>2</sup> (39°35'10"N, 2°25'25"E). A la figura 3 es mostra la localització de l'estació, juntament amb la localització de l'antena LoRA més propera. La distància aproximada entre l'estació i l'antena és de 4,5 Km.



## Consideracions elèctriques i electròniques per la connexió a la plataforma IoTIB – LoraWAN



**Figura 3.** Representació de la localització de l'antena i l'estació seleccionada de sa Murtera.

### 2.1.Descripció de l'estació

L'estació està formada per un registrador CR200X del fabricant Campbell Scientific [CR200X, 2018]. Els sensors que componen aquesta estació són:

- Sonda de pressió Campbell Scientific CS451-L: proporciona el nivell laminar d'aigua (cm) i la temperatura de l'aigua(°C) que circula pel torrent proper a l'estació.
- Turbidímetre Campbell Scientific OBS-3+ amb un doble rang de mesura de la terbolesa de l'aigua. El primer entre 0 i 1.000 NTU, i el segon entre 1.000 i 4.000 NTU.
- Sonda d'humitat Campbell Scientific CS606 la qual registra el contingut volumètric d'aigua del sòl (%) i la temperatura (°C)

De cada sensor es realitza una lectura cada minut que, posteriorment, es calcula la mitjana de les captures per obtenir un valor mig cada quinze minuts. Aquest valor mig és desat dins la memòria del registrador.

A més d'enregistrar el valor mig de cada sensor cada 15 minuts, l'estació està preparada per a enregistrar els valors resum de cada dia (cada 24 hores). En aquest cas, s'emmagatzema el valor màxim i mínim de cada variable amb l'instant de temps en el que s'ha obtingut la mesura.

### 2.2.El registrador de dades CR200X de Scientific Campbell

El registrador CR200X es troba en fase de sortida del catàleg per part del fabricant i, per tant, no és adequat per al disseny de noves estacions. Es capaç de proporcionar un sistema d'alimentació en continua en disposar d'una entrada per



a plaques fotovoltaïques i per a una bateria de 12VDC. A més, disposa de connexions d'entrades i sortides digitals i analògiques que permeten la connexió amb els sensors.

També disposa d'un port RS232 que s'utilitza tant per connectar fins a 10 sensors compatibles, com per accedir a les dades de les taules del registrador de dades. L'accés a aquestes taules es produeix mitjançant una interfície de terminal implementat en el port RS232 del CR200X amb una conjunt reduït de comandes.

Per a poder entrar en mode interfície de terminal s'ha d'establir una comunicació sèrie amb una velocitat de transmissió de 9600 bps. Per accedir al mode comandes s'ha de transmetre cinc vegades seguides el caràcter ASCII '\r'. Si s'ha fet correctament, el registrador de dades respondrà amb la cadena de caràcters 'CR200X>>'. Amb aquesta resposta el registrador de dades obri un interval de 12 segons per a rebre comandes. A la taula 1 es mostren un extracte de les comandes que podem usar i l'acció que realitza el registrador en resposta. Si no obté cap comanda nova, el registrador de dades tancarà el mode comandes i serà necessari tornar a repetir el procés per a iniciar el mode.

Dins el mode comandes es pot interrogar mitjançant les comandes mostrades a la taula següent. Cada comanda ha de ser enviada seguida del codi ASCII '\r' per a que el registrador de dades la processi i emeti una resposta a través del port de comunicació sèrie obert.

**Taula 1.** Extracte del llistat de comandes usades per interrogar el registrador de dades CR200X en mode terminal

Comanda	Acció (què contesta el registrador?)
1	Valors del controlador de temps real
2	Activa valors nous al controlador de temps real
3	Codis d'estat
4	Taula d'estats
5	Valors actuals de la taula de valors pública
6	El valor més recent de la taula 1 definida per l'usuari
7	El valor més recent de la taula 2 definida per l'usuari
8	El valor més recent de la taula 3 definida per l'usuari
9	El valor més recent de la taula 4 definida per l'usuari

Aquest mode terminal ha sigut clau per a poder desenvolupar un mòdul de comunicacions amb les garanties mínimes de funcionament. Vegem a continuació com s'ha pogut treure profit d'aquest mode terminal.

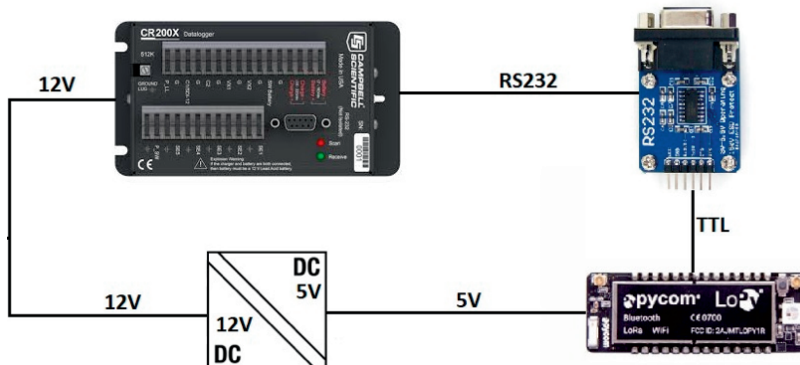
## 2.2.Implementació del mòdul de comunicacions

En aquesta secció es descriu tant l'electrònica desenvolupada, com el programari necessari per a crear un mòdul de comunicacions amb les funcions descrites a les seccions anteriors, tenint en compte les característiques funcionals del registrador

## Consideracions elèctriques i electròniques per la connexió a la plataforma IoTIB – LoraWAN

CR200X amb la definició de dues taules d'usuari: la taula de captures cada 15 minuts i la taula de captures diàries.

S'ha optat per la utilització d'un mòdul integrat que permeti tant la transmissió de les dades com la seva manipulació. La Lopy4 pot executar ambdues tasques usant un consum energètic petit (de 35 mA sense activació del transmissor a 108 mA durant transmissions LoRA). A la figura 4 es mostra l'esquema de parts de la solució desenvolupada per aprofitar el mode terminal juntament amb la Lopy.



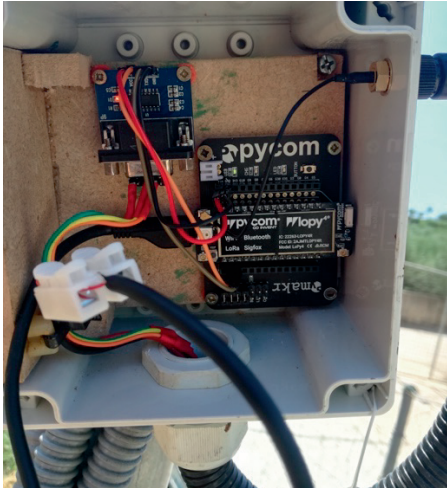
**Figura 4.** esquema de parts del mòdul transmissor.

Amb la connexió de la Lopy al port RS232 del CR200X s'ha pogut obrir la interfície en mode terminal per establir la comunicació entre ambdós dispositius. La figura 4 mostra que ha estat necessari incloure un convertidor de senyals RS232 a TTL per poder realitzar l'accés.

De la llista de comandes de la taula 1 es fa servir la comanda 6 per accedir a la dada més recent de la taula 1 corresponent a la taula de dades de cada 15 minuts. Fent servir la comanda 7 es pot accedir a la dada més recent de la taula 2 corresponent a la taula de dades diàries. Així doncs, la Lopy disposa d'un mitjà per conèixer les dades registrades i manipular-les per crear la trama de comunicació. En aquest cas, les dades rebudes es converteixen a un format hexadecimal definit prèviament, on cada un dels bytes que es troben en una posició concreta tindrà el valor de cada un dels sensors connectats al registrador de dades.

Amb la trama de dades el transmissor LoRa s'assegura estar connectat a una antena LoRA, en cas contrari intentarà connectar-se, i seguidament, enviarà el paquet de dades.

La implementació definitiva es pot observar a les fotografies de la figura 5. La transformació de la tensió d'alimentació de 12 a 5 VDC es realitza dins la mateixa estació amb petites modificacions del sistema d'alimentació ja existent a l'estació.



**Figura 5.** Fotografies del mòdul transmissor instal·lat a l'estació d'Andratx. A l'esquerra un detall de la Lopy amb el convertidor RS232. A l'esquerra el mòdul de comunicació afegit a la part superior de l'estació ja existent.

### 2.2.1. Accés a les dades del registrador de dades

El mòdul Lopy es connecta al registrador de dades mitjançant el port de comunicacions sèrie RS232. Així es pot aprofitar el mode terminal per a accedir a les dades del registrador. Aquest accés s'ha de fer mitjançant dues tasques: la primera ha de permetre posar el registrador en mode recepció de comandes, la segona ha de accedir al registre de la taula que es vol transmetre.

La tasca per posar el CR200X en mode comanda es recull al diagrama de flux de la figura 6. Recordem que per obrir una finestra de 12 segons en mode comanda, s'ha d'enviar el caràcter ASCII '\r' pel port RS232. A més, s'afegeix una validació d'aquest canvi de mode a partir de la resposta esperada del registrador. Si no arriba aquesta resposta, es procedeix a repetir el procés d'entrada.

Oberta la finestra temporal del mode comanda, ja es pot prendre control sobre el registre de dades que es vol enviar. Per a fer-ho, es pot fer servir la comanda '6' que produirà una resposta del CR200X amb el registre més modern de la taula 1 definida per l'usuari (veure comandes de la taula 1). S'ha de tenir present que la resposta és sempre el conjunt de valors més recent, però que si es repeteix de forma consecutiva la comanda '6', el CR200X retornarà registres temporalment anteriors, és a dir, permetrà llegir les dades de la taula de l'usuari del valor més nou al valor més antic en termes d'instant de captura. Aquesta lectura és seqüencial i és la resposta a successives recepcions de la comanda '6'.

## Consideracions elèctriques i electròniques per la connexió a la plataforma IoTIB – LoraWAN

Sabent aquest comportament de recepcions successives d'una comanda i per estar segurs que el conjunt de dades que ens retorna el CR200X és el més actual, es recomana fer una petició a la taula de valors públics amb la comanda '5' abans de realitzar la comanda '6'. Aquesta acció prèvia, indica al CR200X que les peticions següents ja no són correlatives i per tant, que es vol començar pel registre més actual. L'estat del darrer registre accedit queda emmagatzemat d'una connexió a una altra al mode comanda, per tant, aquesta recomanació és important per evitar lectures de dades antigues no esperades. La figura 7 mostra el diagrama de flux del codi que permet la recepció de les dades fent servir aquesta recomanació.

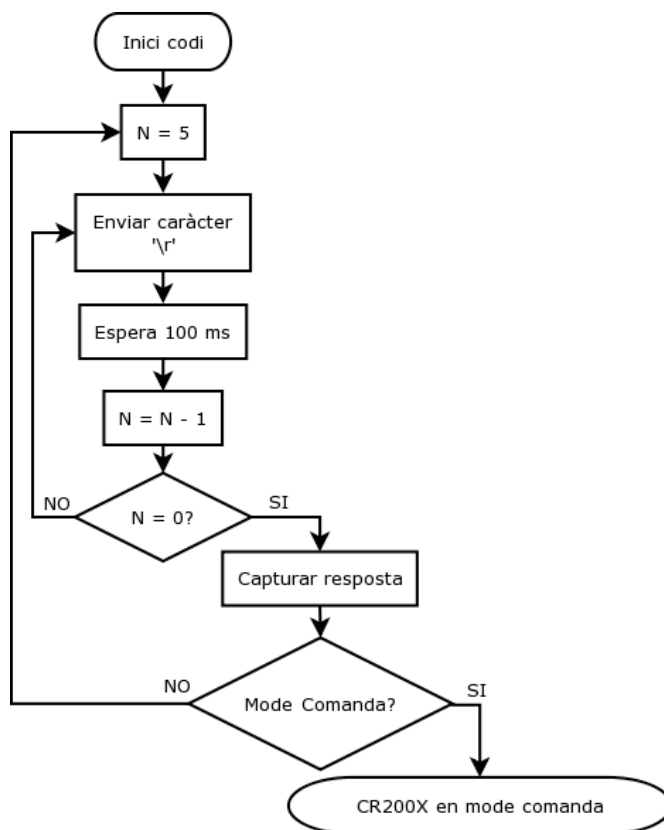
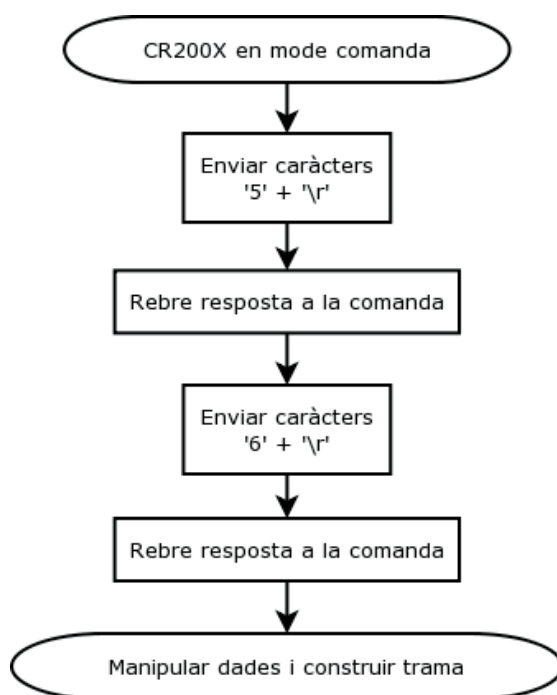


Figura 6. diagrama de flux per posar el CR200X en mode comanda.



**Figura 7.** Diagrama de flux per accedir al registre més modern de la taula 1 definida per l'usuari dins el sistema d'emmagatzematge del CR200X.

La tasca de “rebre resposta a la comanda” ha d'assegurar que es processa la resposta completa i que el port de comunicacions no queda bloquejat amb dades a la memòria d'entrada. Una recomanació per aconseguir aquest tractament complet sobre la resposta es basa en la lectura del port d'entrada durant un temps de recepció màxim o bé, la compta dels bytes rebuts per determinar que s'ha rebut tota la informació abans de procedir.

La resposta del CR200X a la comanda '6' tindrà un format com el mostrat a continuació:

Rec=10162 Table1 2018-7-3 12:7:0 BattV(1)=11.87 Temp1(1)=27.50

On Rec indica el número de registre dins la taula d'usuari, el nom de la taula i la data i hora de la marca temporal de les dades que segueixen a continuació. El nom de la variable precedeix als valors, per tant, si es coneix l'estructura de la taula i es defineixen nom de variables coneguts, serà possible manipular aquesta resposta del CR200X per obtenir una trama de dades per realitzar la comunicació. Aquesta acció es descriu al següent apartat.

### 2.2.2. Creació del paquet de dades per l'enviament

La manipulació de les dades dependrà de cada tipus d'aplicació final, però en general requerirà d'ajustar la quantitat de dades a la capacitat de la trama LoRA. Pel cas concret de l'estació de sa Murtera, s'ha triat crear una trama en format de

## **Consideracions elèctriques i electròniques per la connexió a la plataforma IoTIB – LoraWAN**

dades hexadecimal amb una reserva de posició concreta per cada valor de sensor. Aquest format permet reduir el nombre de bytes a transmetre i fer que la llargària de la trama sigui fixa per facilitar la descodificació en el servidor receptor.

La manipulació realitzada a l'estació de "sa Murtera" transforma el valor del sensor en format 'integer' en un valor hexadecimal afegint al davant la indicació de signe. Així, el codi revisa si es tracta d'un valor major o menor que zero. Una vegada revisat el signe el valor decimal original, arrodonit a 2 decimals, es multiplica per 100 el valor decimal per eliminar la coma decimal i, el resultat, es transforma a un format de 6 dígits hexadecimals (4 bits per dígit fent en total 3bytes). S'inclou al davant un byte addicional indicant el signe: '00' si el signe és positiu o 'FF' si el signe és negatiu. El resultat és la codificació de tots els valors de les variables de l'estació amb una longitud màxima de 4 bytes.

Aquesta transformació és un exemple que permet ajustar el nombre de bytes a transmetre i simplifica el procés de descodificació a realitzar en el servidor receptor. Aquestes tasques es descriuen en el següent capítol referent a les consideracions a nivell de servidor.

### **3. Mòdul de comunicació amb accés al Pakbus**

És necessari incloure en aquest capítol informació referent a aquest mitjà de comunicació propietari que disposen els productes de Campbell Scientific. Es tracta d'un protocol que permet accedir a totes les funcionalitats del registrador: accés a les dades, càrrega de nous programes, actualització de paràmetres, ...

El fabricant facilita informació relativa al Pakbus per a facilitar la implementació de programari per part de l'usuari. A la referència [Campbell, 2018] es detallen totes les comandes del protocol Pak.

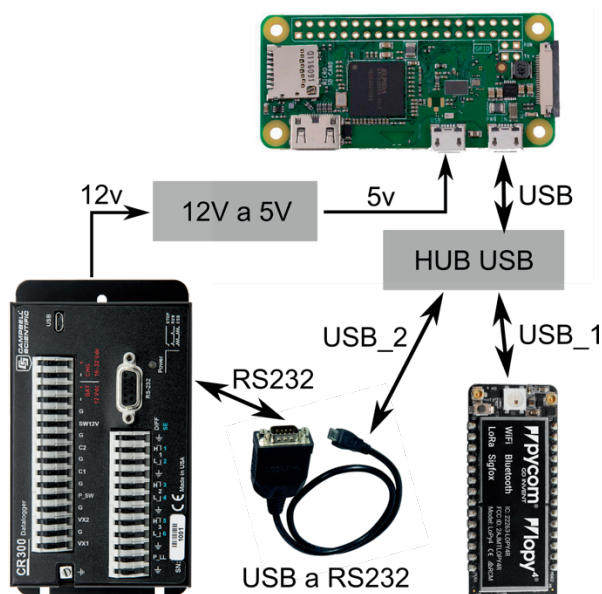
Per altra banda, existeixen diverses alternatives per la implementació de programari fent servir llibreries o bé del mateix fabricant [Campbell2, 2018], o bé de tercers [Dietrich, 2018]. A continuació es mostra la implementació feta amb una llibreria de tercers que permetia la implementació de codi per accés a través del Pakbus en entorns Linux. L'entorn de programació Linux ha estat seleccionat per la gran quantitat de plataformes electròniques que permeten la seva execució, així com la seva penetració en sistemes d'automatització de baix cost. Un exemple d'aquestes plataformes són les plaques Raspberry Pi, de les que s'ha seleccionat el model zero [Raspberry, 2018] per a realitzar-ne el següent disseny.

#### **3.1.Disseny del mòdul transmissor**

El Pakbus és un protocol de comunicacions amb moltes comandes que permet prendre el control de totes les funcionalitats del registrador de dades. Per tant, el disseny del mòdul transmissor fent servir el protocol Pakbus permetrà realitzar qualsevol tasca remota sempre que es desenvolupi un programari adient.



El fabricant ofereix tota la informació del bus amb un kit per desenvolupadors anomenats BMP5 amb exemples pels entorns de programació Visual C++ MFC, VB.NET, i C#.NET [Campbell, 2018]. També hi ha publicades llibreries per entorns JAVA [Campbell2, 2018] que es poden usar en múltiples sistemes operatius. Tot i així, en aquesta proposta s'ha volgut usar una llibreria d'un projecte obert anomenada pyPak que s'està desenvolupant per l'entorn de programació Python que també es pot executar en múltiples sistemes operatius. L'arquitectura d'aquesta proposta avançada es basa en incloure un nou element electrònic entre el registrador de dades i el transmissor que en aquest cas continuarà essent el mòdul Lopy4. El registrador de dades, en aquest cas, és el CR300. El model anterior, el CR200X disposa d'una versió reduïda del protocol Pakbus no compatible amb la resta de models. Per tant, la proposta es realitza sobre el CR300 que usa un protocol Pakbus compatible amb la resta de models del fabricant. La figura 8 mostra un esquema dels blocs que composes aquesta proposta on la raspberry pi zero amb sistema operatiu Linux executarà les llibreries Pakbus de connexió amb el CR300. La connexió Pakbus es realitza sobre una connexió RS232 que finalment apareix com un port sèrie virtual a l'entorn de la raspberry pi zero.



**Figura 8.** Diagrama de connexions del mòdul transmissor amb capacitat per accés a registradors equipats amb Pakbus

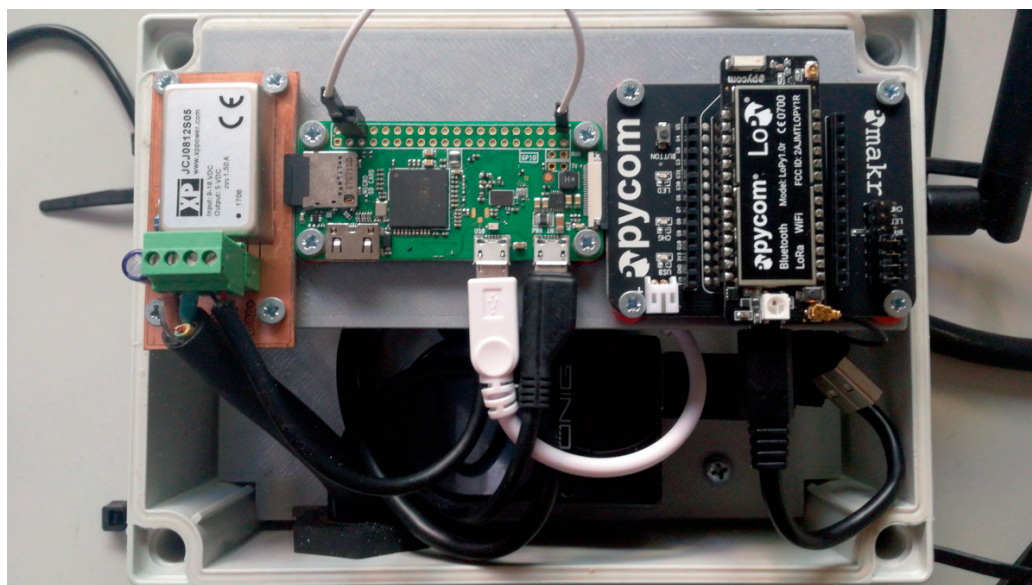
De la mateixa forma, la Lopy4 es connecta amb la raspberry pi mitjançant l'enllaç USB identificat com USB\_1 a la figura 8. Tant el sistema d'alimentació com la connexió al registrador de dades és similar a la solució aportada pel model CR200X, però les capacitats de configuració, manipulació, control remot del registrador o, fins i tot, d'emmagatzematge de les dades són molt superiors. Recordem que la raspberry pi zero té una tarja de memòria SD amb capacitat de



## Consideracions elèctriques i electròniques per la connexió a la plataforma IoTIB – LoraWAN

l'ordre del gigabyte, que pot ser usada com a sistema complementari per desar les dades en cas de pèrdua de la comunicació.

La implementació definitiva d'aquesta proposta avançada es mostra a la figura 9. S'ha distribuït els elements dins una caixa estanca que permetrà mantenir l'electrònica protegida de les inclemències del temps exterior. Així, només l'antena d'emissió, el cable RS232 i el cable d'alimentació seran les connexions necessàries per fer funcionar la nova proposta.



**Figura 9.** Fotografia del muntatge del mòdul transmissor

El programari associat a aquesta proposta es basa en la utilització de les llibreries del projecte pyPak i les llibreries del transmissor de la Lopy4. Ambdues llibreries es troben descrites a la documentació de cada mòdul i no es detallen en aquest capítol per estar fora del seu objectiu.

### 4. Manteniment d'una estació en xarxa

Pot semblar innecessari realitzar visites a una estació de captura que disposa de funcions de comunicació. Però, aquesta idea s'ha de descartar, ja que la funció de manteniment no es pot eliminar, es tracta de dispositius electrònics que requeriran d'una vigilància adequada. Les funcions de manteniment a fer, haurien d'anar en relació a realitzar una revisió de la bateria i l'impacte que té el consum addicional del mòdul de comunicacions. L'anàlisi de cobertura amb la vigilància del nombre de retransmissions que s'han produït (dur un registre dels paràmetres RSSI o LQI pot ajudar a fer-ne el seguiment i detectar canvis). Revisar l'estat de l'antena i l'existència d'obstacles nous en el camí de propagació a l'antena. També la mesura del renou del canal de transmissió és una acció a realitzar per assegurar nivells de qualitat en la comunicació.

Ara bé, realitzar el manteniment no requereix d'una freqüència de visites tan constant com la descàrrega de les dades des del registrador per al seu anàlisi. Així doncs, una estació en xarxa permet reduir les visites presencials a l'estació, a més de permetre una planificació millor de les visites, ja que es poden preveure incloure capacitats per generar avisos o alarmes de manteniment a través del canal de comunicacions. Així, el mòdul transmissor pot proporcionar informació valuosa de l'estat de funcionament de l'estació, afegint una millora en la seva gestió i manteniment. Aquestes funcions no han sigut introduïdes explícitament en la implementació descrita en aquest capítol, però es pot considerar la implementació de certes alarmes dins la proposta electrònica feta sense necessitat de més modificacions.

- El registrador pot facilitar el nivell de càrrega de la bateria. Valors massa baixos es poden entendre com una imminent fallada del sistema d'alimentació o un consum massa elevat per part de qualche mòdul de l'estació.
- La recepció de valors anòmals dels sensors poden permetre detectar errors de funcionament en el mateix moment que succeeix.
- El sistema de comunicació LoRAWAN permet una comunicació en els dos sentits. És a dir, l'antena pot realitzar peticions a l'estació. Per exemple, es podria implementar la transmissió instantània dels valors actuals dels sensors.
- Els anàlisis de cobertura es poden realitzar en el mateix mòdul transmissor fent una captura de l'activitat realitzada pel mòdul transmissor i incloent aquesta informació com una trama addicional de dades.

Totes aquestes alarmes faciliten el manteniment de l'estació remota gràcies a la capacitat de comunicació de la mateixa. Ara bé, també la xarxa de comunicacions sobreix variacions o actualitzacions del protocol que poden afectar als circuits transmissors de les estacions. És important que el sistema transmissor seleccionat toleri aquestes actualitzacions de protocol o del mateix servidor de xarxa, i permeti la seva actualització sense necessitat d'assistència presencial a l'emplaçament de l'estació. Els dispositius transmissors recollits en aquesta memòria així ho contemplen, però en el mercat existeixen altres propostes que han de tenir assegurada aquesta funció per reduir les intermitències del servei de comunicacions.

## Referències

Arduino, 2018, portal web del producte Arduino MKR WAN 1300, <https://store.arduino.cc/mkr-wan-1300> (setembre 2018)

Campbell scientific, 2018, portal web amb informació de les llibreries de programació del PakBus, <https://www.campbellsci.com/bmp5> (setembre 2018)

## **Consideracions elèctriques i electròniques per la connexió a la plataforma IoTIB – LoraWAN**

Campbell2 scientific, 2018, portal web a les llibreries de suport al programari d'usuari, <https://www.campbellsci.com/java-sdk> (setembre 2018)

CR200X, 2018, portal web del producte CR200X, <https://www.campbellsci.es/cr200x-series> (setembre 2018)

Dietrich feist, 2018, enllaç al projecte de la llibreria per a python pypak desenvolupar per al Pakbus per un registrador CR1000, <https://github.com/kitplummer/PyPak> (setembre 2018)

HopeRF, 2018, portal web del producte RFM95PW, [http://www.hoperf.com/rf\\_transceiver/Enhanced\\_Power/RFM95PW.html](http://www.hoperf.com/rf_transceiver/Enhanced_Power/RFM95PW.html) (setembre 2018)

Microchip, 2018, portal web del producte RN2483, <https://www.microchip.com/wwwproducts/en/RN2483> (setembre 2018)

Pycom, 2018, portal web del producte Lopy4, <https://pycom.io/product/lopy4/> (setembre 2018)

Raspberry pi, 2018, portal web amb la informació del model de Raspberry pi zero, <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-zero-w/> (setembre 2018)

Semtech, 2018, portal web del producte SX1272, <https://www.semtech.com/products/wireless-rf/lora-transceivers/SX1272> (setembre 2018)

# Consideracions de programari per la connexió a la xarxa IoTIB

Gabriel Mesquida<sup>1</sup>, Joan Antoni Oliver<sup>1</sup>, Bartomeu Alorda<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Col·laborador del Grup de Recerca de Sistemes Electrònics (<http://smartlab.uib.es>), Departament de Física, Universitat de les Illes Balears, Palma

<sup>2</sup> Membre del Grup de Recerca de Sistemes Electrònics (<http://smartlab.uib.es>), Departament de Física, Universitat de les Illes Balears, Palma

## Resum:

La xarxa IoTIB proporciona un sistema de comunicacions per transmetre dades d'estacions remotes mitjançant el protocol LoraWAN. El responsable de rebre i adreçar les dades és el servidor de xarxa que en el cas de la IoTIB dona servei als usuaris mitjançant la plataforma Sentilo. En aquest capítol explorarem la plataforma Sentilo i es donaran pautes per la connexió de les aplicacions terminals dels usuaris.

## 1. La plataforma IoTIB

La plataforma IoTIB vol crear un espai digital d'intercanvi de dades i de coneixement a partir de la col·laboració entre investigadors, gestors públics, interessos privats i la ciutadania. L'estructura de la plataforma s'ha anat dibuixant en els anteriors capítols d'aquesta memòria tot indicant reptes i oportunitats que es poden crear. La figura 1 mostra l'esquema global del model de plataforma IoTIB que els autors d'aquesta memòria proposen des dels diferents punts de vista en cada capítol. L'oportunitat d'estructurar les dades amb la creació d'un observatori únic a les Illes Balears capaç de donar servei a la xarxa de col·laboració d'actors interessats, però també d'obrir les dades per a que estiguin disponibles per a crear un entorn d'innovació i sostenibilitat futura.

La primera tecnologia que formarà part de la plataforma IoTIB serà la basada en LoRA, per tant, l'esquema de la figura 1 mostra una xarxa d'estacions comunicades amb LoRA creant la LoRAWAN de les Illes Balears. Sabent que LoRA no serà la única tecnologia de captura d'informació del territori es mostra la xarxa d'enllaç que connectarà altres estacions ja existents o tècnics en mobilitat que realitzaran captures de dades directament sobre el territori. Tot alimentant el servidor de dades de l'observatori que mitjançant tècniques d'anàlisi de les dades en proposarà una organització georeferenciada (basada en servies d'informació geogràfica) i estàndard pel tractament com a dades obertes o per l'intercanvi de dades dins la xarxa de col·laboradors de l'observatori.

## Consideracions de programari per la connexió a la xarxa IoTIB

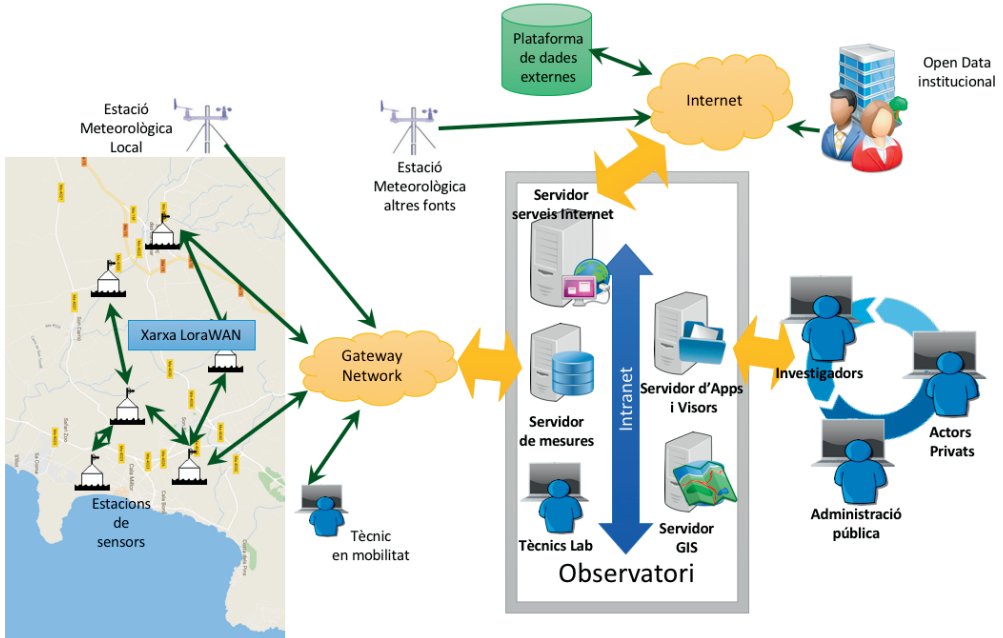


Figura 1: esquema global del model d'intercanvi de dades que podria ajudar a crear la plataforma IoTIB.

Encara que aquest esquema global inclou un observatori com a element clau per a l'exploració de les dades, aquest no forma part directament de la xarxa IoTIB que l'empresa IBETEC juntament amb la UIB estan implantant a les Illes Balears. Però sí que s'identifica com una oportunitat que s'hauria d'impulsar a partir de la posada en funcionament de la IoTIB. En aquest sentit, la figura 2 mostra l'esquema de parts que conformen la plataforma IoTIB i les possibilitats de connexió que ofereix a través de la implantació d'interfícies de programes d'aplicació (API).

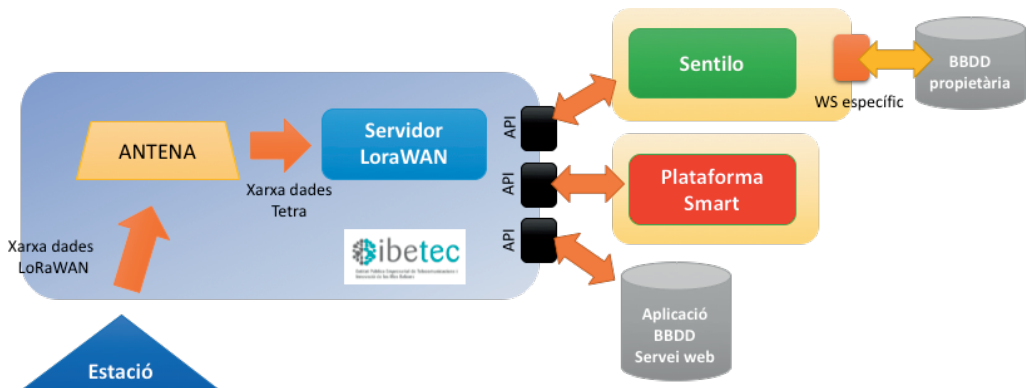


Figura 2: esquema de parts de la plataforma IoTIB basada amb LoraWAN incloent servidor de xarxa i les plataformes d'usuari.

La plataforma IoTIB es crea amb un entorn de codi obert, que permet processar i gestionar les dades rebudes de les diferents estacions mitjançant les antenes que formen part de la xarxa IoTIB que es mantindrà operativa amb el suport de IBETEC. Aquesta xarxa es compon dels següents elements: un servidor de xarxa, una interfície de gestió basada en tecnologies web i diferents APIs per la connexió amb les plataformes d'usuari externes.

Inicialment, es preveuen tres tipus d'APIs de connexió: la integració amb la plataforma Sentilo de codi obert, la definició d'una API estàndard que permetrà tant la connexió de plataformes smart d'usuari diverses com la connexió d'un servidor d'usuari per la posada en servei d'aplicacions, BBDD o serveis web específics. Aquesta proposta inicial es reflexa a la figura 2 i es deixa clar que tant la responsabilitat com el manteniment d'aquestes infraestructures d'usuari no corresponen als gestors de la plataforma IoTIB.

La plataforma IoTIB implica la posada en servei de dos punts de tractament de dades: el primer integrat dins la plataforma i format pel servidor de xarxa, i el segon extern a la plataforma i format pel servidor d'usuari.

El servidor de xarxa és l'encarregat de gestionar les BBDDs que inclouen informació sobre els usuaris, organitzacions, antenes de la xarxa IoTIB, flotes de sensors o dispositius, així com, la recepció dels paquets de dades i l'estadística de qualitat de comunicació dels enllaços. En aquest sentit, el servidor de xarxa és l'encarregat de assegurar la correcta comunicació de les trames tant ascendents (uplinks, trames que viatgen de l'estació fins al servidor) com descendents (downlinks, trames que viatgen des del servidor de xarxa fins a l'estació) mitjançant la gestió de la xarxa d'antenes.

El servidor de xarxa s'ha desenvolupat amb un entorn web que permet als usuaris accedir al llistat d'estacions i sensors als quals té accés, l'històric de trames de dades transmeses i l'estadística de qualitat de cada estació. Aquest mateix entorn es pot usar per realitzar verificacions de funcionament essent possible l'enviament de trames des del servidor de xarxa a una estació concreta i obtenir lectures de la qualitat de l'enllaç.

Finalment, el servidor de xarxa incorpora la posada en servei d'una API estandarditzada que permet la interacció automatitzada d'un usuari extern amb el servidor de xarxa. Els procediments que s'hi han implementat permeten tant la descàrrega de les dades de les trames de les estacions a les que tingui accés i obtenir informació de la qualitat dels downlinks. Hem de recordar que el servidor de xarxa no té la funció d'històric de dades i per tant, les dades es van esborrant de la plataforma tant si l'usuari hi ha accedit com si no. En aquest sentit, es pot configurar un temps de seguretat per disposar de les dades en el servidor que haurà de ser acordat amb el gestor de la plataforma IoTIB dins els acords inicials.



## **Consideracions de programari per la connexió a la xarxa IoTIB**

El segon servidor que preveu l'arquitectura de la xarxa IoTIB és l'anomenat, servidor d'usuari i té la responsabilitat completa sobre les dades que recullen les estacions de mesura. Així, des de la manipulació de les trames de dades, fins la gestió de l'aplicació final d'aquestes dades recau sobre el servidor d'usuari i sobre l'entitat que el gestiona. La interacció entre el servidor de xarxa i el servidor d'usuari es realitzarà mitjançant la API implementada al servidor de xarxa.

Vegem a continuació, algunes consideracions més concretes del servidor de xarxa que s'han de tenir en compte per a integrar una aplicació de mesura de dades amb la plataforma IoTIB.

### **2. El servidor de xarxa LoRA**

Com s'ha indicat anteriorment, el servidor de xarxa és el responsable de mantenir el catàleg de usuaris, estacions i permisos de tots els elements que integren la xarxa LoRAWAN. Així, gestiona les BBDDs on s'emmagatzemen per exemple, les darreres dades rebudes de cada estació, els usuaris i permisos que tenen, i el registre d'estacions connectades mitjançant LoRA.

El gestor de la plataforma IBETEC ha encarregat el desenvolupament del servidor de xarxa a partir del servidor LoRA (<https://www.loraserver.io>). La versió de LoRA Server disposa de llicència de codi obert i té les funcions d'eliminar duplicitats en les trames rebudes per les antenes, implementar les funcions de la capa MAC del protocol i gestionar les transmissions downlink des de les antenes a les estacions.

La implementació feta per la xarxa IoTIB basada en LoRAWAN del servidor de xarxa incorpora funcions addicionals a les del servidor LoRA i que es descriuen en el següent apartat.

#### **2.1. Funcions i serveis del servidor de xarxa IoTIB**

El servidor de xarxa desenvolupat específicament per la xarxa LoRAWAN de la plataforma IoTIB implementa i ofereix els serveis següents mitjançant un portal web com interfície d'usuari:

1. Inici de sessió amb nom d'usuari i contrasenya
2. Restablir contrasenya mitjançant l'enviament d'un enllaç de recuperació a l'adreça de correu electrònic establerta dins la plataforma.
3. Gestió d'usuaris i organitzacions donades d'alta en el servidor quan s'accedeix en mode administrador.
4. Gestió d'antenes i concentradors de xarxa quan s'accedeix en mode administrador.
5. Gestió dels mòduls transmissors de les estacions donades d'alta a la xarxa quan s'accedeix en mode administrador.



6. Gestió de les estacions donades d'alta a la xarxa que disposa cada usuari o organització.
7. Permet l'enviament de trames de dades a una estació determinada.
8. Accés a les dades actuals i a un històric de dades recent.
9. Estadístiques de concentradors (opció vàlida per als usuaris de l'administrador de xarxa).
10. Organitza les estadístiques de transmissió de les estacions i permet visualitzar gràficament el tràfic entre estacions i antenes.
11. Visualització del manual específic per a cada tipus d'usuari.

Aquest servidor es mantingut i administrat per l'entitat IBETEC responsable de la posada en servei de la xarxa LoRAWAN a les Illes Balears.

## **2.2. Comunicació de les estacions**

Entre les estacions i el servidor de xarxa s'estableix una comunicació utilitzant el protocol LoRaWAN, basat en les especificacions de modulació en freqüència definits per la LoRa Alliance (<https://lora-alliance.org>). La definició d'aquest protocol va venir motivada per la necessitat de connectar dispositius de baix nivell de recursos de computació, dins una gran àrea de cobertura, i alimentats per bateries.

La comunicació que s'estableix és bidireccional, és a dir, hi ha un canal de comunicació entre l'estació i l'antena (uplink) i, un canal de comunicació entre l'antena i l'estació (downlink). Degut a que està previst que les estacions (en la seva majoria alimentades per bateries) no estiguin presents sempre dins la xarxa per reduir el consum energètic, la informació que es transmet de l'antena a l'estació, roman a l'antena fins que l'estació doni senyals d'estar operativa de nou, moment en el que la informació es transmesa i arribarà a aquesta.

### **2.2.1. La seguretat en la comunicació**

La definició del protocol LoRA també fa una especial atenció a la seguretat, tant a nivell d'integritat i de confiança de la xarxa, com a nivell de protecció de les dades durant la transmissió per l'aire. Per aconseguir el nivell de seguretat adient, les especificacions detallen l'ús de la família d'algoritmes de seguretat estàndards anomenats AES amb una llarga implementació [Gemalto, 2017]. Les dues claus d'encryptació usades per assegurar la seguretat es deriven de l'identificador únic global basat en EUI-64 anomenat DevEUI i de la clau definida específicament per l'aplicació (*AppKey*) de 128 bits de longitud. Les claus derivades són:

- *Network Session Key (NwkSkey)*: La clau de sessió de xarxa és una identificació única per sessió i estació de 128 bits que només coneixent el transmissor i el servidor de xarxa. Aquesta clau permet identificar i

## Consideracions de programari per la connexió a la xarxa IoTIB

validar el missatge dins la xarxa i, assegurar així que prové d'un transmissor reconegut.

1. *Application Session Key (AppSKey)*: La clau de sessió d'aplicació també és única per sessió i estació. Amb una llargària de 128 bits aporta seguretat a nivell d'aplicació, fent-se servir per encriptar i desencriptar el missatge d'usuari.

El conjunt AppKey i AppSKey es fan servir per encriptar el contingut d'usuari i només són compartits entre l'estació i el servidor d'aplicació. Per tant, els missatges viatgen encriptats pel proveïdor de comunicacions. La clau NwkSKey permet assegurar que el missatge prové de l'estació identificada i que no hi ha trames d'informació introduïdes per tercers. La informació referent a les claus de seguretat es pot ampliar al document [Gemalto, 2017] editat per l'aliança de Lora.

L'establiment de les claus entre totes les estacions, les antenes i els servidors que comparteixen els serveis de la xarxa es defineix a les especificacions mitjançant dos mètodes diferents:

2. *Over-The-Air Activation (OTAA)*. Aquest mètode permet que cada node transmissor realitzi una petició per unir-se a la xarxa de forma remota i fent servir la mateixa infraestructura LoRAWAN. En aquest procés, el servidor de xarxa identifica de forma unívoca l'estació i l'aplicació que rebrà les dades, es generen les claus AppSKey i NwkSKey, i estableix les característiques d'ús de la xarxa per part del node transmissor. Un bona guia d'aquest procés es pot trobar a la referència (Miller, R., 2016).
3. *Activation By Personalization (ABP)*. Els nodes transmissors tenen la informació de les claus prèviament establertes i úniques dins la xarxa. Per tant, poden començar a comunicar-se amb la xarxa sense necessitat de processos d'identificació.

### 2.2.2. L'estructura de la informació

L'intercanvi d'informació entre l'estació i l'antena es realitza mitjançant trames definides per les especificacions [Lora Alliance, 2017]. Les especificacions defineixen dues estructures de trames: la trama de la capa física i la trama de la capa MAC.

La trama de la capa física es defineix pels següents camps: inici de trama (preamble), capçalera física (PHDR), CRC capçalera física (PHDR\_CRC), dades capes superiors (PHYPayload), CRC de les dades.

La trama de la capa MAC es defineix pels següents camps: Capçalera de la capa MAC (MHDR), dades de la capa, codi d'integritat del missatge (MIC).

Les dades de la capa MAC tenen un estructura diferent per cada tipus de trama. Les especificacions 1.1 defineixen fins a un total de 8 tipus de trames. Per a més informació es recomana acudir a (Lora, 2017).

### 3. Connexió d'un servidor d'aplicació

Les especificacions del protocol LoRA garanteixen la comunicació entre les estacions amb mòduls transmissors i el servidor de xarxa. D'aquesta forma la informació produïda per les estacions queda de forma temporal desada dins el servidor de xarxa formant part de la plataforma IoTIB.

Com ja s'ha comentat la parella de claus AppKey i AppSKey permeten assegurar que les dades són manejades encriptades pel proveïdor de xarxa, per tant, el seu emmagatzematge temporal al servidor de xarxa no és cap vulneració de la seguretat de les dades. De fet, aquesta condició de temporalitat assegura que les trames seran destruïdes a mesura que els requeriments del servidor així ho facin necessari o segons l'acord de manteniment de les dades encriptades que s'estableixi entre l'usuari i IBETEC com a proveïdor de la plataforma IoTIB.

En aquest punt es fa necessari la posada en servei del servidor d'aplicació destí final de les dades transmises per les estacions. Així doncs, la plataforma IoTIB ha permès que les dades viatgin des dels nodes transmissors al servidor d'aplicació. Aquest en farà ús, interpretant la informació rebuda després d'un procés de desencriptació amb les claus de seguretat d'aplicació, i, en serà responsable de l'emmagatzematge de les dades de llarga durada.

Vegem a continuació els mecanismes prevists per a la connexió del servidor de xarxa al servidor d'aplicació.

#### 3.1. Recuperar les dades rebudes de les estacions

La recuperació de les dades rebudes per les estacions o nodes es pot fer mitjançant dues metodologies diferents:

1. La interfície web.
2. La API de la plataforma IoTIB.

En el cas, d'utilitzar la interfície web, l'eina requereix la interacció per part de l'usuari per accedir a l'opció "Dades" i a l'opció "Històric de dades" filtrant la cerca de dades rebudes per l'identificador de les estacions i els marges temporals desitjats. El llistat de les dades resultant es podrà exportar en un dels formats disponibles (CSV, Excel, PDF).

La interfície API s'ha dissenyat per la connexió automàtica del servidor d'aplicació. En aquest sentit, les peticions d'informació s'han organitzat segons facin referència a les trames de l'estació a l'antena (*uplink*) o de l'antena a l'estació (*downlink*). Així, la funció "*getUplink*" permet obtenir informació de les accions *uplink* i es podran filtrar els resultats amb els paràmetres de crida "*from*", "*to*" (filtratge per data), "*dev\_eui*" (filtratge per identificador de node), "*fleet\_id*" (filtratge per flota o agrupació de nodes) i "*uplink\_id\_start*" (indicador intern de la plataforma IoTIB, únic i creixen en el temps).

## Consideracions de programari per la connexió a la xarxa IoTIB

Per altra banda, s'utilitzarà la funció “*downlinkStatus*” per obtenir informació de les accions *downlink*, el filtratge es farà amb els paràmetres “*dev\_eui*” (filtratge per node) “*limit*” (filtratge per nombre màxim de *downlink*) i “*reference*” (filtratge per identificador únic de *downlink*).

La utilització de qualsevol dels mètodes de recuperació de dades requereix iniciar sessió prèviament amb un usuari reconegut a la plataforma. Així, la API disposa d'una funció de “*login*” amb els paràmetres obligatoris “*username*” i “*password*” que retornarà un valor numèric d'identificació de sessió (*token*) amb caducitat de 24h. Aquest *token* s'haurà d'incloure com a paràmetre obligatori per a fer servir qualsevol de les funcions de la API excepte la de “*login*”.

Per a una informació més detallada de la API es recomana acudir a l'annex A d'aquest document que fa referència al manual de la API del servidor de xarxa de la plataforma IoTIB.

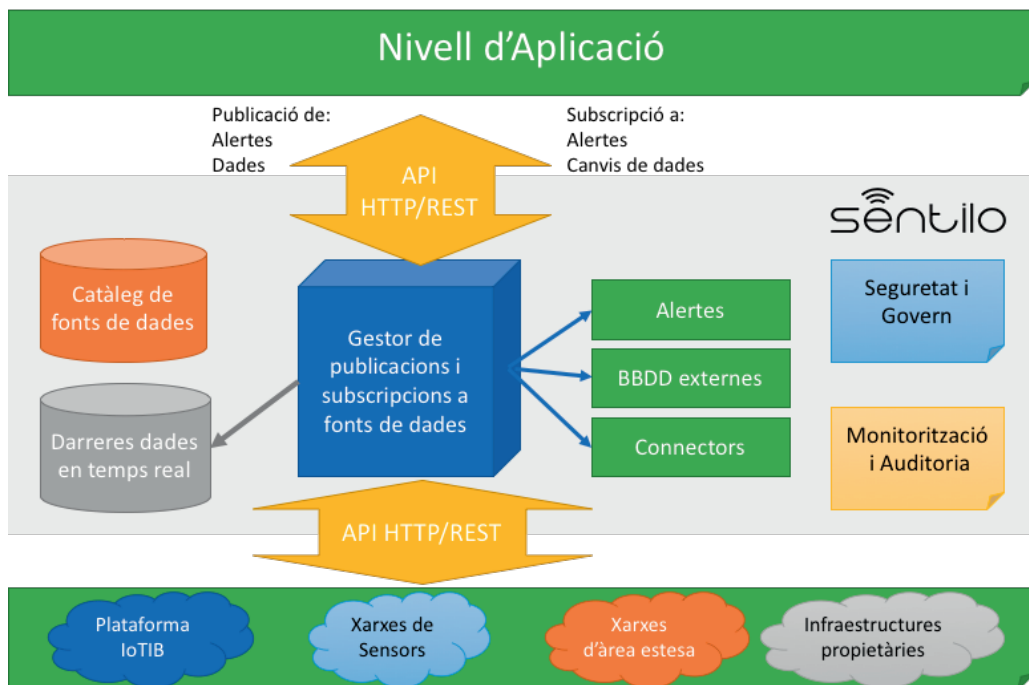
La secció següent detalla informació referent a la plataforma de gestió i administració de sensors anomenada Sentilo i que es proposa com exemple de servidor d'aplicació compatible amb la plataforma IoTIB.

### 4. La plataforma Sentilo

Sentilo (<http://www.sentilo.io>) és l'element d'una arquitectura de ciutat intel·ligent que estructura totes les fonts de dades per oferir-les en un format estàndard a les aplicacions que les fan servir. Es tracta d'un programari de codi obert desenvolupat per la comunitat, encara que va ser iniciat per l'Ajuntament de Barcelona. Aquest programari ha sigut dissenyat per adaptar-se a l'arquitectura d'una gestió del territori basat en sensors de tot tipus. Permet separar les aplicacions necessàries per explotar la informació produïda per les diferents fonts d'informació, de les tecnologies desplegades de cada font de dades per a obtenir la informació. Així doncs, Sentilo es proposa com una opció adequada per mantenir les aplicacions de gestió independents de canvis tecnològics i actualitzacions a les fonts de les dades.

L'esquema d'arquitectura es pot veure a la figura 3 i està basat en la informació que es publica al portal web del programari (<http://www.sentilo.io>). Es pot veure com Sentilo actua com una capa enmig entre les diverses fonts de dades amb tecnologies estàndard o propietàries, i les aplicacions que en faran ús de les dades. A la figura 3 es situa la plataforma IoTIB com una de les fonts de dades en aquest cas proporcionades pel servidor de xarxa LoRA.

La comunicació entre Sentilo i les capes superiors i inferiors es proposa que sigui a través d'APIs basades en serveis HTTP/REST obrint la porta tant a transmissions basades en publicacions o subscripció als serveis concrets de cada tipologia de dades. Al cas d'ús realitzat a la conca d'Andratx es mostrarà el programari desenvolupat per a fer les connexions entre les API de cada servidor.



**Figura 3.** Esquema de blocs de Sentilo com un programari horitzontal independent de les tecnologies de cada àmbit o font de dades que proveeix de dades en format unificat i independent de canvis tecnològics.

L'annex B descriu les passes a seguir per a la instal·lació de la plataforma Sentilo en un servidor de l'usuari. Recordem que es tracta d'un programari de codi obert i sota drets de creative commons (<http://www.sentilo.io>) que pot ser operat en forma aïllada o mitjançant subscripcions entre servidors utilitzant la API de cada una de les instàncies Sentilo. Així, cada un dels servidors tindrà un identificador o "token" diferent com a proveïdors de dades encara que els camps "provider" i el "sensor" siguin els mateixos.

La funció principal de l'eina Sentilo es pot resumir en la capacitat per facilitar la gestió i l'auditoria de les infraestructures i fonts de dades d'un territori. Ara bé, permet realitzar altres funcions i serveis que es recullen en el següent apartat.

#### 4.1. Funcions i serveis

Les principals funcions i serveis que ofereix Sentilo en una arquitectura d'anàlisi de dades són:

- Una interfície pel processat de missatges basada en una API basada en serveis HTTP REST simples que unifica l'accés a les fonts de dades per part de les aplicacions finalistes.
- Una consola d'administració que permet configurar el sistema i gestionar el catàleg de fonts de dades actives.
- Una memòria organitzada a partir d'una base de dades amb l'objectiu d'aconseguir velocitats elevades en el processat de les dades.

## Consideracions de programari per la connexió a la xarxa IoTIB

- La inclusió d'una base de dades no-SQL per tal d'aconseguir un sistema més flexible i escalable font a canvis futurs.
- Proporcionar un visor universal de les dades dels sensors com a punt de partida per millorar la transparència del sistema.
- Un mòdul d'estadística bàsica que permet elaborar i emmagatzemar indicadors bàsics de rendiment de la plataforma.
- Crea una arquitectura basada en components que és extensible per adaptar la funcionalitat de la plataforma a les necessitats sense haver de modificar totes les parts del programari. Així, Sentilo comença amb un conjunt d'agents que pot créixer amb nous requeriments: un agent per exportar a bases de dades relacionals i un altre per processar alarmes internes en base a regles bàsiques.

Ara bé, s'ha de destacar que Sentilo no s'ha de veure com una aplicació final, ja que entre d'altres no presenta funcions d'emmagatzematge de llarga durada, o no incorpora funcions analítiques per obtenir indicadors complexos a partir de les dades. Aquestes funcions més elaborades hauran de ser proporcionades per programaris o servidors a la capa d'aplicació com s'ha mostrat a la figura 3.

### 4.2. Del servidor de xarxa a Sentilo

La connexió que s'estableix entre el servidor de xarxa i Sentilo es realitza mitjançant les APIs disponibles tant a Sentilo com a la plataforma IoTIB. Així doncs, cada programari es troba en servidors diferents i es requerirà d'una connexió HTTP segura entre ells per a poder realitzar la transferència de les dades. Serà necessari implementar un algorisme (*IoTIB2Sentilo*), o varis, que s'encarreguin de localitzar les dades de les estacions, les descarreguin de la plataforma IoTIB i les bolquin dins Sentilo.

El programari Sentilo pot treballar com a servidor destí de les dades o com a passarel·la amb el servidor d'aplicació final. En aquests casos s'haurà de decidir si les dades es descodifiquen (recordem que es desen encriptades dins el servidor de xarxa) i per tant, es desen en obert i amb tot el seu significat dins la plataforma Sentilo, o sí pel contrari, es continuarà amb dades encriptades fins que aquestes arribin al servidor d'aplicació que requerirà entendre el significat de cada informació rebuda.

Per a aprofundir tant en el format de les dades que proporciona la API de Sentilo com per entendre el nivell de seguretat o els serveis REST que proporciona (Alarmes, Catàleg, dades recents, subscripció de serveis, ...) es recomana acudir a [Sentilo, 2018] on es troba la informació actualitzada a la darrera versió estable del programari.

### 4.2.1. Reconeixement d'estacions dins Sentilo

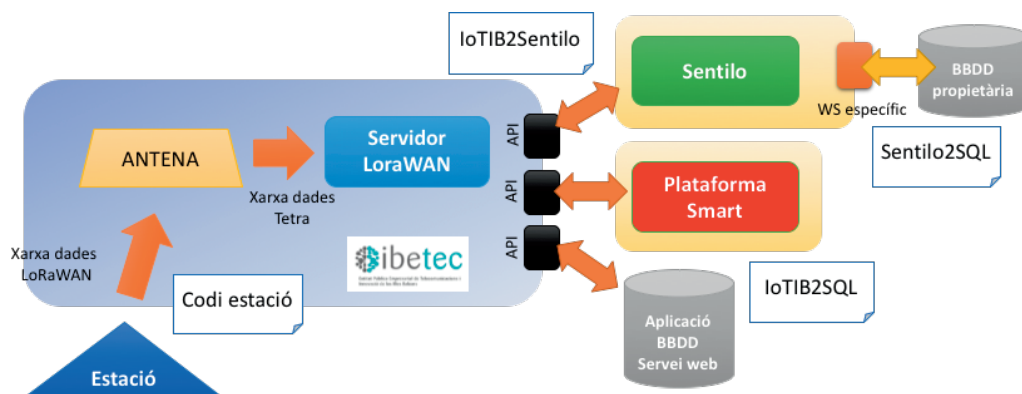
Es recomana donar d'alta les estacions dins el programari Sentilo mitjançant l'identificador del node transmissor *dev\_eui* (identificador únic dins la xarxa LoRA, però que pot tenir incompatibilitats amb altres fonts de dades).

Si es vol tenir més escalabilitat i no dependre de formats LoRA es recomana disposar d'una taula de correspondència de noms que sigui consultada per l'algorisme *IoTIB2Sentilo* per a poder traslladar l'identificador d'estació LoRA *dev\_eui* amb el descriptor que l'identifica dins la plataforma Sentilo.

Vegem a continuació les consideracions pràctiques que es van realitzar per a connectar l'estació de sa Murtera d'Andratx amb dues configuracions electròniques diferents de registrador de dades descrites al capítol anterior.

## 5. Consideracions pràctiques: el cas d'estudi d'Andratx

L'estació d'Andratx ha estat seleccionada com a cas pràctic per respondre a molts dels dubtes tecnològics que la posada en marxa de la plataforma IoTIB haurà d'afrontar. A la figura 4 es mostra el diagrama de connexions entre servidors, estacions que possibilita la posada en marxa de la plataforma IoTIB. Com a resultat de la feina realitzada s'han pogut generar exemples de programari que permeten la connexió dels diferents elements a través de les interfícies i APIs disponibles, com es mostra a la figura 4.



**Figura 4.** Diagrama de connexió de l'arquitectura desenvolupada pel cas de l'estació de sa Font de la Vila a la conca d'Andratx. Es mostren els programes desenvolupats per la connexió entre servidors.

La connexió lògica dels elements de l'arquitectura descrita a la figura 4 s'ha realitzat a través del següents codis:

- **Codi estació:** recull tot el conjunt de programari que es necessari mantenir a l'estació per a fer la connexió LoRA amb la plataforma IoTIB.
- **Codi IoT2SQL:** exemple d'ús de la API per la descàrrega de dades d'estacions cap a una plataforma Smart o BBDD externa.



## Consideracions de programari per la connexió a la xarxa IoTIB

- **Codi IoT2Sentilo:** exemple de programa que connecta la plataforma Sentilo amb la font de dades de la plataforma IoTIB fent servir les interfícies definides.
- **Codi Sentilo2SQL:** exemple de programa que connecta la plataforma Sentilo amb una BBDD externa com a aplicació final destí de les dades. En aquest cas, aquest codi serveix per a interrogar la plataforma Sentilo referent a qualsevol sensor registrat dins el catàleg.

A més, dels codis generats per a realitzar les connexions lògiques entre servidors, es volen fer constar algunes consideracions a tenir en compta:

- Definir un format de trama que tingui en compta el recursos d'enviament que ofereix el protocol LoRA i aprofiti al màxim l'ample de banda disponible reduint el temps de transmissió per deixar el canal lliure el més aviat possible. És a dir, si es pot transmetre la informació en un paquet millor pel rendiment de la xarxa que usar-ne dos.
- Facilitar la descodificació o extracció de les dades mesurades en el servidor d'aplicació. Reduirà els recursos necessaris per tractar cada trama i accelerarà la disponibilitat de les dades.
- Una informació important en tot sistema de mesura de variables ambientals és l'instant temporal de cada dada. Així doncs, preveure un procés d'actualització de la base de temps que fan servir les estacions i els registradors de dades pot reduir els errors temporals.

Vegem a continuació algunes consideracions apreses sobre les funcions i estructura del codis generats per resoldre cada un dels algorismes de connexió entre serveis i servidors.

### 5.1. Consideracions de programari a nivell d'estació

En el capítol anterior s'han introduït les solucions electròniques per a dos registradors concrets del fabricant Scientific Campbell. Com ja es va dir, aquest fabricant és d'ampli ús en el camp d'estacions de mesura de variables ambientals. Vegem a continuació alguns aprenentatges i consideracions que s'han tingut en compta a l'hora d'implementar una solució tecnològica de connexió a la plataforma IoTIB per a cada tipus d'estació.

#### 5.1.1. El cas d'un mòdul de comunicacions sobre transmissor Lopy

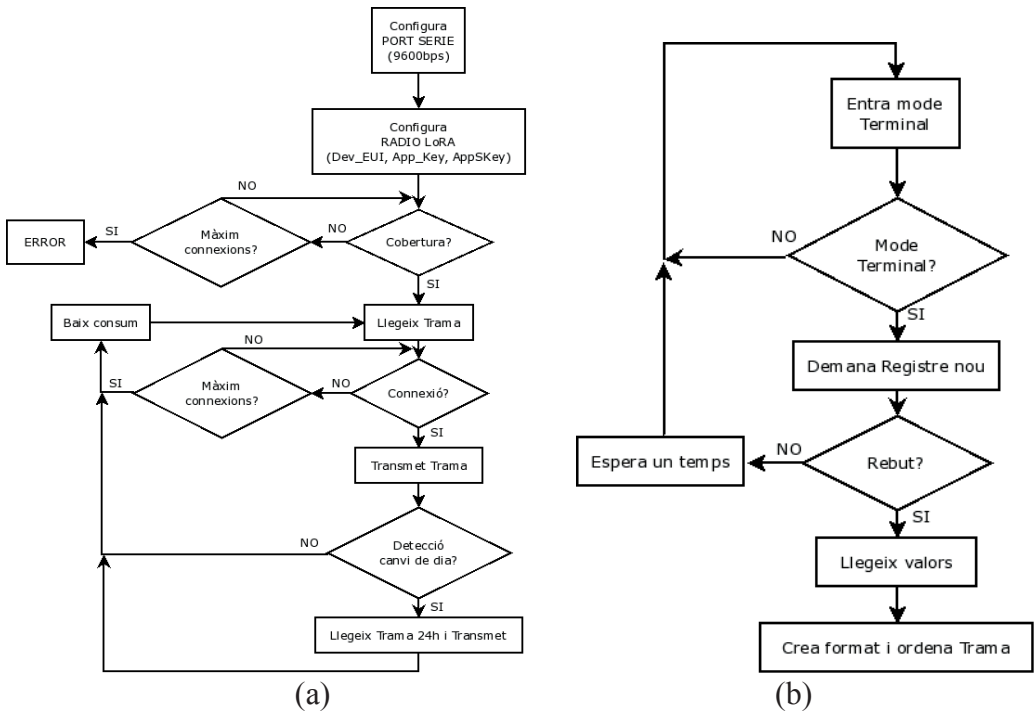
En el cas del registrador de dades CR200X amb recursos disponibles que no li permeten una comunicació mitjançant el bus Pak, el mètode que es proposa usar es basa en el mode terminal del registrador, que simplifica el procés d'elaboració de llibreries, ja que es tracta d'un mode basat en intercanvi de caràcters mitjançant el port sèrie.

L'esquema de connexions de l'estació amb els mòdul transmissor es pot veure detallat al capítol anterior a la Figura 4. I per tant, les indicacions de programa es fan sobre el programari que hauria d'executar el mòdul LoPY o qualsevol altre model de mòdul transmissor.

La proposta de programari es basa en les següents premisses:

- El registrador de dades emmagatzema tots els registres i estableix la marca de temps de cada mesura.
- Es connecta amb el registrador a partir del port sèrie en mode asíncron usant els tres senyals necessaris: TX, RX i GND.
- Es fa un enviament de dades cada 15 minuts i un enviament addicional de resum del dia cada 24h.
- Els errors són emmagatzemats dins el mòdul a l'espera de ser atesos a través del manteniment de l'estació.

L'algoritme proposat es mostra a la figura 5 amb l'ajuda de diagrames de flux. El diagrama 5(a) mostra les tasques i la seqüència del programa principal, mentre el diagrama 5(b) mostra el detall de la funció "Llegeix Trama" que dialoga amb el registrador de dades en mode terminal.



**Figura 5.** Diagrames de flux del programa d'estació sobre transmissor Lopy. (a) Proposta de programa pel mòdul transmissor LoPy, (b) detall de la rutina "Llegeix trama" encarregada de llegir la trama del registrador de dades existent.

Recordem que tota la electrònica de la estació està alimentada per bateries i, per tant, els temps d'espera o aturades es realitzen sempre reduint el consum del

## Consideracions de programari per la connexió a la xarxa IoTIB

dispositiu. Per tant, serà important ajustar bé el nombre màxim d'intents de connexió o els temps d'espera entre operació i operació per ajustar el consum i la robustesa del codi resultant.

Una altra qüestió que s'ha de resoldre per cada cas o aplicació és el format en el que les dades seran transmeses per aprofitar al màxim la disponibilitat de transmissió de les trames LoRA. En el cas de l'estació d'Andratx es disposa d'un total de 7 sensors que han de ser transmesos al servidor mitjançant LoRA. El format de les trames que s'ha elegit és el següent:

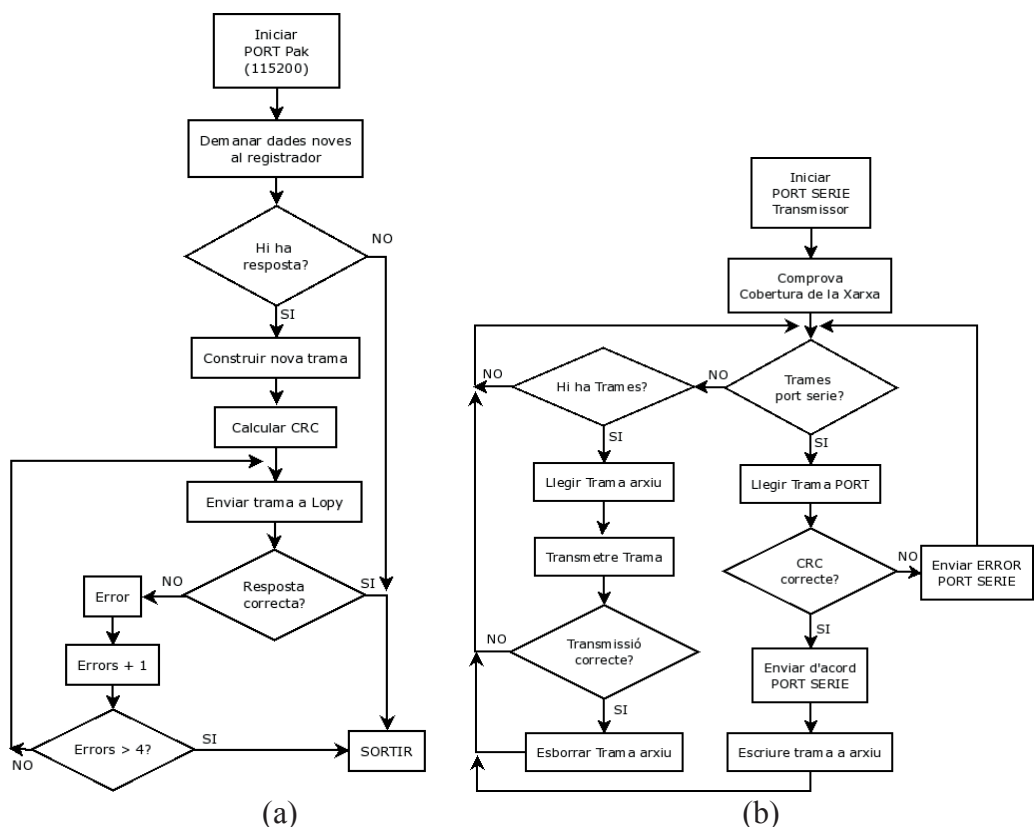
- Cada valor de variable llegit s'ha truncat a la part sencera i com a màxim 2 decimals. Cada dígit es transmet en hexadecimal.
- El signe de cada valor es desa apart de forma que les dades sempre es transmeten positives
- Cada valor transformat ocupa un total de 4 bytes, fent un total de 28 bytes per als 7 sensors.

Altres propostes de format poden ser usades sempre que no superin la llargària màxima de les trames prevista en el protocol LoRA. També és interessant tenir present que una major llargària de la trama pot dur associada una major probabilitat d'error en la transmissió. Per tant, la recomanació seria: reduir el temps de transmissió reduint el nombre de dades a transmetre.

### 5.1.2. El cas d'un mòdul de comunicacions amb accés al Pakbus

El Pakbus és un bus propietari de l'empresa Scientific Campbell que ofereix accés a totes les funcions dels registradors de dades que el suporten [Davis, J., 2016]. Aquest és el cas del registrador CR300, model semblant al CR200X que ha estat retirat del catàleg per haver quedat obsolet. En aquest sentit, es proposa a continuació resoldre la connexió d'estacions equipades amb models de registradors que suporten el Pakbus amb una llibreria Pakbus [PyPak, 2009] de codi obert que hem pogut validar el seu funcionament a la conca d'Andratx. L'esquema de connexions de l'estació amb els mòdul transmissor es pot veure detallat al capítol anterior a la figura 8.

Aquesta proposta separa les funcions de transmissió i gestió amb la xarxa LoRA, de les funcions de consulta i actualització del registrador de dades amb el Pakbus. La llibreria usada es compatible amb un entorn Linux, per tant s'ha optat per utilitzar el mòdul electrònic Raspberry Pi Zero com encarregat de la funció d'interfície amb el Pakbus i deixar les funcions de transmissió al mòdul LoPY ja usat a la proposta anterior, veure figura 8 del capítol anterior. La proposta reparteix la responsabilitat entre els dos mòduls electrònics, però una altra alternativa permetria realitzar les tasques només sobre el mòdul Raspberry Pi i usar un mòdul transmissor més simple sense tasques de tractament de dades.



**Figura 6.** Diagrames de flux del programa d'estació amb accés al bus Pak. (a) diagrama executat sobre la Raspberry Pi. (b) diagrama executat sobre la Lopy.

La proposta de programari realitzada als diagrames de la figura 6 es basa en un repartiment de funcions entre els dos mòduls electrònics. Les funcions que realitza la Raspberry Pi són:

- Interrogar el registrador de dades usant el protocol del busPak,
- Extreure els valors de mesura i construir el format de trama dissenyat per l'aplicació,
- Calcular un codi de CRC per assegurar la transmissió amb el mòdul LoPY,
- Realitzar retransmissions al mòdul LoPY si es detecten errades en les trames enviades.

Les funcions de la LoPY són:

- Esperar dades a transmetre de la Raspberry Pi,
- Enviar una confirmació de recepció de cada trama si el CRC és correcta,
- Desar les trames no transmeses de forma temporal si la comunicació amb la plataforma IoTIB queda interrompuda,
- Reprendre la transmissió de les trames quan sigui possible.

## Consideracions de programari per la connexió a la xarxa IoTIB

El disseny proposat espera que hi hagi més errors de transmissió entre l'estació i el servidor LoRA que entre el registrador i la Raspberry PI. De fet, hem de recordar que el registrador no esborra les dades transmeses per tant, s'ha cregut no necessari que la Raspberry mantingui un registre de les dades demanades. Per altra banda, una vegada la trama ha estat construïda de forma correcta, és la LoPY qui mantindrà un registre de les trames pendent de ser transmeses. No és la única solució possible i per tant, queda oberta la possibilitat d'altres propostes.

### 5.2. Consideracions de programari a nivell de servidor

El programari entre servidors (de xarxa i d'aplicació) es basa en l'ús de les seves interfícies API definides per a cada servidor basades en el protocol HTTP o la seva versió segura HTTPS. En aquest sentit, les interaccions entre servidors es realitzaran mitjançant transferència de dades fent servir mètodes com el POST.

Amb independència del llenguatge o sistema operatiu de cada servidor, es recomana l'ús de l'eina CURL [curl, 2018] pensada per a la transferència entre servidors usant un dels protocols estàndard suportats (FTP, SFTP, HTTP, HTTPS, IMAP, IMAPS, POP3, POP3S entre d'altres). Les opcions que permet l'eina CURL són moltes i massa extenses per recollir-les en aquest document, per tant es recomana acudir al portal web de l'eina [curl, 2018] per a ampliar els detalls dels serveis que suporta i el procés d'instal·lació en cada sistema operatiu.

Vegem a continuació l'aplicació d'aquesta eina per a interaccionar amb el servidor de xarxa IoTIB mitjançant dos exemples: el primer cas obtenir un identificador de sessió únic anomenat *token* després de la realització d'un accés d'usuari correcte. El segon cas per obtenir les dades rebudes d'una certa estació a la qual s'hi té accés.

**CAS 1:** Realització d'un accés d'usuari correcte per aconseguir l'identificador de sessió activa o *token*. La implementació es fa mitjançant la API del servidor de xarxa IOTIB descrit a l'annex A i l'eina CURL per a realitzar una transferència de les dades d'usuari amb el mètode POST del protocol HTTPS.

L'adreça URL necessària és (vigent el 30-09-2018):

<https://iotib.ibetec.cat:14442/api/external/login>

Les dades que seran transferides són el *nom d'usuari* i la *clau d'usuari*. Com a resposta la API transfereix un arxiu en format JSON amb el número d'identificació únic de la sessió activa o *token*. Aquesta resposta es recomana desar-la dins un arxiu per a poder recuperar el token en les següents transferències usant la connexió activa. Una proposta d'ordre usant l'eina CURL seria la següent:

```
curl -k -o "arxiu.json" --data "username=usuari&password=clau&submit=login"
https://iotib.ibetec.cat:14442/api/external/login
```

**CAS 2:** Descàrrega de les dades rebudes d'una estació. En aquest cas es voldrà indicar al servidor de xarxa que es volen les dades d'una estació particular fent servir un identificador de sessió activa o *token*. Recordem que aquest número *token* es pot obtenir fent un accés d'usuari com es mostra en el CAS 1. La URL que s'haurà de fer servir és:

<https://iotib.ibetec.cat:14442/api/external/getUplink>

Les dades que es requereixen són el token d'una sessió activa que es pot llegir de l'arxiu creat seguint les recomanacions del CAS 1 i l'identificador únic de l'estació dins la xarxa LoRA, el Dev\_EUI. Aquest identificador s'haurà de conèixer i haurà d'estar registrat com a accessible per l'usuari que es vol fer servir. Així la proposta de comanda CURL en aquest cas seria la següent:

```
curl -k -o "arxiu.json" -data "token=codisessio&dev_eui=Dev_EUP" https://iotib.ibetec.cat:14442/api/external/getUplink
```

Aquesta ordre retorna els valors de les trames transmises dins l'arxiu indicat amb format *json*.

El tractament d'aquest resultat haurà d'adaptar-se a les característiques de cada aplicació final. Vegem a continuació algunes idees i recomanacions que pretenen ajudar a realitzar aquest tractament d'adaptació.

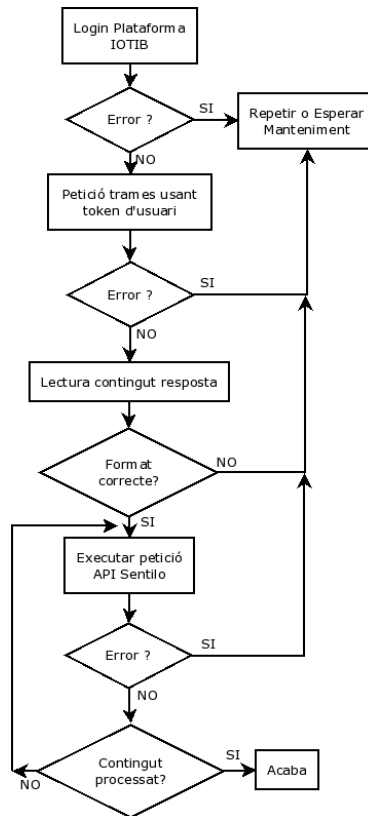
### 5.2.1. El codi IoTIB2Sentilo

La connexió de la plataforma Sentilo al servidor de xarxa IoTIB es realitza mitjançant peticions POST a enllaços o URLs específics per a cada acció. Exemples d'operacions fent servir aquestes peticions es poden veure a la secció anterior.

La combinació de peticions POST per a realitzar la connexió de plataformes es mostra en el diagrama 7. En aquest cas es proposa la recollida de dades des del servidor de xarxa amb una connexió d'usuari reconegut i el traspàs a la plataforma Sentilo. Cada petició requereix d'una verificació d'error abans de continuar per tal de no produir execucions errònies. Al diagrama de la figura 7, la producció d'un error condueix a un estat de repetició de la petició o a la situació d'aturada que requereix la intervenció de personal de manteniment. L'elecció de com es resol la situació d'error dependrà de cada aplicació i de la tipologia de les fonts d'error que es poden produir.

La proposta es basa en una seqüència de quatre operacions seqüencials amb verificació d'errors en cada operació: primerament, aconseguir una sessió activa a la plataforma IoTIB, després petició de les trames rebudes des d'una estació concreta amb autorització d'accés de l'usuari, extracció de les dades d'aplicació de cada trama i finalment la càrrega de les dades llegides a la plataforma Sentilo.

## Consideracions de programari per la connexió a la xarxa IoTIB



**Figura 7.** Diagrames de flux del codi IOTIB2Sentilo.

Aquesta proposta de codi preveu que sigui executat al mateix servidor de forma rutinària atenen al ritme d'actualització que necessiti l'aplicació final de les dades. A l'annex C es recull un exemple orientatiu de codi implementat en llenguatge python que segueix el diagrama de la figura 7. Serveixi aquest exemple com a guia per ampliar, millorar o refinar el codi d'aplicació adaptant-lo a les necessitats finals desitjades.

### 5.2.2. Consideracions pels codis IoTIB2SQL i Sentilo2SQL

Amb les consideracions vistes en els apartats anteriors, la informació de l'annex A on es detalla la API de la plataforma IoTIB, o el manual de la plataforma Sentilo [sentilo, 2018] s'han vist exemples per realitzar l'accés a les dades de cada plataforma.

Per tant, només queda donar algunes indicacions per a fer la traducció a serveis basats en el llenguatge SQL d'accés a base de dades relacionals:

- Realització de peticions al servidor amb confirmació de transaccions correctes per evitar duplicitat de dades a la BBDD destí.
- Preveure accions de repetició de peticions en el cas de transaccions incorrectes que tinguin en compta el punt d'inici.



## Referències

Curl, 2018, Manual de l'eina CURL (<https://curl.haxx.se/docs/manpage.html>)

Davis, J., 2016, The Many Possibilities of PakBus Networking (<https://www.campbellsci.com/blog/many-possibilities-of-pakbus-networking>)

Gemalto, Actility, Semtech, 2017, LoRaWAN security, lora alliance

Lora Alliance, 2017, LoRaWAN 1.1 specification, (<https://www.lora-alliance.org>)

Miller, R., 2016, LoRA Security. Building a Secure Lora Solution, MWR Labs Whitepaper. (<https://labs.mwrinfosecurity.com/assets/BlogFiles/mwri-LoRa-security-guide-1.2-2016-03-22.pdf>)

PyPak, 2009, Python library for communication with Campbell Scientific dataloggers through the PakBus interface (<https://sourceforge.net/projects/pypak/>)

Sentilo, 2018, Documentació de la API (<http://www.sentilo.io/xwiki/bin/view/APIDocs/WebHome>)

## **ANNEX A: API servidor de Xarxa - plataforma IoTIB**

Per mantenir actualitzada la informació d'aquesta guia aquest annex estarà disponible a l'adreça web <http://smartlab.uib.es/IoTIB/>

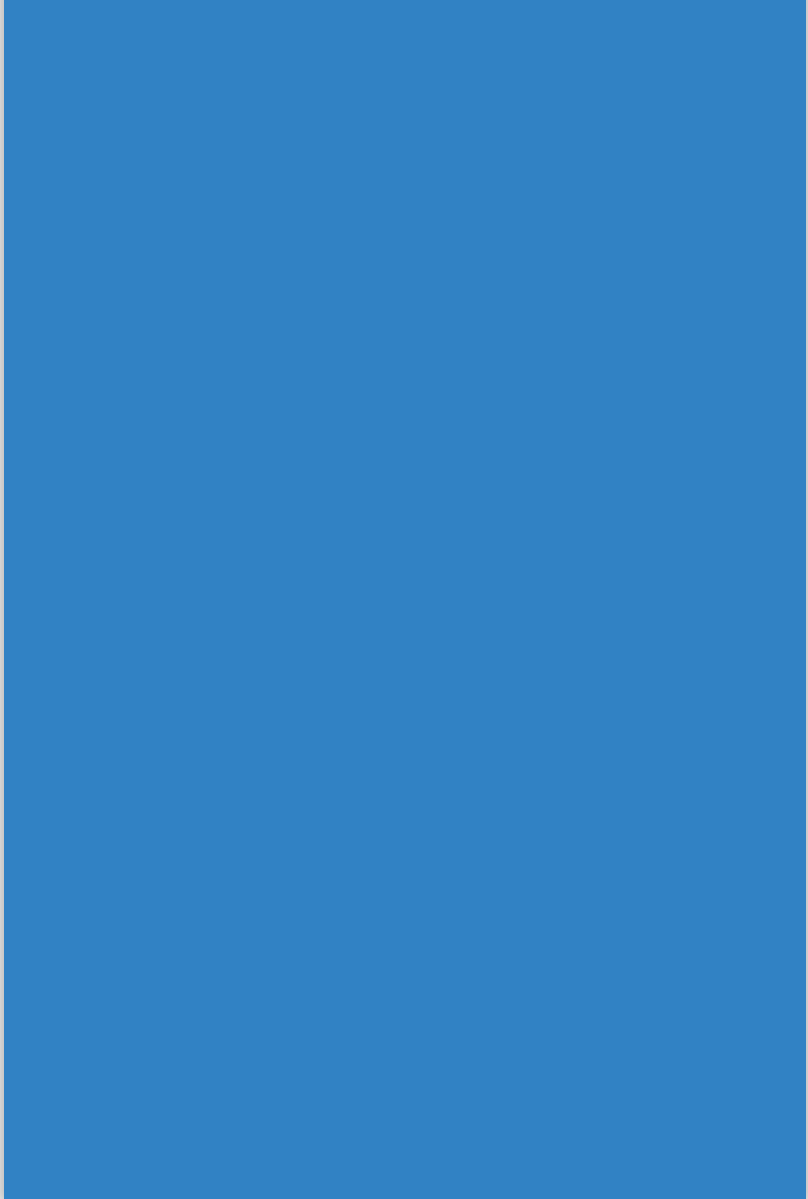
## **ANNEX B: Indicacions instal·lació Sentilo**

Per mantenir actualitzada la informació d'aquesta guia aquest annex estarà disponible a l'adreça web <http://smartlab.uib.es/IoTIB/>

## **ANNEX C: Codi exemple IoTIB2Sentilo**

Per mantenir actualitzada la informació d'aquesta guia aquest annex estarà disponible a l'adreça web <http://smartlab.uib.es/IoTIB/>





**Universitat**  
de les Illes Balears



G VICEPRESIDÈNCIA  
O I CONSELLERIA  
I INNOVACIÓ,  
B RECERCA I TURISME  
/ DIRECCIÓ GENERAL  
INNOVACIÓ I RECERCA



**Unió Europea**

Fondo Europeo de  
Desarrollo Regional



una manera de hacer  
**europa** 

