

**CENTRE TECNOLÒGIC DE TELECOMUNICACIONS DE CATALUNYA -  
CTTC**

**PLEC DE CLÀUSULES TÈCNIQUES DEL/S SUBMINISTRAMENT/S  
D'EQUIPAMENT/S PER**

**NÚM. EXPEDIENT: CTTC-2023-47**

## 1. Context

La FUNDACIÓ CENTRE TECNOLÒGIC DE TELECOMUNICACIONS DE CATALUNYA (d'ara endavant CTTC o la Fundació) és una Fundació del sector públic de la Generalitat de Catalunya, subjecta a la legislació sobre fundacions de la Generalitat de Catalunya, amb personalitat jurídica pròpia i durada il·limitada. Figura inscrita al Registre de Fundacions de la Generalitat de Catalunya amb el número 1613. Impulsada des del Departament d'Universitats, Recerca i Societat de la Informació (DURSI) de la Generalitat de Catalunya, es va constituir el dia 28 de juny de 2001 i té per objecte contribuir a impulsar la promoció i el desenvolupament de la recerca d'alt nivell a les diferents branques de les tecnologies de les telecomunicacions i la geomàtica, potenciant grups de recerca d'excel·lència en ciència i enginyeria relacionades amb aquests àmbits; la producció, promoció i divulgació del coneixement i la formació de personal tècnic i científic en tecnologies de telecomunicacions i la geomàtica; l'establiment de col·laboracions científiques i acadèmiques amb les universitats i els grans centres de recerca nacionals i internacionals especialitzats en tecnologia de telecomunicacions i geomàtica; l'establiment de col·laboracions, en la forma que legalment escaigui, amb les administracions públiques i amb el sector privat en les matèries pròpies de la seva activitat; facilitar el contacte entre la investigació bàsica i aplicada, actuant, quan correspongui, com a centre de transferència de tecnologia; l'organització de trobades científiques nacionals i internacionals; contribuir, mitjançant el perfeccionament tecnològic i la innovació, a la millora de la competitivitat de les empreses; així com qualsevol altra finalitat relacionada.

## 2. Objecte del contracte

L'objecte del present plec de condicions tècniques és l'establiment de les condicions tècniques que regiran en l'adjudicació, per part del CTTC, del contracte de subministrament de **Plataforma experimental per Massive MIMO i MIMO distribuït**

### Necessitats que es pretenen cobrir amb aquest contracte

Per a desenvolupar la seva activitat el CTTC necessita un entorn d'experimentació sense fils per fer recerca en les noves generacions de comunicacions mòbils. Aquest entorn d'experimentació ha de ser modular i versàtil per poder adreçar els següents casos d'ús (no al mateix temps):

- **XL-MIMO:** Número molt gran d'antenes en la estació base (base station, BS).
- **Múltiples BS:** Poder fer experiments amb múltiples estacions base de forma distribuïda.

El que es demana en aquest contracte es que el licitador proposi una **solució integral que detalli tot el equipament necessari i les diferents formes d'interconnectar-lo** per que el CTTC experimenti en la banda de freqüències per sota dels 6 GHz de les comunicacions sense fils com es descriu a l'annex 1 d'aquest Plec de Prescripcions Tècniques. Per aquesta raó els annexos 2,3,4,5 d'aquest Plec de Prescripcions Tècniques. identifiquen alguns requeriments tècnics que ha de complir el equipament que forma part de la solució. Per els casos no considerats en aquelles seccions, es deixa a criteri del licitador quin tipus d'equipament mes adient es farà servir que permeti una millor solució integral. Amb l'objectiu de guiar l'estructura de la memòria tècnica que se espera, l'annex 7, proposa una plantilla que es podrà seguir, indicant els pesos que tindrà cada secció en la valoració de la proposta.

### 3. Descripció del subministrament

Els productes objecte del subministrament es relacionen a l'annex 1. Cada article està descrit dins del corresponent lot i amb una denominació concreta, els quals el proveïdor haurà de fer constar a l'albarà emès a l'hora de fer el lliurament dels articles.

Tot el material subministrat haurà de ser de nova adquisició.

El temps d'entrega dels equipaments, haurà de ser igual o inferior al 31 de maig de 2025.

L'adjudicatària facturarà els subministraments mitjançant tres factures:

- 30 % al signar el contracte
- 30% després de verificació realitzada pel Responsable de Projecte
- 40% a l'entrega del subministrament

El material o subministrament objecte del present contracte, s'haurà de lliurar a la següent adreça:

Centre Tecnològic de Telecomunicacions de Catalunya (CTTC),

Av. Carl Friedrich Gauss 7-11, Edifici B-4

08860 Barcelona

L'adjudicatari es farà càrrec de les despeses d'enviament o de qualsevol despesa relacionada amb la mateixa.

## 4. Requeriments tècnics

### 4.1 Requeriments tècnics del disseny

El **disseny de la solució** ha considerar els requeriments definits a l'annex 1 d'aquest Plec de Prescripcions Tècniques.

### 4.2 Requeriments tècnics del material

Els **materials** a subministrar han de complir els requisits tècnics previstos als annexos 2, 3, 4, i 5 d'aquest Plec de Prescripcions Tècniques. Per els casos no considerats en aquests annexes, es deixa a criteri del licitador quin tipus d'equipament mes adient es farà servir **que permeti una millor solució integral**.

Tot i que les descripcions tècniques d'alguns materials d'aquest expedient puguin incloure referències específiques de productes, es podran presentar ofertes amb referències equivalents, sempre i quan tinguin la mateixa funcionalitat i acompleixin les descripcions tècniques indicades en el present plec.

Si al llarg de la vigència del contracte, el material adjudicat sofrís evolució tecnològica, millores, variació o substitució en els seus components, aquests seran subministrats en les mateixes condicions econòmiques del contracte.

Els adjudicataris estan obligats a presentar, de manera continuada i fins a la finalització del contracte, l'assessorament tècnic i assistencial necessari per a la utilització dels productes subministrats.

L'inici del subministrament haurà d'efectuar-se un cop formalitzat el contracte en el termini estipulat en el PCAP.

Els adjudicataris quedaran implicats tècnica i econòmicament en la seva execució i per tant, han d'assegurar el funcionament òptim del sistema tant des del punt de vista tècnic com econòmic. En cas que no ho facin s'aplicaran les corresponents penalitats previstes al PCAP.

### 4.3 Requeriments tècnics dels experiments de validació

La solució proposada ha de complir els **experiments de validació** definits a l'annex 6 d'aquest Plec de Prescripcions Tècniques.

## 5. Garantia de l'equipament

El termini de garantia serà un dels criteris a valorar mitjançant l'aplicació de fórmules matemàtiques o l'assignació directe de punts, per aquest motiu s'ha d'especificar el termini ofertat en l'Annex núm. 2 del Plec de Clàusules Administratives Particulars (PCAP).

## 6. Termini d'entrega

L'empresa adjudicatària haurà de lliurar els equips objecte del present contracte en un termini no superior al 31 de maig de 2025. Com aspectes que es valoraran en els criteris subjectius segons a la secció B1 de l'Annex 3 del PCAP i que s'inclouen al sobre 2 seria la reducció en el temps d'entrega dels equips.

## 7. Lliurament del subministrament

El lliurament inclou el transport, subministrament, ubicació dels béns objecte del contracte, així com el seu muntatge i instal·lació. La descàrrega i la ubicació dels béns s'ha de fer per mitjans propis de l'empresa que resulti adjudicatària.

L'equipament que constitueix l'objecte del present plec se subministrarà amb tots aquells dispositius i/o elements necessaris per a la seva instal·lació completa, posada en marxa i funcionament correcte. La instal·lació s'efectuarà sota la supervisió d'un tècnic responsable del servei i ha d'incloure tots els passos necessaris fins que l'equip quedi situat a la ubicació definitiva i completament funcional.

Un cop finalitzada la instal·lació i posada en marxa, l'adjudicatari lliurarà un informe on constin els resultats de la prova de posada en marxa, per a la seva acceptació per part de la persona responsable del contracte del CTTC. En aquest moment el CTTC emetrà la corresponent acta de recepció provisional, dins del mes següent al lliurament o en el termini que es determini al plec de clàusules administratives particulars per raó de les seues característiques, conforme l'equip ha quedat instal·lat satisfactòriament i s'ha iniciat el període de garantia que s'acabi establint en el contracte tot allò en virtut de l'art. 210 de la Llei 9/2017, de 8 de novembre, de contractes del sector públic (LCSP), i en relació al compliment dels contractes i recepció del subministrament.

L'empresa adjudicatària lliurarà també els manuals d'instal·lació, utilització i manteniment tècnic de l'equipament, així com del programari i aplicacions (en castellà o en anglès, en format electrònic i en paper). A més, es compromet a subministrar les actualitzacions corresponents de la documentació durant tota la vida de l'equip, sense que es pugui aplicar cap càrrec per aquest concepte. S'haurà d'especificar el termini de lliurament que no haurà de superar el termini marcat a punt 6 d'aquest plec.

Castelldefels, 10 de juliol de 2024

Adrián Agustin de Dios

Research Unit: Information and Signal Processing for Intelligent Communications (ISPIC)

## ANNEX 1

### DISSENY D'ARQUITECTURA PER ALS CASOS D'US I DETALL D'EQUIPS

Es busca aconseguir un entorn d'experimentació amb equipament modular i versàtil per dur a terme recerca de comunicacions sense fils en un entorn de laboratori on part del equipament pugui representar el rol de una o múltiples estacions base (o base stations, BS) amb múltiples antenes, i una altra part el rol d'usuari (o user equipment, UE) tant de baixada (downlink, DL) com de pujada (uplink, UL). El equipament ha de ser capaç de treballar en TDD y/o FDD en el rang de freqüències per sota de 6GHz. Definirem com BS el equipament amb un nombre més gran d'antenes, i com a UE el equipament amb un nombre més petit d'antenes. Aquesta escenari replica la transmissió de baixada (DL) en les comunicacions sense fils cel·lulars. No obstant, el equipament considerat també ha de ser capaç de replicar la transmissió de pujada (UL).

Assumim que un **mòdul** representarà a un component físic que inclou:

- Elements de software defined radio (SDR) – Field Programmable Gate Array (FPGA) (veure ANNEX3)
- Elements de sincronització (distribució de rellotge) (veure ANNEX 4)
- Servidor / Unitat de processament (veure ANNEX 5) (opcional)
- Rack (veure ANNEX 6)
- Antenes (veure ANNEX 6)

Per una altra banda, quan parlem del UE farem referencia a:

- SDR- FPGA (veure ANNEX3)

El equipament que es proposi en aquest contracte per la solució integral ha de ser capaç d'adreçar les configuracions de XL-MIMO y Múltiples BS, però no al mateix temps, i complir amb el requisits tècnics especificats als annexos 2,3,4,5 i els experiments de verificació de l'annex 6. Per avaluar la memòria tècnica i la viabilitat de la proposta se ha definit una plantilla per la memòria tècnica a l'annex 7. En particular la configuració **mínima** a complir:

- **XL-MIMO:**
  - Disseny lògic i físic de: 1 BS de 96 antenes o cadenes de RF(3 mòduls)
  - 2 UEs amb 4 antenes o cadenes de RF cada un
  
- **Múltiples BS:**
  - Disseny lògic i físic de 2 BSs:
    - 1 BS amb 64 antenes o cadenes de RF ( 2 mòduls)
    - 1 BS amb 32 antenes o cadenes de RF ( 1 mòdul )
  - 2 UEs amb 4 antenes cada un

Com aspectes que es valoraran en els **critèris subjectius** segons l'annex 3 del PCAP i que s'inclouen al **sobre 2** serien els següents:

- **Nombre total d'antenes BS:** Incrementar el nombre d'antenes, com per exemple 128, 160, ...
- **Nombre total d'antenes UE:** Incrementar el nombre d'antenes, com per exemple 8, 12, ...
- **Nombre de BS:** Per exemple poder tenir 3 BSs de 32 antenes, 4 BS de 32 antenes, 4 BS de 40 antenes, ...
- **Evolució de sistema XL-MIMO:** Un disseny de referència addicional per suportar fins a 256 antenes, indicant quin son els elements inclosos en aquest projecte i quins es necessitarien per complimentar el disseny i que NO estan inclosos en el projecte, com per exemple: nombre de SDR-FPGAs, nous elements de xarxa (acceleradores de FPGA), elements de distribució de rellotge, ...





## ANNEX 2

### SDR-FPGA

Un dels components que s'inclourà seran dispositius *software defined radio* (SDR) amb *Field Programmable Gate Arrays* (FPGAs) que han de suportar múltiples cadenes de freqüència radio. La seva interconnexió permetrà tenir una entitat que funcionarà com una estació base de comunicacions mòbils o com dispositius mòbils.

Cada SDR-FPGA ha de tenir les següents característiques:

- **Tipus FPGA** : Dispositius de les famílies AMD-Xilinx RFSoc or Intel Agilex
- **Ample de banda de transmissió per canal**: >300 MS/s (Megamostres per segon)
- **Interfícies**: 100GEth, 1 GB, USB-C
- **Memòria de processament de sistema**: 4 GB DDR4
- **Memòria de processament no volàtil** (NVM en anglès): 16GB eMMC
- **Ample de banda de la cadena de radio freqüència** (RF en anglès): >100 MHz
- **Mínim rang de freqüències Radio** : 100 MHz - 4 GHz
- **Compatibilitat**: RFNoC, C/C++
- **Resolució ADC**:  $\geq 12$  bit
- **Resolució DAC**:  $\geq 14$  bit
- **Potència de sortida** :  $\geq 0$  dBm
- **Figura de soroll**:  $< 9$  dB
- **Tipus de connector per senyal RF**: Connector standard SMA
- **Aïllament transmissor-transmissor** (TX-TX Isolation):  $\geq 45$  dBc
- **Aïllament transmissor-receptor** (TX-RX Isolation):  $\geq 50$  dBc
- **Aïllament receptor-transmissor** (RX-TX Isolation) :  $\geq 70$  dBc
- **Aïllament receptor -receptor** (RX-RX Isolation):  $\geq 55$  dBc
- **Driver**: Comunicació y control de múltiples SDR-FPGAs de forma síncrona des de un servidor.
- **Rang de temperatura de treball**:  $0^{\circ}\text{C}$  to  $50^{\circ}\text{C}$
- **Rang de humitat de treball**: 10% a 90%

Com aspectes que es valoraran en els **criteris subjectius** segons l'annex 3 del PCAP i que s'inclouen al **sobre 2** serien els següents:

- **Rang de freqüències d'operació**
- **Potència de sortida**
- **Ample de banda de la cadena de radio freqüència**
- **Driver** que suporti treballar amb Matlab, GNURadio operant de forma síncrona múltiples SDR-FPGAs.



### ANNEX 3

#### REFERENCIA DE TEMPS

La solució que es busca per el equipament requerit necessita de un esquema de distribució de rellotge que sigui capaç de proporcionar una referència per poder fer una transmissió síncrona en temps y coherent en fase per la transmissió y recepció de formes d'ona multiportadora. El equipament que es proposi per aquesta tasca ha de complir les següents característiques tècniques :

- **Referencia de temps :**
  - Generació de senyal a 10 MHz i 1 PPS (pols per segon) integrat amb GPSDO (GPS-disciplined oscillator).
    - Resolució de freqüència sense sincronisme GPS: 25 ppb
    - Resolució de freqüència amb sincronisme GPS: < 1 ppb
    - Resolució de PPS amb sincronisme GPS: 50 ns
  - Antena GPS
- **Distribució de temps:** Rellotge a 10 MHz i senyal de 1 PPS (pols per segon) amb una resolució de 25 ppb (parts per bilió)



## ANNEX 4

### SERVIDORS

La comunicació amb les SDR-FPGA es farà per mitja de un servidor o equipament de propòsit general, i el seu dimensionament a de suficient per suportar totes les comunicacions previstes amb SDR-FPGA desplegades per cobrir els casos d'ús XL-MIMO i múltiples BSs. A continuació es proporcionaran una sèrie de requisits a complir, per els servidors. Al haver-hi dos casos d'ús (veure annex 1), es considera que hi haurà almenys dos tipus de servidors, un destinat a treballar per el cas d'ús del XL-MIMO, que tindrà que ser suficientment potent per suportar comunicació amb moltes de les SDR-FPGAs, y un tipus 2 que podria ser adequat per el cas d'ús de múltiples BS. Les a característiques tècniques a complir seran:

#### Tipus 1: (XL-MIMO)

- **Cadenes de RF a connectar-se :**  $\geq (96 \text{ TX}, 96 \text{ RX})$  dividides entre les diferents SDR-FPGAs
- **Numero de interfícies de xarxa:** Ha de poder intercanviar informació amb 32TX/32RX cadenes de RF treballant 300 MS/s/canal, i amb un mínim de 64TX/64RX cadenes de RF addicionals que treballin a 30 MS/s/canal. No es necessari que la connexió entre les SDR-FPGA-Servidor sigui directa, podria ser a través de un altre element de xarxa (per exemple un switch o diversos) sempre i quan compleixi el requeriment de que la connexió del servidor amb tots els canals de les SDR-FPGAs.
- **Processador CPU:**  $> 3.5 \text{ Ghz}$  64 cores (128 processos)
- **Memòria CPU :**  $\geq 700 \text{ GB DDR4}$
- **Disc NVMe :**  $\geq 3 \text{ TB CS2130, NVMe, M2, } 3500 \text{ MB/s} - 1800 \text{ MB/s}$
- **Disc dur:**  $\geq 4 \text{ TB SATA Seagate, } 7200 \text{ rpm } 128 \text{ Mb de caché } 6 \text{ Gb/s}$
- **Sistema operatiu:** Ubuntu
- **Numero de PCIe slots lliures:** 0

## Tipus 2: (Múltiples BS)

- **Cadenes de RF a connectar-se :**  $\geq (32 \text{ TX}, 32 \text{ RX})$  dividides entre les diferents SDR-FPGAs
- **Dimensionat de interfícies de xarxa:** Ha de poder intercanviar informació quan totes les SDR-FPGAs estiguin contactades amb totes les cadenes de RF treballa 300 MS/s/canal. No es necessari que la connexió entre les SDR-FPGA-Servidor sigui directa, podria ser a través de un altre element de xarxa (per exemple un switch o diversos) sempre i quan compleixi el requeriment de que la connexió del servidor amb tots els canals de les SDR-FPGAs.
- **Processador CPU:**  $> 3.5 \text{ GHz}$  32 cores (64 processos)
- **Memòria CPU :**  $\geq 128 \text{ GB DDR4}$
- **Disc NVMe :**  $\geq 1 \text{ TB CS2130, NVMe, M2, } 3500 \text{ MB/s} - 1800 \text{ MB/s}$
- **Disc dur:**  $\geq 4 \text{ TB SATA Seagate, } 7200 \text{ rpm } 128 \text{ Mb de caché } 6 \text{ Gb/s}$
- **Sistema operatiu:** Ubuntu
- **Numero de PCIe slots lliures:** 2

Com aspectes que es valoraran en els **critèris subjectius** segons l'annex 3 del PCAP i que s'inclouen al **sobre 2** serien els següents:

- **Processador CPU**
- **Memòria CPU**
- **Nombre y tipus de PCIe slots lliures addicionals**
- **Elements addicionals de processat basat amb GPUs,** com per exemple GPU NVidia RTX 3090, 24 GB RAM GDDR6X BW 936,2 Gbps, 10.496 núcleos CUDA, 350 W. Ampere. (o equivalent )
- **Estimació del nombre de canals RF que poden treballar de forma simultània a 5 MHz (per mòdul)**
- **Estimació del nombre de canals RF que poden treballar amb el màxim ample de banda**



## ANNEX 5

### RACK I ANTENES

Els diferents equips descrits com SDR-FPGA (annex 2), Referencia de temps (Annex 3) i servidors (Annex 4) ha de ser instal·lats en racks que tindrà rodetes per permetre el trasllat del rack en un entorn de laboratori. Les característiques tècniques a complir:

- **Dimensions:** S'espera que cadascun dels racks estigui dimensionat de forma que:
  - Tenir un numero de SDR-FPGAs que tinguin en total 32 cadenes de RF
  - Servidor (si la proposta ho considera adient)
  - Elements per distribuir el rellotge
  - Dimensions lliures:  $\geq 6U$  (6 racks units 1 U= 44.45 mm segons [https://en.wikipedia.org/wiki/Rack\\_unit](https://en.wikipedia.org/wiki/Rack_unit))
  - Dimensions **màximes** del rack 1.6m (altura, 36 U), 0.60 m (ample, 19"), 1.2 m (profunditat)
- **Antenes:** 32 antenes que puguin treballar 2.4 to 2.48 GHz, omnidireccionals. Aquestes es faran servir per fer proves. No es necessari tenir tantes antenes com cadenes RF hagi disponibles al sistema.

Com aspectes que es valoraran en els **criteris subjectius** segons l'annex 3 del PCAP i que s'inclouen al **sobre 2** serien els següents:

- Dimensions lliures
- Solució proporcionada per la ventilació del equipament instal·lat i cablejat del rack
- Distribució dels elements i facilitat de intercanviar connexions de les SDR-FPGAs al servidor del mateix rack o a un servidor exterior
- Elements de protecció elèctrica



## ANNEX 6

### EXPERIMENTS DE VALIDACIÓ

Amb el objectiu de validar el correcte funcionament dels equips per els diferents casos d'ús, es demana que el licitador defineixi quins seran els experiments que es duran a terme en l'entrega del equipament per demostrar l'operativitat del equipament. Aquests demostracions no tenen perquè ser complexes i poden tenir assistència per part del CTTC per dur-los a terme. S'han de proporcionar tots el detalls per conèixer com es faran els experiments que han de complir els següents objectius :

- **Objectiu 1:** Confirmar que el senyal transmès es rep correctament.
  - *Exemple d'experiment.* Enregistrament i execució de senyal (Simultaneous record and playback) de un senyal multiportadora (per exemple 5G NR) generada prèviament amb un ample de banda de 20 MHz i duració de 5ms.
- **Objectiu 2:** Confirmar que el senyal transmès per antenes en mòduls separats poden transmetre síncronament en el domini temporal.
  - *Exemple d'experiment.* Generar múltiples senyals pilot (1 per antena) per transmetre des dos mòduls diferents (8 antenes en cada mòdul). Fer la transmissió sense fils i rebre la senyal per 2 antenes (per exemple SDR-FPGA destinades per treballar com UE). Revisar el senyal enregistrat de forma offline i realitzar l'estimació de canal i estimació del error de freqüència entre antenes transmissores que permeti afirmar que els senyals han estat transmesos al mateix instant temporal i que son rebut al mateix instant temporal sense error de freqüència. Un exemple similar es pot trobar a <https://es.mathworks.com/help/5g/ug/5g-nr-waveform-capture-and-analysis-using-software-defined-radio.html>
- **Objectiu 3:** Confirmar que no existeix error de freqüència entre elements receptors presents a un mateix mòdul.
  - *Exemple d'experiment.* Generar senyal sinusoidal des de una antena transmissora i fer la transmissió sense fils, i enregistrar el senyal rebut en 16 antenes receptores. Realitzar



un processament offline del senyal i estimar quina es la freqüència rebuda per cada antena. Un exemple similar es pot trobar a <https://es.mathworks.com/help/supportpkg/usrpradio/ug/frequency-offset-calibration-receiver-with-usrp-r-hardware.html>

Com aspectes que es valoraran en els **criteris subjectius** segons l'annex 3 del PCAP i que s'inclouen al **sobre 2** serien els següents:

- Possibilitat validar una transmissió multi-usuari similar a la proposada en <https://es.mathworks.com/help/supportpkg/usrpradio/ug/multi-user-transmit-beamforming-with-usrp-r-hardware.html>
- Disponibilitat de poder interactuar amb el codi font que se ha fet servir per la validació i generar nous experiments, per exemple a través de algun llicenciament
- Nivell de detall dels experiments





## ANNEX 7

### Memòria

A continuació es presenta les seccions que han de aparèixer en la memòria tècnica i com s'avaluaran,

- 1.- Introducció (màxim 1 pagina)
- 2.- Descripció de l'arquitectura (màxim 9 pàgines) [35%]
  - 2.1 *Definició de mòduls (veure definició Annex 1)*
  - 2.2 *Arquitectura per aconseguir el cas d'ús XL-MIMO*
  - 2.3 *Arquitectura per aconseguir el cas d'ús: Múltiples BS*
- 3.- Matriu de compliment de requisits (màxim 4 pàgines) [15%]
  - 3.1 *SDR-FPGA*
  - 3.2 *Referència de temps*
  - 3.3 *Servidor*
  - 3.4 *Rack*
4. Elements de software (màxim 1 pagina) [10%]
5. Definició dels experiments de validació (màxim 5 pàgines) [20%]
6. Documentació (màxim 1 pagina) [10%]
7. Pla de treball (màxim 2 pàgines) [10%]
8. Experiència en projectes similars (màxim 1 pagina) [5%]

**CENTRE TECNOLÒGIC DE TELECOMUNICACIONS DE CATALUNYA -  
CTTC**

**PLIEGO DE CLÁUSULAS TÉCNICAS DEL/DE LOS SUMINISTRO/S DE  
EQUIPAMIENTO/S PARA**

**NÚM. EXPEDIENTE: CTTC-2023-47**

## 1. Contexto

La FUNDACIÓN CENTRE TECNOLÒGIC DE TELECOMUNICACIONS DE CATALUNYA (en adelante, CTTC o la Fundación) es una Fundación del sector público de la Generalitat de Cataluña, sujeta a la legislación sobre fundaciones de la Generalitat de Cataluña, con personalidad jurídica propia y duración ilimitada. Está registrada en el Registro de Fundaciones de la Generalitat de Cataluña con el número 1613. Impulsada desde el Departamento de Universidades, Investigación y Sociedad de la Información (DURSI) de la Generalitat de Cataluña, se constituyó el 28 de junio de 2001 y tiene como objetivo contribuir a impulsar la promoción y el desarrollo de la investigación de alto nivel en las diferentes ramas de las tecnologías de las telecomunicaciones y la geomática, potenciando grupos de investigación de excelencia en ciencia e ingeniería relacionadas con estos ámbitos; la producción, promoción y divulgación del conocimiento y la formación de personal técnico y científico en tecnologías de telecomunicaciones y la geomática; el establecimiento de colaboraciones científicas y académicas con las universidades y los grandes centros de investigación nacionales e internacionales especializados en tecnología de telecomunicaciones y geomática; el establecimiento de colaboraciones, en la forma que legalmente corresponda, con las administraciones públicas y con el sector privado en las materias propias de su actividad; facilitar el contacto entre la investigación básica y aplicada, actuando, cuando corresponda, como centro de transferencia de tecnología; la organización de encuentros científicos nacionales e internacionales; contribuir, mediante el perfeccionamiento tecnológico y la innovación, a la mejora de la competitividad de las empresas; así como cualquier otra finalidad relacionada.

## 2. Objeto del contrato

El objeto del presente pliego de condiciones técnicas es el establecimiento de las condiciones técnicas que regirán en la adjudicación, por parte del CTTC, del contrato de suministro de **Plataforma experimental par Massive MIMO i MIMO distribuido**

### Necesidades que se pretenden cubrir con este contrato

Para desarrollar su actividad, el CTTC necesita un entorno de experimentación inalámbrica para la investigación en las nuevas generaciones de comunicaciones móviles. Este entorno de experimentación ha de ser modular y versátil para poder replicar los siguientes casos de uso (no al mismo tiempo):

- **XL-MIMO:** Número muy elevado de antenas en la estación base (base station, BS).
- **Múltiples BS:** Poder realizar experimentos con múltiples estaciones base de forma distribuida.

Lo que se pide en este contrato es que el licitador proponga una **solución integral donde se detalle todo el equipamiento necesario y las diferentes formas interconexiónado**, para que el CTTC pueda experimentar en la banda de frecuencias por debajo de los 6 GHz de las comunicaciones inalámbricas tal como se detalla en el anexo 1 de este Pliego de Prescripciones Técnicas (PPT). Por esta razón, los anexos 2,3,4,5 de este Pliego de Prescripciones Técnicas identifica alguno de los requerimientos técnicos que han de cumplir los equipos que forman parte de la solución. Para los casos no considerados en esas secciones, se deja a criterio del licitador que tipo de equipamiento es el más adecuado que permita una mejor solución integral. Con el objetivo de guiar la estructura de la memoria técnica que se espera, el anexo 7, propone una plantilla que se podrá seguir, indicando los pesos que tendrán cada sección en la valoración de la propuesta.

### 3. Descripción del suministro

Los productos objeto del suministro se detallan en el anexo 1. Cada artículo está descrito dentro del correspondiente lote y con una denominación específica, la cual el proveedor deberá hacer constar en el albarán emitido al realizar la entrega de los artículos. Todo el material suministrado deberá ser de nueva adquisición.

El plazo de entrega de los equipos deberá ser igual o inferior al del 31 de mayo de 2025.

El/ la adjudicatario/a facturará los suministros mediante tres facturas:

- 30 % al firmar el contrato
- 30% después de verificación por el Responsable del Proyecto
- 40% en la entrega del suministro

El material o suministro objeto del presente contrato deberá entregarse en la siguiente dirección:

Centre Tecnològic de Telecomunicacions de Catalunya (CTTC),  
Av. Carl Friedrich Gauss 7-11, Edifici B-4

08860 Barcelona

El adjudicatario se hará cargo de los gastos de envío o de cualquier gasto relacionado con la misma.

## 4. Requisitos técnicos

### 4.1 Requisitos técnicos de diseño

El **diseño de la solución** ha de considerar los requisitos definidos en el anexo 1 de este Pliego de Prescripciones Técnicas.

### 4.2 Requisitos técnicos del material

Los **materiales a suministrar** deben cumplir con los requisitos técnicos previstos en los anexos 2,3,4 y 5 de este Pliego de Prescripciones Técnicas. En los casos no considerados en esos anexos, se deja a criterio del licitador que tipo de material es el **más adecuado para una mejor solución integral**.

Aunque las descripciones técnicas de algunos materiales de este expediente puedan incluir referencias específicas de productos, se podrán presentar ofertas con referencias equivalentes, siempre y cuando tengan la misma funcionalidad y cumplan con las descripciones técnicas indicadas en el presente pliego.

Si a lo largo de la vigencia del contrato, el material adjudicado experimenta evolución tecnológica, mejoras, variación o sustitución en sus componentes, estos se suministrarán en las mismas condiciones económicas del contrato.

Los adjudicatarios están obligados a presentar, de manera continua y hasta la finalización del contrato, el asesoramiento técnico y asistencial necesario para la utilización de los productos suministrados.

El inicio del suministro deberá efectuarse una vez formalizado el contrato en el plazo estipulado en el PCAP.

Los adjudicatarios quedarán implicados técnica y económicamente en su ejecución y, por lo tanto, deben asegurar el funcionamiento óptimo del sistema tanto desde el punto de vista técnico como económico. En caso de no hacerlo, se aplicarán las correspondientes penalizaciones previstas en el PCAP.

### 4.3 Requisitos técnicos de los experimentos de validación

La solución propuesta ha de cumplir los **experimentos de validación** definidos en el anexo 6 de este Pliego de Prescripciones Técnicas.

## 5. Garantía del equipo

La duración de la garantía será uno de los criterios a valorar mediante la aplicación de fórmulas matemáticas o asignación directa de puntos, por este motivo se debe especificar la duración ofertada en el anexo número 2 del Pliego de Cláusulas Administrativas Particulares (PCAP).

## 6. Plazo de entrega

La empresa adjudicataria deberá entregar los equipos objeto del presente contrato en un plazo no superior a **32 semanas** (aproximadamente 8 meses) desde la fecha de la orden de compra que generará el CTTC después de la formalización del contrato. Como aspectos que se valoraran en los criterios subjetivos según la sección B1 del anexo 3 del PCAP y que se incluyen en el sobre 2 está la reducción en el tiempo de entrega de los equipos.

## 7. Entrega del suministro

La entrega incluye el transporte, suministro, ubicación de los bienes objeto del contrato, así como su montaje e instalación. La descarga y ubicación de los bienes deben realizarse mediante los medios propios de la empresa que resulte adjudicataria.

El equipamiento que constituye el objeto del presente pliego se suministrará con todos aquellos dispositivos y/o elementos necesarios para su instalación completa, puesta en marcha y correcto funcionamiento. La instalación se llevará a cabo bajo la supervisión de un técnico responsable del

servicio e incluirá todos los pasos necesarios hasta que el equipo quede situado en la ubicación definitiva y completamente funcional.

Una vez finalizada la instalación y puesta en marcha, el adjudicatario entregará un informe con los resultados de la prueba de puesta en marcha, para su aceptación por parte de la persona responsable del contrato del CTTC. En este momento, el CTTC emitirá la correspondiente acta de recepción provisional, dentro del mes siguiente al suministro o en el plazo que se determine en el pliego de cláusulas administrativas particulares por razón de sus características, confirmando que el equipo ha quedado instalado satisfactoriamente y ha comenzado el período de garantía que se establezca en el contrato, todo ello en virtud del art. 210 de la Ley 9/2017, de 8 de noviembre, de contratos del sector público (LCSP), y en relación al cumplimiento de los contratos y recepción del suministro.

La empresa adjudicataria también entregará los manuales de instalación, utilización y mantenimiento técnico del equipamiento, así como del software y aplicaciones (en español o en inglés, en formato electrónico y en papel). Además, se compromete a suministrar las correspondientes actualizaciones de la documentación durante toda la vida del equipo, sin que se pueda aplicar ningún cargo por este concepto. Se deberá especificar el plazo de entrega, que no deberá superar el plazo establecido en el punto 6 de este pliego.

## ANEXO 1

### DISEÑO DE LA ARQUITECTURA PARA LOS CASOS DE USO Y DETALLE DE LOS EQUIPOS

Se busca conseguir un entorno de experimentación con equipamiento modular y versátil para llevar a cabo investigación en comunicaciones inalámbricas en un entorno de laboratorio donde parte del equipamiento pueda representar el rol de una o múltiples estaciones base (o base stations, BS) con múltiples antenas, y otra parte el rol de usuario (o user equipment, UE) tanto en el enlace descendente (downlink) como el enlace ascendente (uplink, UL). El equipamiento ha de capaz de trabajar en TDD y/o FDD en el rango de frecuencias por debajo de los 6GHz. Definiremos como BS el equipamiento con un numero elevado de antenas y como UE el equipamiento con un numero de antenas más pequeño. Este escenario replica la transmisión de bajada (DL) en las comunicaciones celulares inalámbricas. No obstante, el equipamiento considerado también ha de ser capaz de replicar la transmisión en el enlace ascendente (UL).

Asumimos que un módulo representará un componente físico que incluye:

- Elementos de software defined radio (SDR) – Field Programmable Gate Array (FPGA) (ver ANEXO 3)
- Elementos de sincronización (distribución de reloj) (ver ANEXO 4)
- Servidor / Unidad de procesado (ver ANEXO 5) (opcional)
- Rack (ver ANEXO 6)
- Antenas (ver ANEXO 6)

Por otra parte, cuando hablemos de UE haremos referencia a:

- SDR– FPGA (ver ANEXO 3)

El equipamiento que se proponga en este contrato como solución integral ha de ser capaz de construir las configuraciones de XL-MIMO y Múltiples BS, pero no al mismo tiempo, y cumplir con los requisitos técnicos especificados en los anexos 2, 3, 4 5 y los experimentos de verificación del anexo 6. Para evaluar la memoria técnica y la viabilidad de la propuesta se ha definido una plantilla para la memoria técnica en el Anexo 7. En particular la configuración **mínima** a cumplir:



- **XL-MIMO:**
  - Diseño lógico y físico de: 1 BS de 96 antenas o cadenas de RF (3 módulos)
  - 2 UEs con 4 antenas o cadenas de RF cada uno
  
- **Múltiples BS:**
  - Diseño lógico y físico de 2 BSs:
    - 1 BS con 64 antenas o cadenas de RF ( 2 módulos)
    - 1 BS con 32 antenas o cadenas de RF (1 módulo )
  - 2 UEs con 4 antenas o cadenas de RF cada uno

Como aspectos que se valoraran en los **criterios subjetivos** según la sección B1 del anexo 3 del PCAP y que se incluyen en el **sobre 2** serían los siguientes:

- **Número total de antenas BS:** Incrementar el número de antenas, como por ejemplo 128, 160,...
- **Número total de antenas UE:** Incrementar el número de antenas, como por ejemplo 8, 12, ...
- **Número de BS:** Por ejemplo poder tener 3 BSs de 32 antenas, 4 BSs de 32 antenas, 4 BSs de 40 antenas, ...
- **Evolución de sistema XL-MIMO:** Un diseño de referencia adicional para soportar hasta 256 antenas, indicando qué elementos estos incluidos en este proyecto y cuáles son necesarios para complementar el diseño y que NO están incluidos en el proyecto, por ejemplo, número de SDR-FPGAS, nuevos elementos de red (aceleradores de FPGA), elementos de distribución de reloj, ...



## ANEXO 2

### SDR-FPGA

Un de los componentes que se incluirá serán los dispositivos *software defined radio* (SDR) amb *Field Programmable Gate Arrays* (FPGAs) que han de soportar múltiples cadenas de radio frecuencia. Su interconexión permitirá tener una entidad que funcionará como una estación base de comunicaciones móviles o como dispositivos móviles.

Cada SDR-FPGA ha de tener las siguientes características:

- **Tipos FPGA** : Dispositivos de las familias AMD-Xilinx RFSoc o Intel Agilex
- **Ancho de banda de transmisión por canal**: >300 MS/s (Megamuestras por segundo)
- **Interfaces**: 100GEth, 1 GB, USB-C
- **Memoria de procesamiento del sistema**: 4 GB DDR4
- **Memoria de procesamiento no volátil** (NVM en inglés): 16GB eMMC
- **Ancho de banda de la cadena de radio frecuencia** (RF en inglés): >100 MHz
- **Mínimo rango de frecuencias radio a cubrir**: : 100 MHz - 4 GHz
- **Compatibilidad**: RFNoC, C/C++
- **Resolución ADC**: >= 12 bit
- **Resolución DAC**: >= 14 bit
- **Potencia de salida**: >=0 dBm
- **Figura de ruido**: <9 dB
- **Tipo de conector para señal RF**: Conector standard SMA
- **Aislamiento transmisor-transmisor** (TX-TX Isolation): >=45 dBc
- **Aislamiento transmisor-receptor** (TX-RX Isolation): >= 50 dBc
- **Aislamiento receptor-transmisor** (RX-TX Isolation) : >=70 dBc
- **Aislamiento receptor -receptor** (RX-RX Isolation): >=55 dBc
- **Driver**: Comunicación y control de múltiples SDR-FPGAs de forma síncrona desde un servidor.
- **Rango de temperatura de trabajo**: 0°C to 50°C
- **Rango de humedad de trabajo**: 10% a 90%

Como aspectos que se valoraran en los **criterios subjetivos** según la sección B1 del anexo 3 del PCAP y que se incluyen en el **sobre 2** serían los siguientes:

- **Rango de frecuencias de operación**
- **Potencia de salida**
- **Ancho de banda de la cadena de radio frecuencia**
- **Driver** que soporte trabajar con Matlab, GNURadio operando de forma síncrona múltiples SDR-FPGAs.



### ANEXO 3

#### REFERENCIA DE TIEMPO

La solución que se busca para el equipamiento requerido necesita de un esquema de distribución de reloj que sea capaz de proporcionar una referencia para poder realizar una transmisión síncrona en tiempo y coherente en fase para la transmisión y recepción de formas de onda multi-portadora. El equipamiento que se proponga para esta tarea ha de cumplir con las siguientes características técnicas:

- **Referencia de tiempo:**
  - Generación de señal a 10 MHz i 1 PPS (pulso por segundo) integrado con GPSDO (GPS-disciplined oscillator).
    - Resolución de frecuencia sin sincronismo GPS: 25 ppb
    - Resolución de frecuencia con sincronismo GPS: < 1 ppb
    - Resolución de PPS con sincronismo GPS: 50 ns
  - Antena GPS
- **Distribución de tiempo:** Reloj a 10 MHz i señal de 1 PPS (pulso por segundo) con una resolución de 25 ppb (partes por billón)



## ANEXO 4

### SERVIDORES

La comunicación con las SDR-FPGA se realizará por medio de un servidor o equipamiento de propósito general, y su dimensionado ha de ser adecuado para soportar todas las comunicaciones previstas con las SDR-FPGAs desplegadas para cubrir los casos de uso XL-MIMO y múltiples BSs. A continuación, se proporcionarán una serie de requisitos a cumplir por los servidores. Al existir dos casos de uso (ver anexo 1), se considerará que puede haber dos tipos de servidores, uno destinado a trabajar para el caso de uso de XL-MIMO, que tendrá suficientemente potente para soportar la comunicación con muchas de las SDR-FPGAs y un tipo 2 que podría ser adecuado para el caso de uso de múltiples BSs. Las características técnicas que cumplir serán:

#### **Tipo 1:** (XL-MIMO)

- **Cadenas de RF a conectarse:**  $\geq (96 \text{ TX}, 96 \text{ RX})$  divididas entre les diferentes SDR-FPGAs
- **Dimensionado de los interfaces de red:** Ha de poder intercambiar información con 32TX/32RX cadenas de RF trabajando 300 MS/s/canal, y con un mínim de 64TX/64RX cadenas de RF adicionales que trabajen a 30 MS/s/canal.. No es necesario que la conexión entre SDR-FPGA-Servidor sea directa, podría ser a través de otro elemento de red (por ejemplo un switch o similar) siempre y cuando cumpla los requisitos de la conexión entre servidor y todos los canales de la SDR-FPGA..
- **Procesador CPU:**  $> 3.5 \text{ Ghz}$  64 cores (128 procesos)
- **Memoria CPU :**  $\geq 700 \text{ GB DDR4}$
- **Disco NVMe :**  $\geq 3 \text{ TB CS2130, NVMe, M2, } 3500 \text{ MB/s} - 1800 \text{ MB/s}$
- **Disco duro:**  $\geq 4 \text{ TB SATA Seagate, } 7200 \text{ rpm } 128 \text{ Mb de caché } 6 \text{ Gb/s}$
- **Sistema operativo:** Ubuntu
- **Número de PCIe slots libres:** 0

## Tipo 2: (Múltiples BS)

- **Cadenas de RF a conectarse :**  $\geq$ (32 TX, 32 RX) divididas entre las diferentes SDR-FPGAs
- **Dimensionado de los interfaces de red :** Ha de poder intercambiar información cuando todas las SDR-FPGA estén conectadas con todas las cadenas de RF trabajando a 300 MS/s/canal. No es necesario que la conexión entre SDR-FPGA-Servidor sea directa, podría ser a través de otro elemento de red (por ejemplo un switch o similar) siempre y cuando cumpla los requisitos de la conexión entre servidor y todos los canales de la SDR-FPGA.
- **Procesador CPU:**  $>$  3.5 GHz 32 cores (64 procesos)
- **Memoria CPU :**  $\geq$ 128GB DDR4
- **Disco NVMe :**  $\geq$ 1 TB CS2130, NVMe, M2, 3500MB/s - 1800 MB/s
- **Disco duro:**  $\geq$ 4 TB SATA Seagate, 7200 rpm 128 Mb de caché 6 Gb/s
- **Sistema operativo:** Ubuntu
- **Numero de PCIe slots libres:** 2

Como aspectos que se valoraran en los **criterios subjetivos** según la sección B1 del anexo 3 del PCAP y que se incluyen en el **sobre 2** serían los siguientes:

- **Procesador CPU**
- **Memoria CPU**
- **Número y tipo de PCIe slots libres adicionales**
- **Elementos adicionales de procesamiento basado en GPUs**, como por ejemplo GPU Nvidia RTX 3090, 24 GB RAM GDDR6X BW 936,2 Gbps, 10.496 núcleos CUDA, 350 W. Ampere. (o equivalente)
- **Estimación del número de canales RF que pueden trabajar de forma simultánea a 5 MHz (per módulo)**
- **Estimación del número de canales RF que pueden trabajar con el máximo ancho de banda**



## ANEXO 5

### RACK Y ANTENAS

Los diferentes equipos descritos como SDR-FPGA (anexo 2), referencia de tiempo (anexo 3) y servidores (anexo 4) ha de ser instalados en racks que tendrán ruedas para permitir el traslado del rack en un entorno de laboratorio. Las características a cumplir:

- **Dimensiones:** Se espera que cada uno de los racks esté dimensionado de forma que:
  - Tener un número de SDR-FPGAs para conseguir un total de 32 cadenas de RF
  - Servidor (si la propuesta lo considera oportuno)
  - Elementos de distribución de reloj
  - Dimensiones libres:  $\geq 6U$  (6 racks units 1 U= 44.45 mm según [https://en.wikipedia.org/wiki/Rack\\_unit](https://en.wikipedia.org/wiki/Rack_unit) )
  - Dimensiones **máximas** del rack 1.6m (altura, 36 U), 0.60 m (ample, 19”), 1.2 m (profundidad)
- **Antenas:** 32 antenas que puedan trabajar 2.4 - 2.48 GHz, omnidireccionales. Estos elementos se utilizarán para las pruebas de verificación. No es necesario proporcionar tantas antenas como cadenas de RF haya disponible en el sistema.

Como aspectos que se valoraran en los **criterios subjetivos** según la sección B1 del anexo 3 del PCAP y que se incluyen en el **sobre 2** serían los siguientes:

- Dimensiones libres
- Solución proporcionada para la ventilación del equipamiento instalado y cableado en el rack
- Distribución de los elementos i facilidad de intercambiar conexiones de les SDR-FPGAs al servidor del mismo rack o a un servidor exterior
- Elementos de protección eléctrica

## ANEXO 6

### EXPERIMENTOS DE VALIDACIÓN

Con el objetivo de validar el correcto funcionamiento de los equipos para los diferentes casos de uso, se pide que el licitador **defina que experimentos se realizarán durante el acto de entrega del equipamiento para demostrar la operatividad del mismo**. Estas demostraciones no tienen porque ser complejas y pueden tener ayuda por parte del CTTC para llevarlas a cabo. Se han de proporcionar todos los detalles para conocer como se realizarán los experimentos que deben cumplir los siguientes objetivos:

- **Objetivo 1:** Confirmar que la señal transmitida se recibe de forma correcta.
  - *Ejemplo de experimento.* Almacenaje y ejecución (Simultaneous record and playback) de una señal multiportadora (per ejemplo 5GNR) generada previamente con un ancho de banda de 20 MHz i duración de 5ms.
- **Objetivo 2:** Confirmar que la señal transmitida por antenas en módulos separados se transmiten síncronamente en el dominio temporal.
  - *Ejemplo de experimento.* Generar múltiples señales piloto (1 por antena) para transmitir desde dos módulos diferentes (8 antenas en cada módulo). Realizar la transmisión inalámbrica y recibir la señal por 2 antenas (por ejemplo con la SDR-FGPA destinada a trabajar como UE). Revisar la señal almacenada de forma offline i realizar la estimación de canal y estimación del error de frecuencia entre antenas transmisoras que permita afirmar que las señales han sido transmitidas en el mismo instante temporal y que son recibidos al mismo instante temporal sin errores de frecuencia. Un ejemplo similar si puede encontrar en <https://es.mathworks.com/help/5g/ug/5g-nr-waveform-capture-and-analysis-using-software-defined-radio.html>
- **Objetivo 3:** Confirmar que no existe error de frecuencia entre elementos receptores presentes en un mismo módulo.





- *Ejemplo de experimento.* Generar señal senoidal desde una antena transmisora y realizar la transmisión inalámbrica, almacenando la señal recibida en 16 antenas receptoras. Realizar el procesamiento offline de la señal para estimar que frecuencia se recibe en cada uno de los elementos. Un ejemplo similar se puede encontrar en <https://es.mathworks.com/help/supportpkg/usrpradio/ug/frequency-offset-calibration-receiver-with-usrp-r-hardware.html>

Como aspectos que se valoraran en los **criterios subjetivos** según la sección B1 del anexo 3 del PCAP y que se incluyen en el **sobre 2** serían los siguientes:

- Posibilidad de validar una transmisión multi-usuario similar a la propuesta en <https://es.mathworks.com/help/supportpkg/usrpradio/ug/multi-user-transmit-beamforming-with-usrp-r-hardware.html>
- Disponibilidad para interactuar con el código fuente utilizado para las validaciones y generar nuevos experimentos, por ejemplo, a través de algún tipo de licenciamiento.
- Nivel de detalle de los experimentos.

## ANEXO 7

### Memoria

A continuación, se presenta las secciones que han de aparecer en la memoria técnica y como se evaluarán:

- 1.- Introducción (máximo 1 página)
- 2.- Descripción de la arquitectura (máximo 9 páginas) [35%]
  - 2.1 *Definición de módulos (ver definición Anexo 1)*
  - 2.2 *Arquitectura para conseguir el caso de uso: XL-MIMO*
  - 2.3 *Arquitectura para conseguir el caso de uso: Múltiples BS*
- 3.- Matriz de cumplimiento de requisitos (máximo 4 páginas) [15%]
  - 3.1 *SDR-FPGA*
  - 3.2 *Referencia de tiempo*
  - 3.3 *Servidor*
  - 3.4 *Rack*
4. Elementos de software (máximo 1 página) [10%]
5. Definición de los experimentos de validación (máximo 5 páginas) [20%]
6. Documentación (máximo 1 página) [10%]
7. Plan de trabajo (máximo 2 páginas) [10%]
8. Experiencia en proyectos similares (máximo 1 página) [5%]