

# Informe II

## Informe de la situación actual de los requerimientos de transmisión de datos y la estimación de la demanda prospectiva de consumo de datos para zonas agrícolas.

Licitación ID 6606-25-LQ16

Subsecretaría de Telecomunicaciones- 21 de marzo, 2017

## Control del Documento

Acción	Nombre	Fecha	Firma Digital
Escrito por:	Rafael Sotomayor B.	21-marzo -2017	
Escrito por:	Carlos Bottner	21-marzo -2017	
Escrito por:	Constanza Hojas	21-marzo -2017	
Escrito por:	Alejandra Svriz	21-marzo -2017	
Verificado por:	Alejandra Svriz	21-marzo -2017	
Verificado por:	Fernando Jara	21-marzo -2017	
Aprobado por:	Rafael Sotomayor B.	21-marzo -2017	

## Tabla de Contenidos

Resumen .....	6
ETAPA 3: Dimensionamiento de Requerimientos de Infraestructura de Telecomunicaciones en un Horizonte de 5 a 10 años. ....	9
Capítulo 1: Especificaciones de requerimientos de infraestructura de telecomunicaciones .....	9
1.1 Descripción de Tecnologías IoT viables para AP .....	9
1.2 Oportunidad para el desarrollo tecnológico de Chile .....	14
1.3. Capacidad de la estación base IoT .....	16
Capítulo 2. Requerimientos de infraestructura de telecomunicaciones generales. ....	18
2.1 Tipo de espectro a utilizar .....	18
2.2 Ancho de banda y bandas a utilizar .....	18
2.3 Requerimientos de calidad de servicios.....	19
Etapa 4: Determinación de la Infraestructura de telecomunicaciones requerida para la digitalización de los procesos agrícolas en general, así como el análisis y propuesta de soluciones IoT Aplicables en la fruticultura. ....	21
Capítulo 1: Determinación de la infraestructura de telecomunicaciones requerida para la digitalización de los procesos de agricultura de precisión. ....	21
1.1. Línea Base para las IoT para la agricultura.....	21
1.2. Digitalización de procesos agrícolas de precisión a nivel de UMA .....	24
1.3. Metodología de planificación de redes de acceso.....	25
1.3.1 Metodología aplicada según tipo de terreno. ....	26
1.3.2. Costos de la infraestructura .....	36
Capítulo 2: Análisis y propuesta de soluciones IoT aplicables a la fruticultura y propuesta de estándares de comunicación para redes y sensores. ....	42
2.1 Aplicaciones actuales de IoT, tanto nacionales, como internacionales aplicadas a la fruticultura. ...	42
2.2. Estudios comparados entre soluciones de otros países, ver factibilidad de ser replicados en Chile, analizando todo el ecosistema institucional.....	45
2.3. Desafíos que enfrenta el país en materia de desarrollo de tecnologías IoT y las brechas existentes	46

---

2.4 Propuesta de soluciones IoT aplicables en la fruticultura .....	48
2.5. Aspectos tecnológicos que deben ser abordados para una buena implementación de las soluciones IoT para fruticultura. ....	49
Los aspectos tecnológicos que deben ser abordados para una buena implementación de soluciones IoT para la fruticultura se describen a continuación:.....	49
2.6. Estándares de comunicación para redes de sensores .....	50
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>52</b>
<b>Anexo 1 .....</b>	<b>53</b>
<b>A.1 Estado del arte de las tecnologías asociadas a IoT/M2M .....</b>	<b>53</b>

## Lista de Ilustraciones

<b>Ilustración 1: Descripción de componentes de un Sensor IoT y un Actuador IoT</b> .....	10
<b>Ilustración 2: Elementos que intervienen en una comunicación IoT genérica</b> .....	11
<b>Ilustración 3: Ejemplo de cobertura LoRa complementando a la cobertura 3GPP estándar</b> ..	15
<b>Ilustración 4: Invitación al taller de Sistema de observación del océano de apoyo a la acuicultura</b> .....	17
<b>Ilustración 5: Diagrama de comunicación entre dispositivos sensores y gateway</b> .....	21
<b>Ilustración 6: Diseño de red Mesh</b> .....	22
<b>Ilustración 7: Descripción de componentes de un dispositivo sensor/actuador con tecnología XBee</b> .....	23
<b>Ilustración 8: Gateway basado en dispositivo con sistema operativo Linux</b> .....	24
<b>Ilustración 9: Área de cobertura sobre superficie caracterizada como “cultivo en ladera”</b> ...	29
<b>Ilustración 10: Área de cobertura sobre superficie caracterizada como “terreno plano”</b> .....	29
<b>Ilustración 11: Área de cobertura en ladera. UMAs a 4 Km de distancia</b> .....	31
<b>Ilustración 12: Área de cobertura en terreno plano. UMAs a 4 Km de distancia</b> .....	31
<b>Ilustración 13: Área de cobertura en terreno plano. UMAs a 5 Km de distancia</b> .....	32
<b>Ilustración 14: Representación del trazado de la TNIT, Sitios y punto central de las UMAs</b> ..	37
<b>Ilustración 15: UMAs que quedan fuera de cobertura, en general, y fuera de cobertura 4G, en particular</b> .....	38
<b>Ilustración 16: “roadmap” propuesto para soluciones IoT</b> .....	43
<b>Ilustración 17: Cobertura 700 MHz</b> .....	50
<b>Ilustración 18: Cobertura 450 MHz</b> .....	50
<b>Ilustración 19: Predicción del número de “cosas” que estarán conectadas para el año 2020</b> .....	53
<b>Ilustración 20: Comparación del Alcance vs Tasa de transmisión de las principales tecnologías IoT</b> .....	62

## Lista de Tablas

<b>Tabla 1: Exportación de almendras temporada 2015 – 2016</b> .....	26
<b>Tabla 2: Exportación de paltas y consumo nacional, Temporada 2015/16 y 2016/17</b> .....	27
<b>Tabla 3: Superficie de cultivo en ladera</b> .....	27
<b>Tabla 4: Distancia entre UMAs por región</b> .....	30
<b>Tabla 5: Distancia entre UMAs por región (nueva agrupación)</b> .....	33
<b>Tabla 6: Caracterización de las UMAs de acuerdo a sus requerimientos de est. base IoT</b> ..	33
<b>Tabla 7: Número de estaciones base IoT por región</b> .....	34
<b>Tabla 8: Throughput promedio por UMA por región en horizonte de 5 años</b> .....	35
<b>Tabla 9: Throughput promedio por UMA por región en horizonte de 10 años</b> .....	35
<b>Tabla 10: Costos de infraestructura y montaje de estación base LTE</b> .....	39
<b>Tabla 11: Costos de infraestructura y montaje de estación base LoRa</b> .....	39
<b>Tabla 12: Costos de infraestructura IoT 100% LoRa</b> .....	40
<b>Tabla 13: Costos de infraestructura IoT 100% NB-IoT</b> .....	41
<b>Tabla 14: Costos de infraestructura necesaria para IoT + TS + STR</b> .....	41

<b>Tabla 16: Características técnicas de LoRa</b>	55
<b>Tabla 17: Características técnicas de SigFox</b>	56
<b>Tabla 18: Características técnicas de RPMA</b>	57
<b>Tabla 19: Comparación del alcance indoor y la capacidad de las tecnologías IoT</b>	62
<b>Tabla 20: Comparación de rendimiento SigFox vs NB-IoT</b>	63
<b>Tabla 21: Comparación de cobertura uplink SigFox vs NB-IoT</b>	63
<b>Tabla 22: Comparación de rendimiento LoRa vs NB-IoT</b>	63
<b>Tabla 23: Comparación de cobertura uplink LoRa vs NB-IoT</b>	64
<b>Tabla 24: Lista de operadores en etapa de prueba o despliegues de NB-IoT</b>	68

## Lista de Abreviaturas y Siglas

**AP:** Agricultura de precisión

**GSA:** Global Mobile Suppliers Association

**LPWA:** Low Power, Wide Area

**LPWAN:** Low Power, Wide Area Networks (Redes de amplia cobertura y baja potencia)

**UNB:** Ultra Narrow Band

**BPSK:** Binary Phase-Shift Keying

**3GPP:** 3rd Generation Partnership Project

**LoRa:** Long Range Radio (Tecnología abierta IoT).

**LoRaWAN:** Capas de red y telecomunicaciones de la tecnología LoRa.

**EC-GSM-IoT:** Extended coverage GSM IoT

**RPMA:** Random Phase Multiple Access

**LTE:** Long Term Evolution (4G)

**LTE-MTC:** Machine Type Communications para LTE

**NB-IoT:** Narrowband-IoT

**BPSK:** Binary Phase-Shift Keying

**MSK:** Minimum-Shift Keying

**IPv6:** Protocolo de Internet versión 6

**SNR:** Signal to Noise Ratio

**PA:** Power Amplification

**PSM:** Power Saving Mode

**GUI:** Graphical user interface

**PLC:** Programmable Logic Controller. Computador industrial para control de procesos.

**RSRP:** Potencia Recibida de la Señal de Referencia.

**SPS:** Programación semi persistente

**LBT:** Listen Before Transmit. Oír antes de transmitir.

**I2c:** Comunicación serial de datos disponible en microcontroladores.

**UL:** uplink

**DL:** Down link

**RPMA:** Random Phase Multiple Access, Tecnología de acceso al medio de Ingenu.

## Definiciones

**Módulo transceptor:** Dispositivo que se encarga de realizar funciones de recepción de una comunicación, contando con un circuito eléctrico que permite un procesamiento para también realizar la transmisión de esta información, sin importar su diseño o formato.

**Backhaul:** Es un enlace de interconexión entre redes de datos o redes de telefonía móvil (celular). Pueden ser llevados a cabo utilizando conexiones de baja, media o alta velocidad y por medio de tecnologías alámbricas o inalámbricas (wireless).

**Datos de back-end:** Es la parte que procesa la entrada de datos que se efectuó desde el front-end es decir, son los procesos que utilizan con sus respectivos sistemas para resolver las peticiones de los usuarios. De esta manera, en manera conjunta el front-end y el back-end interactúan en un software para resolver las necesidades de los usuarios.

**Controlador PID:** Es un mecanismo de control por realimentación, ampliamente usado en sistemas de control industrial. Calcula la desviación o error entre un valor medido y un valor deseado, y comanda a un actuador para que corrija esta desviación.

**Semiduplex:** En inglés half-duplex— Es un modo de envío de información que es bidireccional pero no simultáneo.

**LBT:** Técnica usada en transmisiones sobre espectro compartido para evitar la interferencia.

---

## Resumen

En este informe se describe el dimensionamiento de la infraestructura de telecomunicaciones en un horizonte de 5 a 10 años por la introducción de tecnologías digitales en los procesos agrícolas, tomando en cuenta que los requerimientos en la demanda de datos para el sector agrícola nacional se dividen en IoT, transaccionales y de “streaming”. Los requerimientos de comunicación IoT son completamente diferentes a las demás aplicaciones, tales como, datos transaccionales generados por aplicaciones de gestión o sistemas de transmisión de voz y video.

La investigación indica que el nivel de adopción de tecnología actual en el sector agrícola no supera el 1%. Este dato, se presenta como una gran oportunidad para promover nuevas tecnologías en el ámbito IoT, más efectivas y a un menor costo. Una política de Estado bien dirigida podría resultar en la adopción masiva de las nuevas tecnologías en el corto plazo.

En este informe se proponen 2 tecnologías de comunicaciones IoT que son viables para la agricultura de precisión en Chile. Ambas tecnologías pueden ser complementarias.

Algunas de las nuevas tecnologías IoT, por su simplicidad y bajo costo, rompen los paradigmas tradicionales del proveedor de servicios de comunicación. Los mismos productores agrícolas podrían llevar conectividad IoT hasta localidades en las que hoy en día no existe cobertura celular de ningún tipo.

Las tecnologías IoT están en pleno desarrollo aun cuando el mercado parece estar congelado esperando a que se establezca una definición de los estándares para responder con productos en todas las áreas productivas. Esta situación genera una interesante ventana de oportunidad para que Chile se convierta en el proveedor mundial de dispositivos IoT para la agricultura de precisión, apalancado por el prestigio que el país tiene en el exterior como productor frutícola.

La IoT hace posible que miles de millones de dispositivos puedan conectarse a Internet de manera simultánea. Actualmente, a nivel mundial, se están alcanzando 10 mil millones de conexiones de voz y de banda ancha, en tanto que, de acuerdo a expectativas de GSA, se esperan 75 mil millones de “cosas” conectadas para 2025.

Las redes de datos que hacen y harán posible la proliferación de aplicaciones IoT se denominan LPWA (Low Power, Wide Area), sigla que identifica dos de las características fundamentales de las tecnologías de comunicación IoT: Baja Potencia y Amplia Cobertura. Se puede afirmar que sin LPWA no es posible generar aplicaciones IoT.

En la actualidad, existen soluciones IoT que se encuentran en distintos niveles de desarrollo, siendo las más difundidas a nivel mundial: SigFox y LoRa (ambas se desenvuelven dentro de espectro compartido). La más reciente tecnología IoT corresponde a la propuesta por el 3GPP (en espectro licenciado), llamada NB-IoT (Narrow Band IoT).

Con el objetivo de dar una solución a los requerimientos de la agricultura de precisión (AP), este estudio ha permitido llegar a concluir que, independientemente de la qué tan lejos o qué tan profundo pueda llegar la cobertura NB-IoT en el país, siempre habrá localidades agrícolas que quedarán fuera de su cobertura. Para eliminar esta brecha en el corto y mediano plazo, se puede

complementar la cobertura NB-IoT con la cobertura de tecnologías en espectro compartido, particularmente, con tecnología LoRa, la que, de acuerdo al análisis realizado, resulta ser la más abierta.

Se recomienda entonces, permitir y promover el uso de espectro licenciado (Tecnología NB-IoT), así como, de espectro compartido (tecnología LoRa), especialmente en aquellas localidades agrícolas en donde la tecnología NB-IoT no esté disponible.

Para la agricultura chilena se espera la incorporación de aproximadamente 7 millones de sensores en un plazo de 20 años. Actualmente, 178 UMAs no cuentan con cobertura 3GPP de ningún tipo y 440 UMAs no cuentan con cobertura LTE; por lo tanto, en el corto plazo de debería proveer a estas UMAs con cobertura LPWA en espectro compartido, por su bajo costo y facilidad de despliegue.

La recomendación para el desarrollo de este sector es que el Estado apoye programas de mejoramiento del capital humano que permita capacitar a las asociaciones y cooperativas agrícolas comunales, con el fin de que los mismos productores agrícolas instalen sus propias estaciones base con tecnología LoRa. Por otro lado, promover en las universidades, colegios y empresas privadas chilenas el desarrollo de tecnología LoRa ad-hoc a las necesidades locales, ya sea, dispositivos sensores, dispositivos actuadores, gateways o estaciones base, sin que se deba esperar de que los proveedores internacionales produzcan tecnología ad-hoc para la agricultura de precisión nacional.

El costo asociado a la adquisición e instalación de una estación base LoRa es una fracción muy pequeña del costo asociado a la adquisición e instalación de una estación base 4G. Una estación base LoRa tiene un peso aproximado de 2Kg; así como, un costo FOB de alrededor de USD\$1000 por unidad.

Fomentar que en Chile se desarrolle tecnología ad-hoc para los requerimientos de la agricultura nacional (desarrollo de sensores, actuadores, plataformas de datos, aplicaciones, etc.), siendo Chile un país reconocido a nivel mundial por sus exportaciones frutícolas, podría significar un gran avance en el desarrollo de tecnología de punta, con potencial de exportación hacia un mercado con gigantesco potencial de crecimiento mundial. En este sentido, el tiempo es un factor fundamental para el éxito (o fracaso) de una política de fomento que vaya en la dirección señalada. No se puede dejar pasar el tiempo. La oportunidad es ahora.

Para propiciar el desarrollo de una industria de dispositivos IoT para la agricultura, se requiere que se incorpore en el ecosistema agrícola una unidad funcional y operativa que cuente, al menos, con los siguientes elementos:

- a. Usuarios: Los productores agrícolas nacionales e internacionales.
- b. Instituciones dispuestas a desarrollar dispositivos con tecnología IoT de bajo costo y alta calidad.
- c. Instituciones calificadas para garantizar y certificar la calidad de los productos fabricados.
- d. Incentivos para promover proyectos o programas de desarrollo de tecnologías IoT de bajo costo y alta calidad.

- e. Centros productivos, estatales o privados, altamente tecnificados que permitan, por una parte, demostrar las ventajas del uso de tecnificación IoT y, por otra parte, servir de laboratorios para la validación de las tecnologías.

La propuesta mencionada proyecta una hoja de ruta (“roadmap”) que proyecta la incorporación de sensores correlacionada con la evolución de las comunicaciones y dispositivos sensores en él largo plazo.

## ETAPA 3: Dimensionamiento de Requerimientos de Infraestructura de Telecomunicaciones en un Horizonte de 5 a 10 años.

En esta etapa se especifica el dimensionamiento de requerimientos de infraestructura de telecomunicaciones generada en un horizonte de 5 a 10 años por la introducción de tecnologías digitales en los procesos agrícolas.

Tal como se ha indicado en etapas anteriores de este estudio, los requerimientos en la demanda de datos para el sector agrícola nacional se dividen en requerimientos IoT, transaccionales y de “streaming”.

- Internet de las Cosas (IoT)
- Internet Transaccional (TS)
- Internet Streaming (STR)

### Capítulo 1: Especificaciones de requerimientos de infraestructura de telecomunicaciones

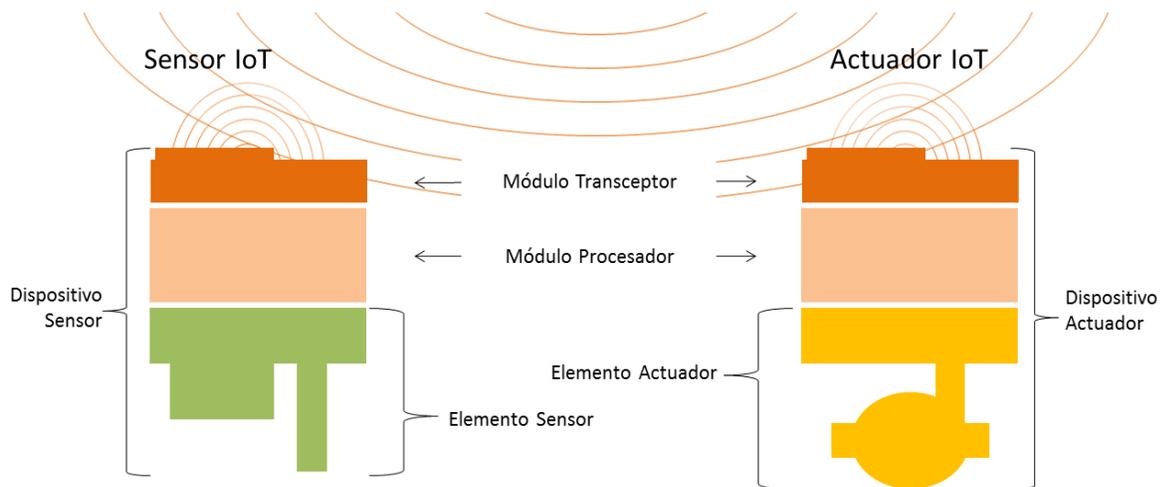
Para desarrollar este capítulo, es necesario hacer una introducción de las tecnologías IoT viables para la AP y describir los componentes y elementos que forman parte de estas tecnologías.

#### 1.1 Descripción de Tecnologías IoT viables para AP

Con el fin de estandarizar el lenguaje que se utilizará en este documento, en la Ilustración 1 se muestran, de manera genérica, los objetos que se denominarán dispositivos IoT y sus componentes, los que se describen a continuación:

- **Dispositivo sensor:** Se trata de un objeto capaz de convertir una magnitud física en otra magnitud, que suele ser una señal eléctrica. La señal eléctrica obtenida puede ser procesada para transformarla en un dato, usualmente en formato digital, el que será transmitido a través de una red de comunicaciones hacia otro dispositivo que se encargará de almacenar o procesar el dato con algún fin en particular. Por ejemplo, un dispositivo capaz de leer la temperatura de un proceso y transmitir esta información a un servidor central.
- **Dispositivo actuador:** Se trata de un objeto capaz de recibir un dato a través de una red de comunicaciones, transformar ese dato en energía capaz de activar un proceso con la finalidad de generar un efecto sobre un sistema físico. Por ejemplo, un motor básico que se puede utilizar para abrir o cerrar una válvula, o una resistencia que genera calor de manera controlada.
- **Elemento sensor:** La parte de un dispositivo sensor con la capacidad de transformar una magnitud física, como temperatura, humedad, peso, luz, dimensión, etc., en una magnitud eléctrica.

- **Elemento actuador:** La parte de un dispositivo actuador capaz de transformar una magnitud eléctrica en una variable física, como por ejemplo: movimiento rotatorio, apertura y cierre, luz, sonido, calor, etc.
- **Módulo procesador:** circuito electrónico con la capacidad de transformar una magnitud eléctrica en un dato binario. El módulo procesador, algunas veces, debe transformar, encapsular y/o encriptar el dato obtenido para que esté en condiciones de ser transmitido a su destino dentro de una red de datos. Finalmente, el módulo procesador se encarga de comunicar localmente el dato a un módulo de comunicaciones especializado.
- **Módulo transceptor:** Se trata de un circuito electrónico que realiza funciones, tanto de envío, como de recepción de señales, empleando elementos comunes del circuito para ambas funciones. Como algunos elementos del circuito se emplean tanto para el envío, como para la recepción, un módulo transceptor sólo puede ser semiduplex; esto significa que puede enviar señales en ambos sentidos, pero no de forma simultánea.



**Ilustración 1: Descripción de componentes de un Sensor IoT y un Actuador IoT**  
Fuente: Elaboración propia, 2016

La IoT hace posible que miles de millones de dispositivos puedan conectarse a Internet de manera simultánea. Para sensibilizar esta afirmación, se debe tener en consideración que actualmente, a nivel mundial, se están alcanzando más de 10 mil millones de conexiones de voz y de banda ancha, en tanto que, de acuerdo a expectativas de GSA, se esperan 75 mil millones de “cosas” conectadas para 2025.

La agricultura chilena también será parte de esta evolución tecnológica, ya que se espera que existan aproximadamente 2 millones de sensores conectados para el 2025 y 7 millones para el 2037.

Las redes de datos que hacen y harán posible la proliferación de aplicaciones IoT se denominan

LPWA (Low Power, Wide Area), sigla que identifica dos de las características fundamentales de las tecnologías de comunicación IoT: Baja Potencia y Amplia Cobertura. Por esta razón, muchas veces se intercambia el concepto de tecnologías IoT por el de tecnologías LPWA. Tal es la importancia de esta asociación, que se puede afirmar que **sin LPWA no es posible generar aplicaciones IoT**.

En la ilustración 2, se observa una representación de los elementos que intervienen en una comunicación IoT. Para su diferenciación, se utiliza el color naranja para describir los elementos que posibilitan la comunicación directa entre las “cosas” e Internet; en tanto que, en color celeste, aquellos elementos comunes a todo tipo de tecnologías, que posibilitan el ingreso de los datos a Internet.

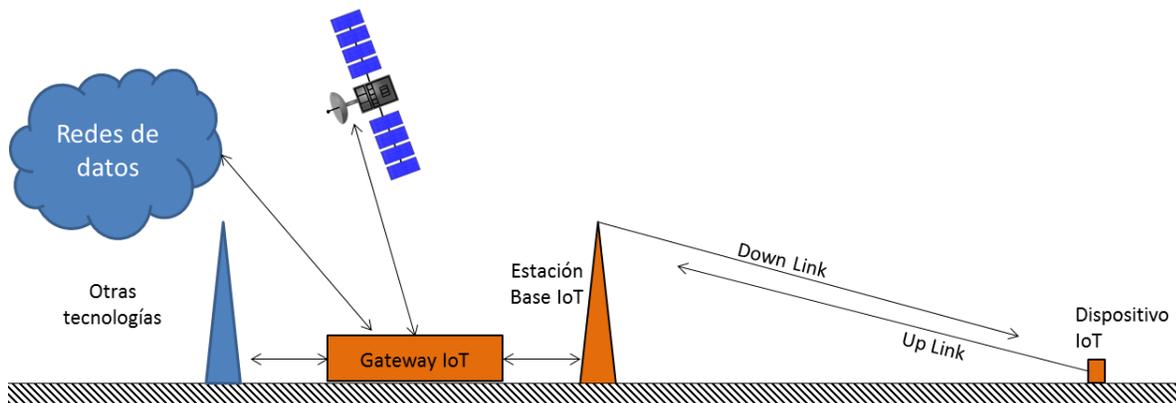


Ilustración 2: Elementos que intervienen en una comunicación IoT genérica

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Es necesario enfatizar que los requerimientos de comunicación IoT son completamente diferentes a los de otras aplicaciones, tales como, voz, datos transaccionales o de streaming. Por ejemplo, una típica transmisión desde un dispositivo IoT puede contener 12 bytes de datos y ser transmitida a una tasa de 100 bits/s, pudiendo tardar 6 segundos en completar el envío de un solo mensaje. Así mismo, la latencia de la red no representa un problema para más del 80% de las aplicaciones IoT.

En el caso del control automático de tipo ON-OFF, son tolerables latencias de unos cuantos segundos. Por el momento, y en el corto plazo, no se visualiza que procesos de control automático más complejos, tales como, por ejemplo, PID<sup>1</sup>, se puedan llevar a cabo desde la Nube, ya que las latencias actuales impactarían directamente en el resultado del proceso. Sin embargo, compañías especializadas en el ámbito de las comunicaciones de datos<sup>2</sup>, ya están trabajando en el desarrollo de computadores industriales (PLC) que permitan este tipo de control en el futuro.

Adicionalmente, el número de accesos IoT no presenta el mismo comportamiento que otro tipo de comunicaciones: En términos generales, el uso de la red de datos por parte de las cosas tendrá un

<sup>1</sup> PID se refiere a un tipo de control automático de lazo cerrado (realimentación) que calcula la desviación o error entre un valor medido y un valor deseado, y comanda a un actuador para que corrija esta desviación.

<sup>2</sup> En Chile, la Universidad Santa María trabaja en un prototipo de controlador de procesos industriales en la nube, basado en un router inteligente de la empresa Cisco.

perfil plano, sin que exista una hora particularmente cargada (hora peak) dentro del día. La excepción a esta regla podría darse en el caso específico de la IoT de los automóviles.

En la actualidad, existe un gran número de soluciones IoT que se encuentran en distintos niveles de desarrollo, siendo las más difundidas a nivel mundial: SigFox y LoRa (ambas se desenvuelven dentro de espectro compartido). La más reciente tecnología IoT corresponde a la propuesta por el 3GPP (en espectro licenciado), llamada NB-IoT (Narrow Band IoT), cuya especificación quedó disponible para aprobación en junio de 2016.

La principal diferencia entre SigFox y LoRa radica en que la primera es una tecnología propietaria cerrada, perteneciente a la compañía francesa del mismo nombre, la que se define a sí misma como un operador de redes de datos IoT; en tanto que la segunda, corresponde a una tecnología propietaria abierta, en la que cualquiera de los miembros que conforman la alianza (Alianza LoRa) puede implementar soluciones (dispositivos, estaciones base o gateways) en base a las especificaciones técnicas de la tecnología, disponibles en Internet.

Cabe destacar, que cualquier persona o institución puede convertirse en miembro de la Alianza LoRa, y en la actualidad existe un gran número de fabricantes de equipos y software conformantes con la especificación LoRa y LoRaWAN, respectivamente. Hasta hace algunos meses, al momento de iniciar este estudio, existía un único fabricante de módulos transceptores, la empresa Semtech, propietaria de las patentes de la tecnología LoRa; sin embargo, la alianza LoRa respondió a las críticas, que en este sentido se le hacían, poniendo en práctica un agresivo plan de certificación de fabricantes de todo el mundo, contando hoy en día con 4 nuevos fabricantes de radios, con productos disponibles comercialmente y 7 más en proceso de certificación.

#### **Productos comerciales:**

- <http://www.microchip.com/wwwproducts/en/RN2483>
- <https://wireless-solutions.de/products/radiomodules/im880b-l>
- <https://www.lairdtech.com/products/rm1xx-lora-modules>
- <http://www.miromico.ch/fmlr.html>

#### **Empresas en vías de certificación de transceptores LoRa:**

- Murata Electronics
- MultiTech
- Kolff Computer Supplies
- GlobalSat
- Gemtek Technology Co., Ltd.
- Embit srl
- Beijing ManThink Technology

Desde el punto de vista técnico, se debe mencionar que la tecnología SigFox está diseñada para la transmisión de mensajes hacia su estación base y extremadamente limitada en la recepción de mensajes desde su estación base, los que se usan principalmente para modificar los parámetros de los dispositivos, no pudiendo recibir más de un mensaje por día. Adicionalmente, SigFox tiene tasas de transmisión de datos muy bajas (~100 bps), comparada con LoRa u otras tecnologías LPWA, esto provoca que el número máximo de mensajes que pueda transmitir el dispositivo esté limitado a 144 mensajes al día.

LoRa, por su parte, está diseñada, tanto para transmitir mensajes a su estación base, como para recibir igual número de mensajes desde la estación base. Sus tasas de transmisión son bastante mayores que las de SixFox (37.5 Kbps). Adicionalmente, LoRaWAN permite autenticar a sus dispositivos suscriptores y encriptar los mensajes, mejorando la seguridad de la red y los datos.

La principal similitud entre SigFox y LoRa es que ambas tecnologías se han desarrollado dentro de los márgenes del espectro compartido y, por lo tanto, han creado estrategias exitosas para manejar la interferencia proveniente de otros sistemas que utilizan las mismas bandas del espectro. Las estrategias, eso sí, son muy diferentes entre sí.

SigFox, LoRa y NB-IoT quedan bajo el alero de lo que se denomina LPWA (Redes de amplia cobertura y bajo consumo), que cumplen con las siguientes características:

1. **Largo Alcance:** Los dispositivos pueden ubicarse hasta 10 kilómetros o más de la estación base, dependiendo de la tecnología utilizada y topografía de la zona geográfica de despliegue.
2. **Bajas tasas de transferencia de datos:** Menos de 5.000 bits por segundo. A menudo, sólo 20-256 bytes por mensaje.
3. **Bajo consumo de energía:** Esto permite que la batería dure entre 5 y 10 años.
4. **Red en topología estrella:** Los dispositivos en una topología estrella se comunican directamente a los puntos de acceso (estaciones base), a diferencia de otras topologías, como Mesh, por ejemplo, en la que cada dispositivo se puede comunicar con los dispositivos vecinos y éstos, a su vez, con dispositivos vecinos, para llegar, después de un número finito de “saltos”, hasta un punto de acceso.

En el estudio se hizo evidente que LoRa, al observar la experiencia del sistema SigFox, pudo obtener ventajas de las debilidades del último, creando un sistema más robusto y con mayor funcionalidad. De igual forma, 3GPP aprovechó la experiencia de otras redes LPWA y creó una especificación muy robusta y confiable (NB-IoT), precisamente en aquellos ámbitos en los que SigFox, LoRa y otras tecnologías presentaban algunas deficiencias. Así mismo, la oferta comercial de 3GPP parece poner énfasis en diferenciarse específicamente de las ofertas de SigFox y LoRa.

Entonces, desde el punto de vista de la confiabilidad y robustez de las soluciones, el mejor de los sistemas es, sin duda, NB-IoT (al menos en su especificación). Esto, principalmente debido a que NB-IoT está basado en los estándares con los que ya cuenta 4G. En el ámbito del espectro compartido, LoRa cuenta con mejores características técnicas que SigFox y mayor número de funcionalidades. Así mismo, el modelo de negocios de SigFox limita el tipo de aplicaciones y número de actores que pueden participar en el ecosistema IoT.

Detalles técnicos y cuadros comparativos de las 3 tecnologías mencionadas, así como de las tecnologías LPWA, en general, se encuentran disponibles en el Anexo N °1: “IoT Estado del Arte - Tendencia Mundial y Nacional”, que forma parte de este informe.

## 1.2 Oportunidad para el desarrollo tecnológico de Chile

Con el objetivo de dar una solución a los requerimientos de la agricultura de precisión (AP), este estudio ha permitido llegar a las siguientes reflexiones y correspondientes conclusiones:

1. Es un hecho que las redes SigFox y RPMA de Ingenu empezarán a operar en Chile y otros países de Latinoamérica a partir de 2017 [Anexo 1].
2. Desde el punto de vista técnico, SigFox es una tecnología limitada técnicamente y limitada en su funcionalidad. Fomentar el uso de SigFox en la agricultura no es el camino correcto.
3. Por su parte, RPMA<sup>3</sup>, por su modelo de negocios, limita el número de proveedores de dispositivos que podrían aportar a la AP.
4. También es un hecho que en Chile no estarán disponibles tecnologías IoT estándares (impulsadas por 3GPP), sino hasta el año 2018, cuando menos.
5. Aun si estuviese disponible desde 2018, no es muy probable que NB-IoT cuente con cobertura para todas las localidades productivas del territorio nacional.
6. Hoy en día no existen dispositivos comerciales con tecnología NB-IoT específico para la agricultura.
7. Si se espera a que la cobertura NB-IoT alcance a todo el territorio agrícola nacional, por un lado, o se espera a que algún país industrializado fabrique dispositivos IoT apropiados a los requerimientos agrícolas nacionales, es posible que se esté dejando pasar una gran oportunidad.
8. No importa qué tan lejos o qué tan profundo pueda llegar la cobertura NB-IoT en el país, siempre habrá localidades agrícolas que quedarán fuera de su cobertura. (Ver Ilustración 3).

---

<sup>3</sup> RPMA (Random Phase Multiple Acces) es la tecnología LPWA propuesta por Ingenu. Ingenu tiene un modelo de negocios muy parecido al de SigFox: Muy pocos actores se presentan como proveedores que se especializan en segmentos específicos del mercado IoT. No es una tecnología abierta.

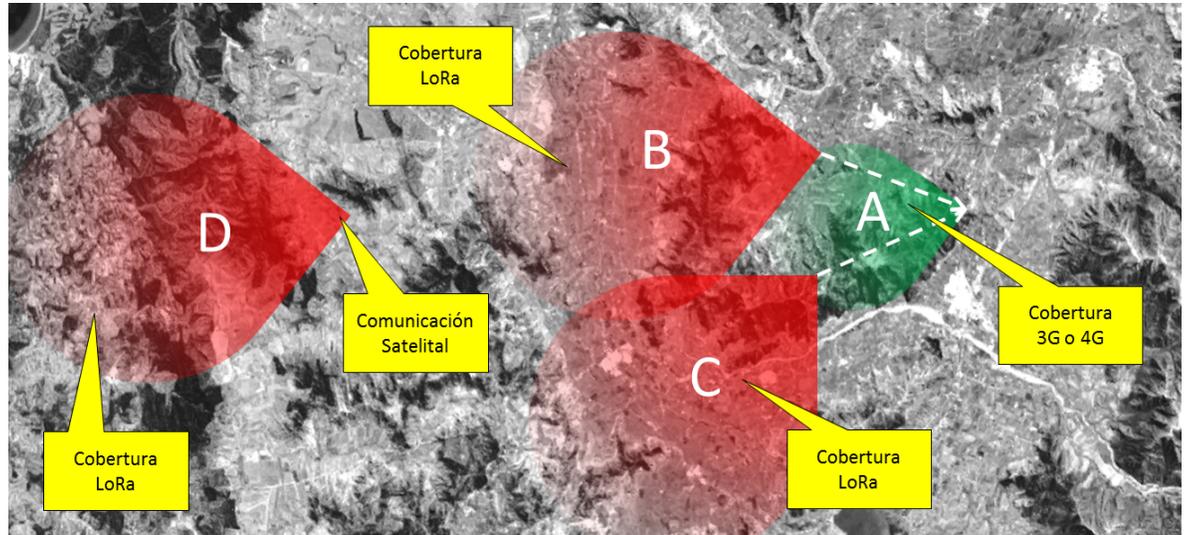


Ilustración 3: Ejemplo de cobertura LoRa complementando a la cobertura 3GPP estándar  
Fuente: Elaboración propia, 2016

En la ilustración 3:

“A”: Representa (de manera simbólica) la cobertura de la tecnología 3GPP (3G o 4G).

“B” y “C”: Representan la cobertura LoRa para 2 estaciones base con respectivos gateways 3GPP, lo que les permite conectarse a Internet a través de las redes 3G o 4G disponibles en la región.

“D”: Representa la cobertura LoRa en zona aislada, con gateway satelital, que le permitiría conectarse a Internet.

9. Para eliminar esta brecha en el corto y mediano plazo, se puede complementar la cobertura NB-IoT con cobertura LoRa.
10. Existen muchos fabricantes de estaciones base y gateways con tecnología LoRa. LoRa es una tecnología abierta, muy madura.
11. El costo asociado a la adquisición e instalación de una estación base LoRa es una fracción muy pequeña del costo asociado a la adquisición e instalación de una estación base 4G.
12. Una estación base LoRa tiene un peso aproximado de 2Kg; así como, un costo FOB de alrededor de USD\$1000 por unidad.
13. Para la fabricación de dispositivos IoT (sensores y actuadores), el esfuerzo necesario para la integración de un módulo transceptor LoRa es equivalente al esfuerzo de integración de un módulo NB-IoT<sup>4</sup>. Por lo tanto, las habilidades desarrolladas en el primer caso se pueden

<sup>4</sup> Ambos se integran en base a protocolos seriales básicos, tales como, i2c, por ejemplo.

---

replicar para el desarrollo de dispositivos IoT con tecnología 3GPP estándar o las tecnologías que se puedan presentar como más apropiadas en el futuro.

14. El Estado debe apoyar programas de mejoramiento del capital humano que permita capacitar a las asociaciones y cooperativas agrícolas comunales, con el fin de que los mismos productores agrícolas instalen sus propias estaciones base con tecnología LoRa.
15. Se busca promover y fomentar el uso de estándares abiertos con el fin de no favorecer soluciones privativas; en la práctica, al optar por tecnologías estándar de alta complejidad y alto costo, se termina perjudicando al sector productivo.
16. Nada impide que las universidades, colegios y empresas privadas chilenas desarrollen tecnología LoRa ad-hoc a las necesidades locales, ya sea, dispositivos sensores, dispositivos actuadores, gateways o estaciones base.
17. Fomentar un desarrollo ad-hoc para los requerimientos de la agricultura nacional, siendo Chile un país reconocido a nivel mundial por sus exportaciones frutícolas, podría significar un gran avance en el desarrollo de tecnología de punta en un mercado con gigantesco potencial de crecimiento mundial. En este sentido, el tiempo es un factor fundamental para el éxito (o fracaso) de una política de fomento que vaya en la dirección señalada. No se puede dejar pasar el tiempo. La oportunidad es ahora.
18. Para propiciar el desarrollo de una industria de dispositivos IoT para la agricultura, se requiere que se incorpore en el ecosistema agrícola una unidad funcional y operativa que cuente, al menos, con los siguientes elementos:
  - a. Usuarios: Los productores agrícolas nacionales e internacionales.
  - b. Instituciones dispuestas a desarrollar dispositivos con tecnología IoT de bajo costo y alta calidad.
  - c. Instituciones calificadas para garantizar y certificar la calidad de los productos fabricados.
  - d. Incentivos para promover proyectos o programas de desarrollo de tecnologías IoT de bajo costo y alta calidad.
  - e. Centros productivos, estatales o privados, altamente tecnificados que permitan, por una parte, demostrar las ventajas del uso de tecnificación IoT y, por otra parte, servir de laboratorios para la validación de las tecnologías.

### 1.3. Capacidad de la estación base IoT

En relación al número de dispositivos IoT que pueden conectarse a una estación base, la Tabla 23 del Anexo 1 entrega una comparación de las capacidades asociadas a cada tecnología IoT, las que varían entre 65.000 y 100.000 dispositivos por celda.

Cabe destacar que cada estación base IoT es capaz de manejar, al menos, la misma cantidad de sensores que se encuentran en todo Chile en la actualidad<sup>5</sup>. Así mismo, en el escenario más

---

<sup>5</sup> "Informel-ID-606-25-LQ16", SAVTEC.

optimista que se elabora en el informe I de este estudio, la cantidad de sensores podría elevarse a alrededor de 5.000.000 en 20 años, lo que, dividido por el número total de hectáreas cultivadas en Chile (309.314 Ha), da un promedio de 16,6 sensores por hectárea.

Por lo tanto, la capacidad de cada estación base estaría sobredimensionada para la demanda en el uso de datos del sector agrícola en los próximos años. **El problema de dimensionamiento de infraestructura de digitalización IoT se simplifica, transformándose en un problema de cobertura, solamente.**

### Otras actividades económicas, mismas necesidades

El equipo consultor está también involucrado en la discusión de las bases técnicas para el reglamento de la ley 20.434 Art. 87 ter. Alerta preventiva frente amenazas al medio ambiente y la productividad acuícola. En las sesiones de trabajo se ha puesto énfasis en el sistema de telecomunicaciones que se deberá usar para obtener la lectura en tiempo real de las variables que permitirían prevenir marea roja o *bloom* de algas, por ejemplo (O2 disuelto, Temperatura, Salinidad, Turbiedad, etc.). Estas variables, al igual que en el sector agrícola, deben ser comunicadas en un ambiente de redes LPWA, es decir son variables IoT de campo, precisamente en zonas del país con escasa penetración de redes de comunicación 3G o 4G (zona de fiordos en sur del país y pequeñas localidades del norte de Chile), lo que hace atractivo el uso de la tecnología LoRa, tal como se propone para el caso agrícola.



**Samuel Hormazabal Fritz**, Director del Proyecto FIPA N° 2016 - 68 “Evaluación y análisis de los requerimientos necesarios para implementación de una red de monitoreo de las agrupaciones de concesiones de acuicultura”, junto con el Centro i-mar de la Universidad de Los Lagos y la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, tienen el agrado de invitarle a un “Taller de Expertos”, con el objetivo de discutir y analizar las directrices del:

**“Sistema de Observación del Océano de Apoyo a la Acuicultura (SOAA)”**

El taller se llevara a cabo entre las 09:00 y 12:00 hrs del día 20 de enero de 2017, en el Centro i-mar de la Universidad de Los Lagos, ubicado en Camino a Chiquihue km 6, Puerto Montt.

Dada la relevancia del taller y lo valioso de su opinión, esperamos contar con vuestra distinguida presencia.

Confirmar asistencia al 32-2274241 email [direcm@pucv.cl](mailto:direcm@pucv.cl)

**Ilustración 4: Invitación al taller de Sistema de observación del océano de apoyo a la acuicultura.**  
Fuente: PUCV, 2017

## Capítulo 2. Requerimientos de infraestructura de telecomunicaciones generales.

### 2.1 Tipo de espectro a utilizar

Por lo expuesto en la sección “Descripción de Tecnologías IoT viables para AP, se recomienda permitir y promover el uso de espectro licenciado (tecnología NB-IoT), así como, de espectro compartido (tecnología LoRa), especialmente en aquellas localidades agrícolas en donde la tecnología NB-IoT no esté disponible.

Una propuesta, que puede aportar a distintas áreas de interés económico para Chile, sería contar con una banda especial para aplicaciones IoT.

En términos generales, las frecuencias de transmisión por debajo de 1GHz, gracias a su capacidad de penetración, son más útiles que las frecuencias altas para los propósitos de las aplicaciones IoT, no sólo en la industria agrícola, sino en aplicaciones IoT en general. Un ejemplo de esto se está dando en la tecnología LoRa: originalmente sólo disponible en las bandas ISM de los 868 y 915 MHz, que actualmente están dando lugar, rápidamente, a transceptores en la banda de los 433 MHz.

El proveedor de tecnología Huawei propone destinar la banda que va desde los 380 MHz a los 410 MHz<sup>6</sup> para la comunicación entre máquinas (M2M/IoT). De ser viable, se puede extender el uso a actividades de relevancia económica y social para el país, como es el caso de la agricultura de precisión o la acuicultura, como se expuso anteriormente. Es decir, una banda compartida especialmente dirigida a la coexistencia de tecnologías IoT orientadas a actividades económicas especificadas por el ente regulador.

Para las tecnologías que pueden coexistir en espectro compartido (limitando su ciclo de trabajo o “escuchando antes de transmitir”, por ejemplo), podrían compartir una banda “licenciada” para el uso IoT. En el caso de la tecnología NB-IoT, ésta no está diseñada para trabajar sobre espectro compartido, por lo tanto, debería tratarse como un caso especial y ser asignada únicamente en zonas de exclusividad.

### 2.2 Ancho de banda y bandas a utilizar

#### Ancho de banda

Considerando los valores de la Tabla 9 (throughput en horizonte de 10 años), se pueden obtener los requerimientos de ancho de banda para IoT, TS y STR a partir de los datos asociados a la 6ta región (región con la mayor exigencia):

- Requerimientos IoT: 1.951 Kbps
- Requerimientos transaccionales: 8.332 Kbps
- Requerimientos de streaming: 68.720 Kbps

<sup>6</sup> La banda sugerida no está destinada a uso ISM por ITU-T (puntos 5.138 y 5.150 del artículo 5 de ITU-T); por lo tanto, su uso estaría sujeto a lo que disponga el organismo regulador.

Si se considera el caso IoT con la tecnología LoRa, ésta utiliza la estrategia de espectro ensanchado. Esto significa que cada bit de dato es representado por un conjunto de bits de menor duración, los que se denominan chips. La modulación de LoRa envía el flujo de chips a una velocidad igual a la del ancho de banda programado. Así, un ancho de banda de 125 KHz corresponde a una velocidad de chip de 125 kcps<sup>7</sup>. Adicionalmente, LoRa puede programar el número de chips por cada bit de dato real, llegando, en el caso extremo, a utilizar 12 chips por cada bit.

Por lo tanto, en el requerimiento IoT que se señaló anteriormente (1.951 Kbps), si se considera que cada bit estará representado por 12 chips, se obtiene un flujo de chips de 23.421 kcps (1.951x 12), lo que requiere de un ancho de banda de 23.421 KHz para un total de 383 UMAs con ancho de banda de 61,15 KHz por UMA. La tecnología LoRa, puede programar 3 anchos de banda en sus módulos transceptores: 125 KHz, 250 KHz y 500 KHz. Por lo tanto, se puede generalizar adoptando un ancho de banda para requerimientos IoT de 250 KHz.

#### Bandas a utilizar

En el punto 2.1 se sugiere destinar la banda que va desde los 380 MHz a los 410 MHz en modalidad TDD, exclusivamente para aplicaciones IoT. Tomando en consideración el cálculo de ancho de banda LoRa, esta banda podría ser otorgada en bloques de 250 KHz como mínimo.

#### Potencia de transmisión

La potencia máxima de los equipos LoRa, comercialmente disponibles, puede llegar hasta los +30dBm (1 W). Este debería ser el límite para los equipos IoT que se autoricen en Chile.

## 2.3 Requerimientos de calidad de servicios

#### Latencia

**Aplicaciones IoT:** Se pueden tolerar latencias del orden de segundos.

**Aplicaciones transaccionales (TS):** Recomendado < 100 ms

**Aplicaciones de streaming (STR):** Recomendado < 100 ms

#### Throughput mínimos

Las Tablas 8 y 9 muestran las estimaciones de throughput en horizonte de 5 y 10 años, respectivamente. Considerando los valores de la Tabla 9 (horizonte de 10 años), se tienen los siguientes requerimientos de throughput que se maximizan en la 6ta región:

- Requerimientos IoT: 1.951Kbps
- Requerimientos transaccionales: 8.332 Kbps
- Requerimientos de streaming: 68.720 Kbps

Obteniendo un Total de 78.003 Kbps.

Como se puede apreciar, los requerimientos de throughput por UMA son (78.003/383), los que son bajos. Una misma estación base pudiera dar servicio a 2 UMAs, sólo se multiplican por 2, obteniéndose.

<sup>7</sup> Kilo Chips per second

### Disponibilidad

La disponibilidad del sistema será crítica sólo en aquellas aplicaciones relacionadas con control de procesos. En la mayoría de los casos expuestos, los sistemas cuentan o contarán con almacenamiento local para realizar una estrategia de “store and forward” (almacenar y luego enviar), en el caso de la pérdida de comunicaciones con la nube. El requerimiento de almacenar y luego enviar debería ser un requerimiento en el caso en el que se fabriquen sensores ad-hoc para la AP nacional.

Para el caso de requerimientos transaccionales y de streaming, se recomienda que las exigencias de disponibilidad sean las mismas que hoy en día se exigen para comunicaciones convencionales: disponibilidad de 90% del tiempo en el 90% del área de cobertura.

### Definiciones de tecnología de transmisión del backhaul

Para todas las aplicaciones señaladas en este estudio, se requiere la transmisión y recepción de paquetes de datos; es decir, comunicación no sincrónica. Soluciones actualmente en uso para estos propósitos, serían, por ejemplo, comunicaciones a través de fibra óptica, o bien, cuando no sea posible el tendido de fibra óptica, enlaces punto a punto por microondas o UHF.

Tal como se señala, el throughput necesario para los requerimientos de la AP, aún en un horizonte de 10 años es bastante bajo, por lo que los requerimientos de backhaul son mínimos y pueden ser satisfechos, por ejemplo, con un enlace 1+1 de 7 GHz con interfaz Giga Ethernet, que cuenta con numerosos proveedores en el mercado.

## **Etapa 4: Determinación de la Infraestructura de telecomunicaciones requerida para la digitalización de los procesos agrícolas en general, así como el análisis y propuesta de soluciones IoT Aplicables en la fruticultura.**

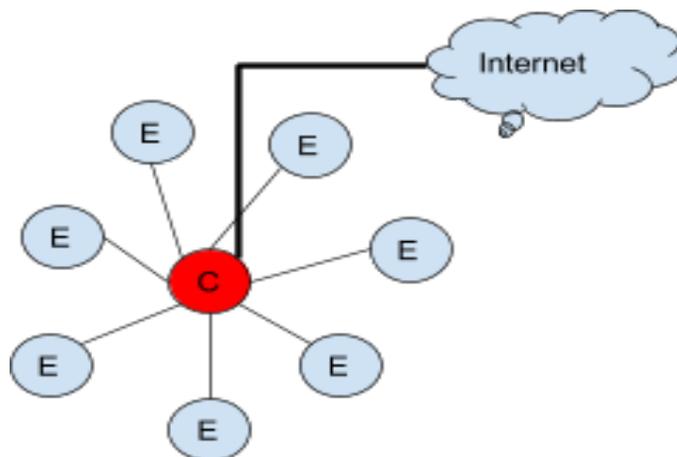
En esta etapa se realiza un análisis y propuesta de soluciones IoT aplicables en la fruticultura.

### **Capítulo 1: Determinación de la infraestructura de telecomunicaciones requerida para la digitalización de los procesos de agricultura de precisión.**

#### **1.1. Línea Base para las IoT para la agricultura.**

En la agricultura, actualmente no existen soluciones estándares para los requerimientos de transmisión de la sensorización. Para los sistemas transaccionales y de streaming las soluciones pueden adaptarse a las tendencias de consumo personal y de empresas. La IoT en la agricultura tiene la particularidad de requerir de un gran número de sensores, con transmisión de pequeños paquetes de datos en promedio cada 2 a 5 minutos, lo que en total genera cantidades del orden de los KByte (a lo más unos cuantos MBytes) diarios por hectárea con sensores instalados.

Los proveedores han desarrollado ciertas soluciones que pretenden ser una “suerte” de estándar o, mejor denominada, una línea base tecnológica para soluciones IoT para la agricultura. Las primeras soluciones se desarrollaron mediante la utilización de comunicaciones entre los sensores y la estación local de cómputo de datos (coordinador o “gateway”).



**Ilustración 5: Diagrama de comunicación entre dispositivos sensores y gateway**

En la Ilustración 5 se puede visualizar que los dispositivos (End Point) envían y reciben datos desde el coordinador y éste, a su vez, los transfiere o recibe desde Internet. El coordinador generalmente es un microcomputador con sistema operativo incorporado (generalmente Linux)

que le permita almacenar, transmitir y recibir datos desde la nube mediante una conexión a Internet, que puede ser mediante un módem 2G/3G/4G.

Esta arquitectura tiene como principal desventaja que la tecnología existente para dispositivos de comunicación tiene un costo alto y un consumo de energía que fuerza la incorporación de baterías y paneles solares de mayor tamaño, que complejiza el escalamiento.

La primera mejora a esta arquitectura fue en base a redes del tipo estrella extendida que, mediante la utilización de pasarelas, unen las redes. Con el tiempo, se implementaron sucesivas mejoras a la arquitectura de comunicaciones para finalmente llegar a la solución propuesta por la alianza Zigbee que propone un estándar de redes MESH de eficiencia energética y de costos, este diseño de red es multipunto a multipunto. Cada nodo de la red transporta el tráfico de tantos otros como sea necesario, y todos los nodos se comunican directamente entre sí.

En algún nodo donde existan las condiciones de una buena señal 2G/3G/4G se conecta el “gateway” que recibe y transmite los datos desde y hacia la nube. En la Ilustración 6 se visualiza un diseño de red MESH.

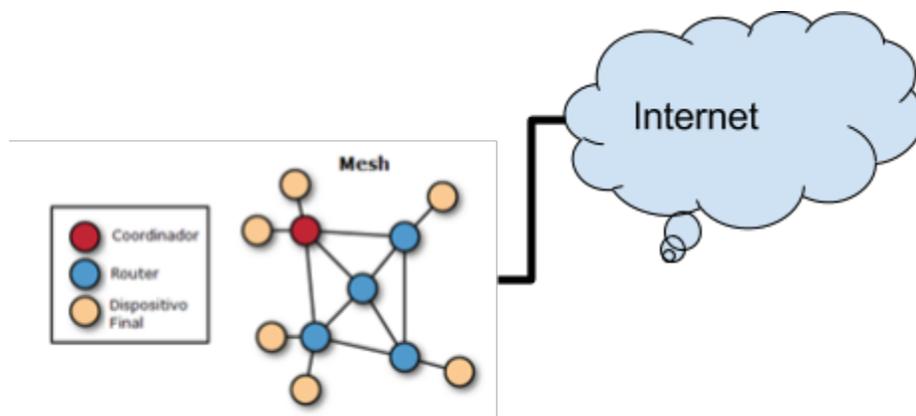
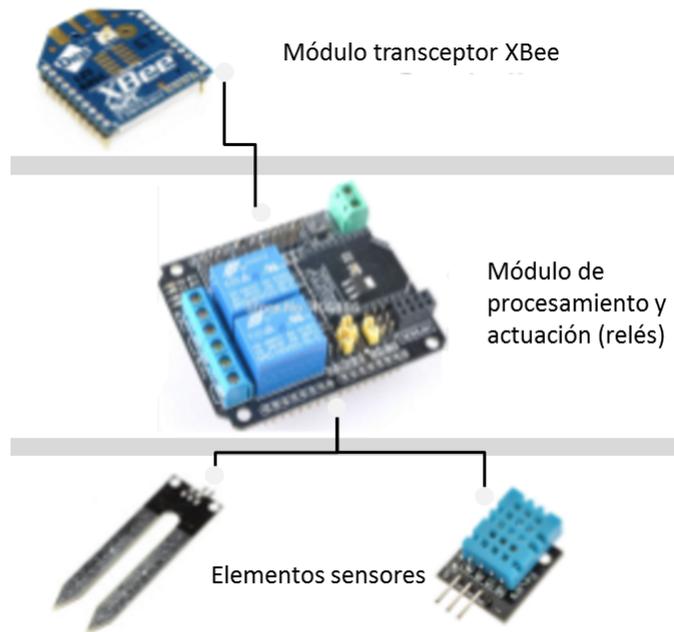


Ilustración 6: Diseño de red Mesh

Bajo esta arquitectura existen varias implementaciones. La empresa Digi, por ejemplo, comercializa uno de los dispositivos más utilizados bajo el nombre comercial XBEE que utiliza el estándar Zigbee envuelto en un “ergonómico” paquete. Este dispositivo modular, de relativo bajo consumo eléctrico, permite el envío de datos hasta 1200 metros en línea vista (al aire libre y sin obstáculos). Con las características de las redes Mesh se puede cubrir amplias áreas como una UMA agrícola. La descripción de las componentes del dispositivo con tecnología XBEE se muestra en la Ilustración 7.

La industria electrónica ha desarrollado interfaces para poder interconectar los módulos transceptores con los elementos sensores y actuadores. Estos dispositivos permiten conectar, por ejemplo, elementos sensores de humedad o temperatura, actuadores de “relé” para encender o apagar instrumentos como válvulas de riego, todo interconectado por medio de un módulo de procesamiento, como Arduino, Raspberry Pi, Beagle Bone u otros.

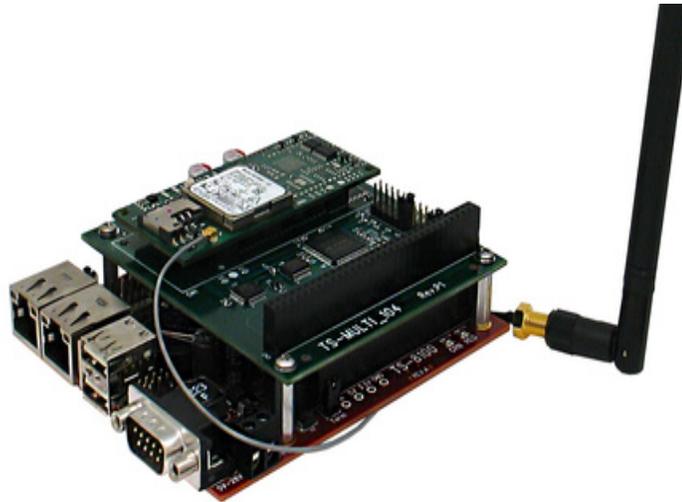


**Ilustración 7: Descripción de componentes de un dispositivo sensor/actuador con tecnología XBee**  
Fuente: Elaboración propia, 2016

Esta clase de dispositivos continúa teniendo un desarrollo que tiende a una estandarización comercial. Para conectar los dispositivos (sensores o actuadores) a Internet se hace a través de un “gateway”, dispositivo encargado de coordinar el traspaso de datos desde y hacia Internet. Las comunicaciones entre los nodos gateway e Internet tienen variados mecanismos que generalmente ofrecen las empresas integradoras de soluciones, estos protocolos son basados en socket TCP/IP, protocolos HTTP POST / GET o servicios XML. En la Ilustración 8 se visualiza un dispositivo con sistema operativo Linux conectado con un modem que soporta comunicaciones 2G y 3G.

El conjunto de soluciones descrito ha sido una evolución de la industria basada en estándares de comunicación y electrónica. Para que la agricultura incremente su porcentaje de adopción es necesario que existan estándares apropiados para dichos propósitos en el área de los sensores, control, comunicaciones y servicios en la nube, así como, también, que se difunda y fomente su uso.

Desde el punto de partida dado por la línea base, el siguiente paso será el uso de dispositivos IoT, que se conectarán directamente a estaciones base, sin tener que pasar por redes de corto alcance, como las mencionadas en la línea base. Adicionalmente, las nuevas tecnologías IoT dispondrán de dispositivos de muy bajo consumo, permitiendo que una sola carga de baterías pueda durar entre 5 y 10 años, con lo que no serán necesarios cables, ni si quiera para entregar energía a los dispositivos. Es decir, no será necesaria una infraestructura particular para la digitalización de los procesos de AP de la UMA, excepto los mismos dispositivos IoT (sensores o actuadores).



**Ilustración 8: Gateway basado en dispositivo con sistema operativo Linux**

En este punto es relevante hacer una comparación entre la ilustración 1 y la ilustración 7. En ambas es posible distinguir 3 secciones: módulo transceptor, módulo de procesamiento y elemento sensor o actuador. Esto quiere decir de manera muy simplificada, que un dispositivo (no IoT) que actualmente se use para los requerimientos agrícolas, podría ser transformado en un dispositivo IoT simplemente intercambiando su módulo transceptor.

En la práctica, se requiere un poco más que cambiar su módulo transceptor. Se deben realizar modificaciones adicionales para que su consumo eléctrico sea reducido.

## 1.2. Digitalización de procesos agrícolas de precisión a nivel de UMA

Para establecer la infraestructura necesaria para la digitalización de los procesos agrícolas a nivel de UMA es necesario considerar la topología y ubicación geográfica de éstas y el impacto que éstas puedan tener sobre las condiciones de propagación de las señales.

Desde el punto de vista topográfico, Chile presenta una gran variedad de condiciones de cultivo, con predominancia de montañas y pequeñas colinas que, de alguna manera, afectarán el alcance o cobertura de las antenas necesarias para cubrir las necesidades de la AP.

Para poder obtener el área de cobertura de la tecnología escogida se debe utilizar una herramienta de predicción. La predicción de cobertura es un proceso altamente complejo que requiere contar con información de detalle, como, por ejemplo, el lugar específico en el que se emplazarán las estaciones base que, por definición, se desconoce a priori. Esta dificultad hace necesario que se opte por una metodología de caracterización de tipos de terreno en base a algún criterio de representatividad. Sobre los terrenos escogidos, entonces, se aplicará la predicción de cobertura, la que se extrapolará al resto del territorio nacional.

La estimación se hará, en primer lugar, para los requerimientos de tráfico IoT, siguiendo con los requerimientos de tráfico para datos transaccionales (TR) y de streaming (STR), los que se agruparán, ya que la tecnología de comunicaciones, en ambos casos, es la misma.

### 1.3. Metodología de planificación de redes de acceso

Para la planificación de redes se propone una metodología que está dividida en 3 partes: Caracterización, Representatividad y Dimensionamiento.

#### a. Caracterización

Buscar un número limitado de casos cuyas características topográficas sean evidentemente diferentes entre sí. Se optará por casos en los que el tipo de cultivo tenga, además, relevancia para la economía nacional.

#### b. Representatividad

Una vez que se obtengan los tipos de terrenos característicos, se estimará la superficie total que cada uno representa dentro del territorio agrícola nacional.

#### c. Dimensionamiento

La capacidad de cada estación base IoT estaría sobredimensionada para la demanda en el uso de datos IoT del sector agrícola, aun para la proyección a 5 y 10 años. Por lo tanto, el problema de dimensionamiento se transforma en un problema de cobertura, solamente como se ha mencionado anteriormente.

Para la estimación del área de cobertura de las redes de aire se utilizará una de las tecnologías IoT que se proponen en este estudio, particularmente aquella que se estima que será la de mayor difusión a lo largo del país en los próximos años, NB-IoT; sin embargo, ya que las características de link budget, tanto de la tecnología NB-IoT, como de LoRa, son equivalentes, el cálculo de cobertura también será equivalente.

Para cada uno de los tipos de terrenos característicos se hará una estimación del área de cobertura (predicción) utilizando los parámetros de la estación base y un módulo transceptor típico.

Si el área resultante, en cualquiera de los casos, fuera mayor que el área de una UMA, se deberá calcular cuántas UMAs o fracción de éstas podrá ser atendida por una estación base IoT. En el caso contrario: es decir, si el área resultante es menor al área de una UMA, se deberá determinar el número de estaciones base necesarias para atender una UMA.

La suma de estaciones base para cada tipo de terreno característico dará como resultado el número total de estaciones necesarias para cubrir las necesidades de la AP en Chile.

### 1.3.1 Metodología aplicada según tipo de terreno.

#### a. Criterios de Caracterización

- Se optará por cultivos que puedan ser producidos en zonas con características topográficas diferentes entre sí.
- Adicionalmente, los cultivos que se utilicen para la caracterización, deberán tener incidencia significativa en la economía, ya sea por su impacto en el consumo interno, por su aporte a las exportaciones, o ambos.

**Cultivos escogidos:** Palto en ladera y Almendro.

#### Palto

En el caso del Palto, éste puede ser producido tanto en sectores planos, como en laderas, siempre que no exista incidencia de heladas. El cultivo de este frutal se inició en lugares planos de zonas más cálidas, como: Quillota, La Cruz, Ovalle, pero el atractivo valor de la fruta, y el creciente consumo interno y de exportación, hizo que los agricultores buscaran nuevos terrenos donde encontrar las condiciones de cultivo adecuadas, comenzando así un importante crecimiento de plantaciones en laderas.

En estas condiciones de cultivo (en laderas) y dado los retornos para los productores- la tecnología utilizada en los huertos es alta, ya que el manejo adecuado y preciso de los datos, genera mejoras importantes en la producción y calidad de la fruta. Huertos más antiguos tienen manejos y destinos comerciales distintos a los de ladera, siendo el mercado interno su principal destino. El cultivo de Palto en ladera se concentra en la zona de Hijuelas, Provincia de Quillota.

#### Almendras

En el caso de los Almendros, su producción es cada vez más tecnificada, debido a su alto valor comercial, especialmente en el mercado externo. Su cultivo se realiza en terreno plano, ya que su explotación utiliza maquinaria pesada que no podría llegar hasta zonas con pendientes pronunciadas. Su producción se concentra en la zona de Paine en la Región Metropolitana.

Las Tablas 1 y 2 permiten dimensionar el impacto que generan en la economía los frutales escogidos [1]:

Exportaciones Chilenas de Almendras						
	ACUM MAR 16-ABR 15		ACUM MAR 15- ABR 14			
Variedad	Ton	MUS\$	P. PROM	Ton	MUS\$	P. PROM
		FOB	MUS\$		FOB	MUS\$
Sin Cáscara	7606	83663	11	4328	48540	11,22
Tostadas	1139	14485	12,72	999	11399	11,41
Con Cáscara	338	2392	7,07	57	382	6,68
<b>Total</b>	<b>9083</b>	<b>100539</b>	<b>11,07</b>	<b>5384</b>	<b>60321</b>	<b>11,2</b>

Tabla 1: Exportación de almendras temporada 2015 – 2016

Fuente: [1]“Exportación Chilena de Almendras, Marzo 2016”, Servicios Informativos PriComReit, 2016

Temporada	Exportación de paltas		Paltas en Mercado Nacional**	
	KG	US\$	KG	US\$
2015/2016	112.853.500	151.138.190	73.000.000	130.746.269
2016/2017*	110.000.000	241.009.000	54.600.000	85.567.164

\* Hasta la fecha

\*\* Estimación

Tabla 2: Exportación de paltas y consumo nacional, Temporada 2015/16 y 2016/17

Fuente: Elaboración propia a partir de información proporcionada por el comité de palta Hass de Chile, 2016.

## b. Representatividad

Utilizando el criterio experto, se clasifican los tipos de cultivos del país dentro de los 2 grupos característicos.

Dentro de la primera caracterización se tiene a los paltos en ladera y la uva de mesa tecnificada, la que se cultiva en ladera, principalmente desde Vicuña hacia el norte del país, cuya superficie por Región se muestra en la Tabla 3. En la segunda caracterización se agrupará el resto de los cultivos en estudio.

Superficie total cultivada en Chile: **309.314 [Ha] (100%)**

Tipo de cultivo	Región	Superficie [Ha]
Palto en ladera	5. Valparaíso	3.474
Uva de mesa	15. Región de Arica y Parinacota	1
Uva de mesa	1. Región de Tarapacá	1
Uva de mesa	3. Región de Atacama	7.746
Uva de mesa	4. Región de Coquimbo	8.722
<b>Total</b>		<b>19.944 (6.44%)</b>

Tabla 3: Superficie de cultivo en ladera

Fuente: Elaboración propia, 2016

Superficie de cultivo en terreno plano (el resto de los cultivos):  
**289.370 [Ha] (93.56%)**

## c. Dimensionamiento

Sobre los 2 tipos de terreno escogidos se realizará una predicción de cobertura, utilizando una de las tecnologías LPWA descritas con anterioridad (NB-IoT o LoRa). De acuerdo a LoRa Alliance, la tecnología LoRa tiene una mejora de 20 dB en relación a aplicaciones transaccionales o de streaming. De igual forma, 3GPP declara que la tecnología NB-IoT tiene un incremento de 20 dB en relación a las aplicaciones ya mencionadas, por lo tanto, es indiferente realizar una predicción de cobertura, con una u otra tecnología IoT.

En esta oportunidad, sólo para la cobertura IoT, se utilizará una estimación proporcionada por la empresa Huawei Chile, calculada para tecnología NB-IoT. La forma perimetral del área de cobertura se calculará en relación a la mínima potencia necesaria para que el dispositivo

transceptor pueda reconocer la señal que utiliza como referencia para decidir a cuál estación base conectarse. Esta potencia se conoce como RSRP8 y se estima en -118 dBm.

Más adelante, en este estudio, se hará la diferencia de aplicación de la tecnología NB-IoT en zonas en las que se debiera mantener cobertura LTE en el tiempo; en tanto que en zonas carentes de cobertura (de cualquier clase), se hará el ejercicio pensando en la instalación de estaciones base LoRa. En cualquiera de los casos, los requerimientos de tecnología de backhaul son los mismos.

Para la ubicación de una antena se ha elegido el centro de la zona de caracterización.

**Cultivo en ladera:** Latitud: 32 ° 51' 1.19" S, Longitud: 71° 6' 9.57" O, (Comuna de Hijuelas).

**Cultivo en terreno plano:** Latitud: 33 ° 50' 25.48" S, Longitud: 70° 40' 0.83" O, (Comuna de Paine).

### Parámetros de predicción

**Modelo de propagación:** Hata general

**Frecuencia:** 700 MHz

**Tipo de antena en estación base:** antena de 3 sectores

**Altura de antena de estación base:** 30 m

**Características de módulo transceptor:** u-blox Sara-N

**Potencia recibida en el borde de la celda:** -118 dBm (RSRP).

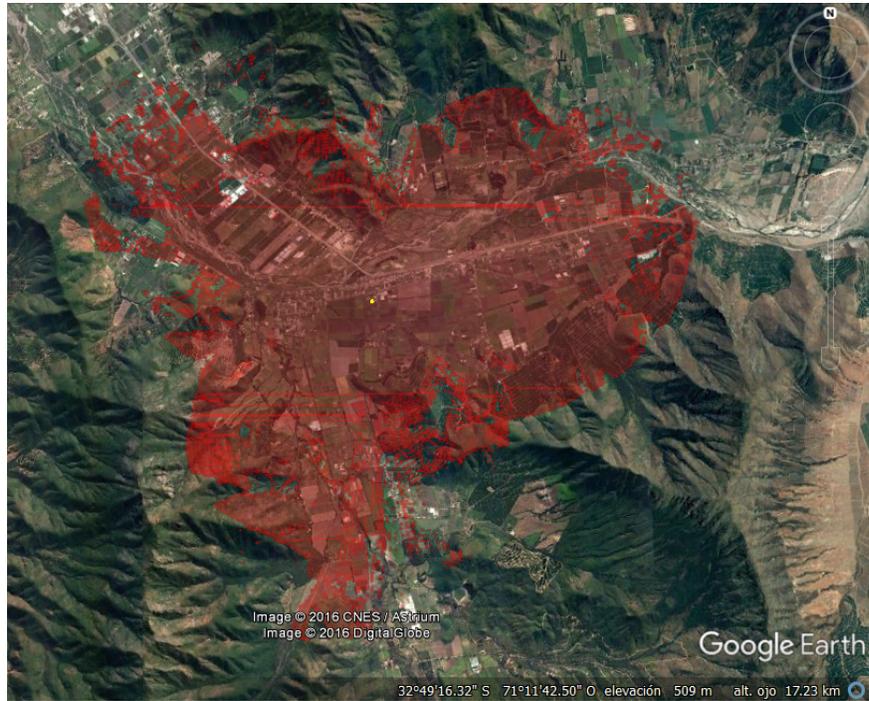
### Resultados

Área de cobertura en ladera: 53,06 Km<sup>2</sup> → 5.306 Ha.

En la Ilustración 9 se puede apreciar el área de cobertura sobre superficies cultivadas caracterizada como "cultivo en ladera". Así mismo, en la Ilustración 10 se muestra el área de cobertura sobre superficie caracterizada como "terreno plano"

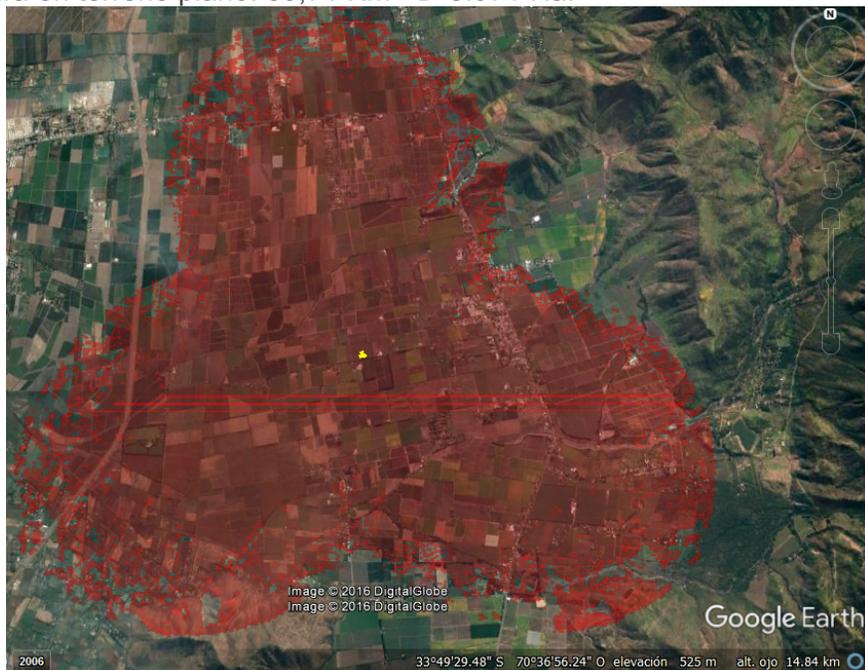
---

<sup>8</sup> Potencia Recibida de la Señal de Referencia (proveniente de la estación base), habitualmente utilizada por el dispositivo para elegir la antena a la cual reportarse.



**Ilustración 9: Área de cobertura sobre superficie caracterizada como “cultivo en ladera”**  
Fuente: Elaboración propia, 2016

Área de cobertura en terreno plano: 59,71 Km<sup>2</sup> → 5.971 Ha.



**Ilustración 10: Área de cobertura sobre superficie caracterizada como “terreno plano”**  
Fuente: Elaboración propia, 2016

Para el cálculo final del número de estaciones base, se deben tener en consideración que, en algunas zonas, las UMAs no son colindantes entre sí. En otras zonas, las UMAs alcanzan mayor densidad, llegando a solaparse. La Tabla 4, muestra la distribución de la distancia entre UMAs agrupadas por región.

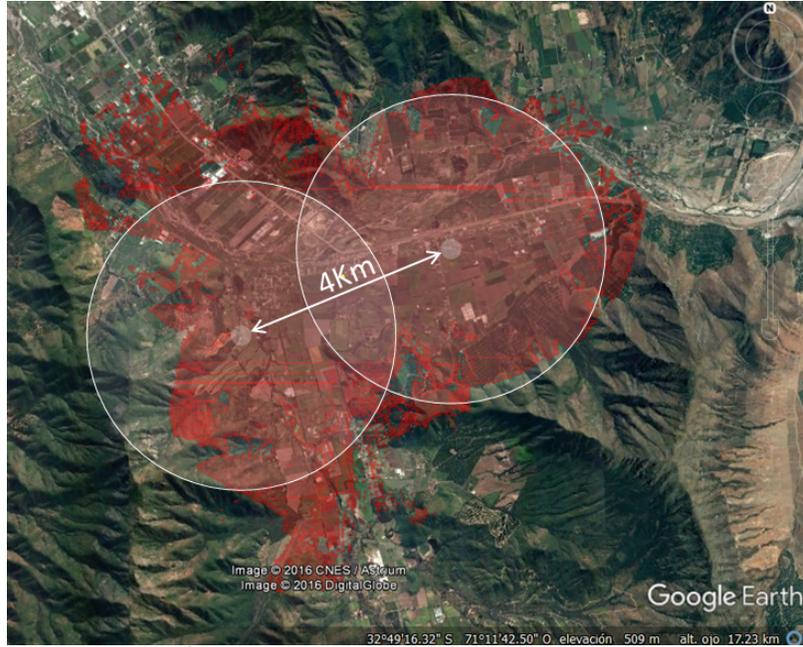
REGIÓN	DIST <= 4Km	4 Km > DIST <= 5Km	DIST > 5Km
0 RM	129	36	96
1	2	0	3
3	58	10	34
4	171	33	106
5	140	31	96
6	179	50	154
7	216	58	189
8	206	36	120
9	124	21	50
10	39	9	0
14	46	6	17
15	20	5	5
<b>Total</b>	<b>1330</b>	<b>295</b>	<b>870</b>

**Tabla 4: Distancia entre UMAs por región**  
Fuente: Elaboración propia, 2016

#### En la Tabla 4:

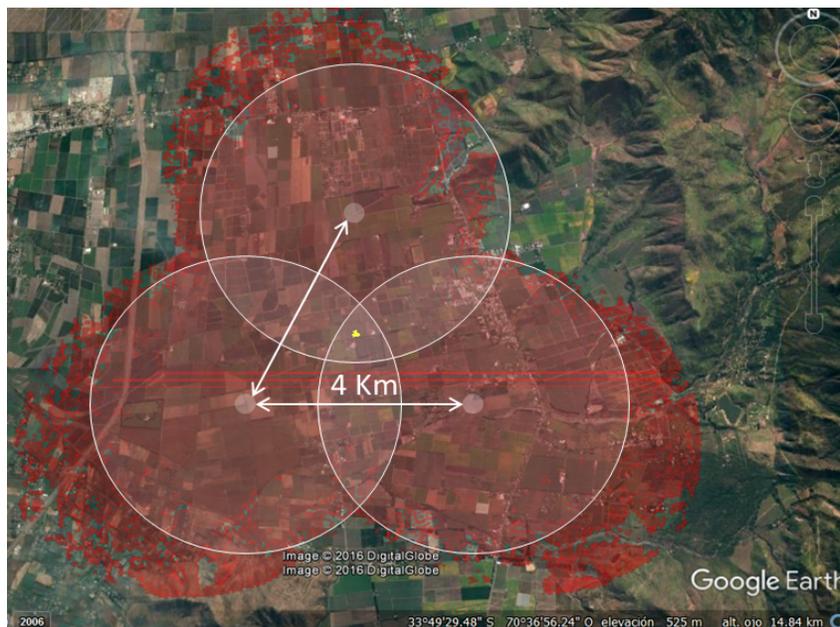
- La columna 2 muestra el número de UMAs en la región cuya distancia a la UMA más cercana es menor que 4 Km.
- La columna 3 muestra el número de UMAs cuya distancia a la UMA más cercana es de entre 4 y 5 Km.
- La columna 4 muestra el número de UMAs cuya distancia a la UMA más cercana es superior a 5 Km.

Las Ilustraciones 11, 12 y 13 muestran, de manera simbólica, cuántas UMAs (en color blanco) podrían quedar bajo la cobertura de una misma estación base, teniendo en consideración las distintas distancias entre UMAs que aparecen en la Tabla 4 y los diferentes tipos de terreno caracterizados.



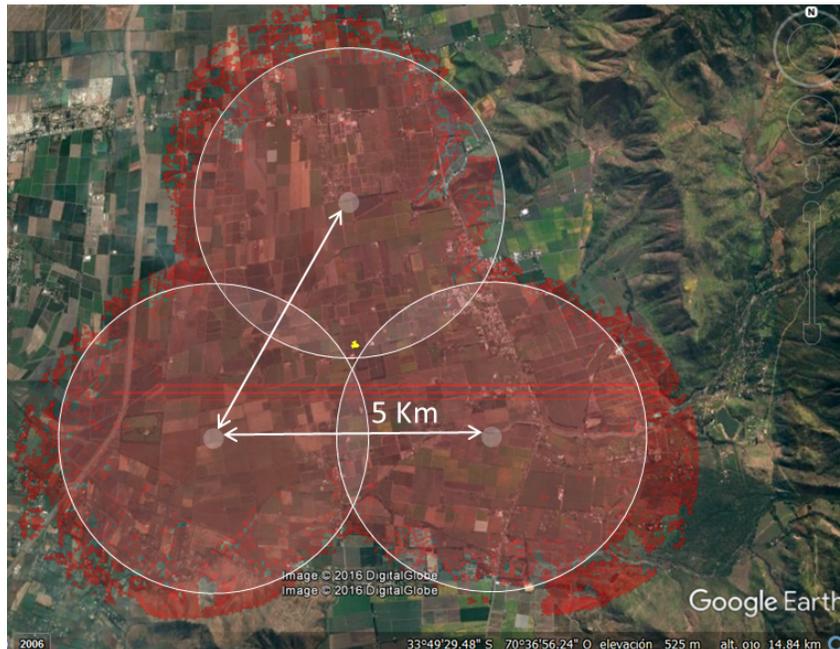
**Ilustración 11: Área de cobertura en ladera. UMAs a 4 Km de distancia**  
 Fuente: Elaboración propia, 2016

Estimación 1 (UMAs a 4Km - Tabla 4, Columna 2, Cultivo en ladera): La predicción del área de cobertura de la Ilustración 11 resulta superior a la superficie total de una UMA, pero no suficientemente amplia como para abarcar 2 UMAs. Por lo tanto, para el caso de **cultivos en ladera**, independiente de la distancia entre UMAs, se deberá considerar una única estación **base IoT por cada UMA**.



**Ilustración 12: Área de cobertura en terreno plano. UMAs a 4 Km de distancia**  
 Fuente: Elaboración propia, 2016

**Estimación 2 (UMAs a 4Km – Tabla 4, Columna 2, Cultivo en terreno plano):** En el caso de la cobertura en terreno plano, en la Ilustración 12 se puede ver que hasta 3 UMAs podrían llegar a acomodarse dentro del área de cobertura; sin embargo, como se trata de una caracterización, no se puede asegurar con certeza que las ubicaciones de 3 UMAs vecinas coincidan con la orientación de los lóbulos de la antena de la estación base; por lo tanto es razonablemente seguro aseverar que una estación base podrá abarcar 2 UMAs que estén ubicadas a una distancia de hasta 4 Km entre sí.



**Ilustración 13: Área de cobertura en terreno plano. UMAs a 5 Km de distancia**  
Fuente: Elaboración propia, 2016

**Estimación 3 (UMAs de 4 a 5Km – Tabla 4, Columna 3):** Nuevamente, en la Ilustración 13, es posible ver que 3 UMAs a 5 Km de distancia entre sí, podrían llegar acomodarse dentro del área de cobertura caracterizada como de terreno plano. Tal como en el caso anterior, es razonablemente seguro aseverar que una estación base IoT en terreno plano podrá abarcar 2 UMAs que se encuentren a una distancia de entre 4 y 5 Km entre sí.

**Estimación 4 (UMAs de más de 5km – Tabla 4, Columna 4, Cultivo en Terreno Plano):** Para UMAs que se encuentren a una distancia superior a 5 Km entre sí, es razonablemente seguro decir que por cada UMA se deberá instalar una estación base IoT.

Tanto la estimación 2 (UMAs a menos de 4 Km entre sí), como la estimación 3 (UMAs entre 4 y 5 Km entre sí), indican que una sola estación base IoT puede dar cobertura a 2 UMAs. Por lo anterior, es posible generalizar una estimación, diciendo que **para UMAs en terreno plano que se ubiquen a menos de 5 Km entre sí, una única estación base IoT puede dar cobertura a 2 UMAs**. Es decir, la estimación de cobertura 2 queda contenida en la estimación de cobertura 3. Para conocer el número de UMAs que se encuentran a menos de 5 Km entre sí, tenemos que sumar el número de UMAs de la columna 2 y columna 3 de la Tabla 4. Lo que da origen a la Tabla 5.

REGIÓN	DIST <= 5Km	DIST > 5Km
0 RM	93	168
1	2	3
3	48	54
4	138	172
5	109	158
6	129	254
7	158	305
8	170	192
9	103	92
10	30	18
14	40	29
15	15	15
<b>Total</b>	<b>1035</b>	<b>1460</b>

Tabla 5: Distancia entre UMAs por región (nueva agrupación)

Considerando las estimaciones anteriores, resulta una nueva segmentación de UMAs, de acuerdo al número de estaciones base IoT necesarias para darles cobertura. (Tabla 6, siguiente), donde:

- Columna 2: Se aproxima el número de hectáreas de la columna 3 de la Tabla 3 a número de UMAs.
- Columna 3: Representa las UMAs en terreno plano que se encuentran a menos de 5 Km entre sí (Tabla 5, columna 2), restando las correspondientes UMAs en ladera.
- Columna 4: Se transcribe el número de UMAs de la columna 3 de la Tabla 5.

REGIÓN	UMAs de Cultivo en ladera	UMAs DIST <= 5 Km	UMAs DIST > 5Km
0 RM	0	93	168
1	0	2	3
3	3	48	54
4	3	138	172
5	1	109	158
6	0	129	254
7	0	158	305
8	0	170	192
9	0	103	92
10	0	30	18
14	0	40	29
15 Arica y Parinacota	0	15	15
<b>Total</b>	<b>7</b>	<b>1035</b>	<b>1460</b>

Tabla 6: Caracterización de las UMAs de acuerdo a sus requerimientos de est. base IoT

Fuente: Elaboración propia, 2016

La Tabla 6 muestra una caracterización de las UMAs de acuerdo al tipo de cultivo y distancia entre

ellas. La Tabla 6 se puede traducir a número de estaciones base IoT, en base a las consideraciones de área de cobertura para los distintos tipos de terreno y las distintas agrupaciones de UMAs de acuerdo a la distancia entre ellas (distancia entre UMAs  $\leq 5$  Km y distancia entre UMAs  $> 5$  Km).

REGIÓN	Est. base para cultivo en ladera (1 est. / UMA)	Estaciones base para UMAs DIST $\leq 5$ Km (2 UMA / est.)	Estaciones base para UMAs DIST $> 5$ Km (1 est. / UMA)
0 RM	0	47	168
1	0	1	3
3	3	24	54
4	3	69	172
5	1	55	158
6	0	65	254
7	0	79	305
8	0	85	192
9	0	52	92
10	0	15	18
14	0	20	29
15 Arica y Parinacota	0	8	15
<b>Total</b>	<b>7</b>	<b>518</b>	<b>1460</b>

**Tabla 7: Número de estaciones base IoT por región**

Fuente: Elaboración propia, 2016

La Tabla 7 muestra el número de estaciones base IoT requeridas por región, agrupadas por tipo de requerimiento. En el caso de la columna 2, se trata de UMAs de cultivo en ladera, las que requieren de una estación base por cada UMA. La columna 3 muestra las estaciones base asociadas a terreno plano en zonas donde la densidad de UMAs es alta, con distancias entre UMAs de hasta 5 Km. La columna 4 muestra las estaciones base para terreno plano con menor densidad de UMAs, con distancia entre UMAs de 5 Km o más.

Sumando los resultados parciales de cada columna, se obtiene:

**Número de estaciones base IoT que se requieren para la AP: 1985**

En cuanto al tipo de tecnología de la estación base IoT a instalar, este punto se revisa más adelante en el punto 1.3.2 Costos de la Infraestructura.

En relación a los requerimientos transaccionales (TS) y de streaming (STR). Para el dimensionamiento se sumarán los requerimientos, ya que no requieren un tipo particular de tecnología para cada uno, como es el caso de los requerimientos IoT.

A partir de las hojas “AnálisisFruticolaIoT”, “AnálisisFruticolaTS” y “AnálisisFruticolaSTR” en la planilla “Savtec-TablaResultadosFinalEtapa1y3-UMA” se obtienen las Tablas 8 y 9, que muestran el throughput IoT, transaccional (TS), de streaming (STR) y la suma entre TS y STR, en horizonte de 5 y 10 años. Cada fila muestra el throughput promedio por UMA en cada región.

REGIÓN	Num. UMAs	Throughput promedio UMAs IoT (Mbps)	throughput promedio UMAs TS (Mbps)	throughput promedio UMAs STR (Mbps)	throughput promedio TS + STR (Mbps)
15	30	0.004	0.018	0.148	0.166
01	5	0.001	0.004	0.034	0.038
03	102	0.046	0.195	1.611	1.807
04	310	0.233	0.994	8.201	9.196
05	267	0.592	2.526	20.833	23.359
06	383	0.976	4.166	34.360	38.527
07	463	0.684	2.922	24.099	27.021
08	362	0.073	0.310	2.557	2.867
09	195	0.052	0.221	1.823	2.043
10	48	0.007	0.031	0.256	0.287
14	69	0.011	0.046	0.379	0.425
0 RM	261	0.611	2.610	21.523	24.133

Tabla 8: Throughput promedio por UMA por región en horizonte de 5 años

Fuente: Elaboración propia, 2016

REGIÓN	Num. UMAs	Throughput promedio UMAs IoT (Mbps)	Throughput promedio UMAs TS (Mbps)	Throughput promedio UMAs STR (Mbps)	Throughput TS + STR (Mbps)
15	30	0.01	0.04	0.30	0.33
01	5	0.00	0.01	0.07	0.08
03	102	0.09	0.39	3.22	3.61
04	310	0.47	1.99	16.40	18.39
05	267	1.18	5.05	41.67	46.72
06	383	1.95	8.33	68.72	77.05
07	463	1.37	5.84	48.20	54.04
08	362	0.15	0.62	5.11	5.73
09	195	0.10	0.44	3.65	4.09
10	48	0.01	0.06	0.51	0.57
14	69	0.02	0.09	0.76	0.85
0 RM	261	1.22	5.22	43.05	48.27

Tabla 9: Throughput promedio por UMA por región en horizonte de 10 años

Fuente: Elaboración propia, 2016

Para dimensionar los costos de inversión se considerará una estación base LTE con Release 8,

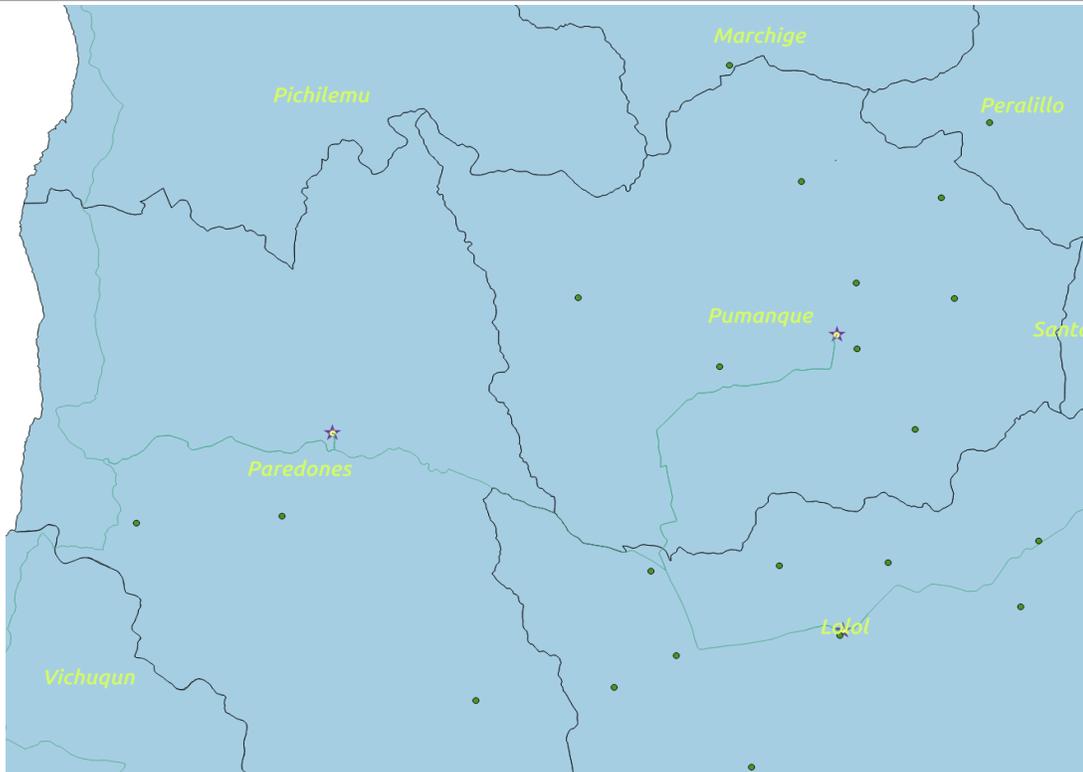
FDD con ancho de banda 10 MHz, tanto para uplink, como para downlink, antena MIMO 4x4 en la banda de los 700 MHz, que corresponde a la banda asignada en zonas no urbanas. En las condiciones descritas, la capacidad máxima disponible para la estación base es de 147 Mbits/s [LTE PHY Fundamental, Roger Piqueras Jover] por cada uno de los sectores (se consideran 3 sectores por estación base). Se tiene que, aun aplicando un criterio conservador, se podría llegar a tener una capacidad de 100 Mbps, por sector.

Nuevamente, se está frente a una situación de sobredimensionamiento de la estación base ante los requerimientos TS y STR, lo que lleva a indicar que bastaría una única estación base LTE por cada UMA.

### 1.3.2. Costos de la infraestructura

Subtel está diseñando una Troncal Nacional de Infraestructura para Telecomunicaciones (TNIT), la cual consiste en una red troncal de fibra óptica terrestre y submarina, que cuenta, también con enlaces de microondas. Esta red troncal estará compuesta por 443 Sitios ubicados en las capitales comunales, en Santiago, en lugares con más de 5.000 habitantes, pasos fronterizos, mineras, etc. Los Sitios son los puntos de comunicación en los que las redes de telecomunicación locales podrán inyectar tráfico a la TNIT. La información de ubicación de cada uno de los Sitios de la TNIT (coordenadas georreferenciadas) fue proporcionada por Subtel.

La Ilustración 14, que corresponde a comunas de la región 6 (etiquetas en color amarillo), muestra los Sitios (simbolizados por estrellas), las UMAs (simbolizadas como puntos verdes) y los trazados de la troncal nacional (como líneas de color verde entre sitios). Esta información es relevante para efecto de calcular los costos de la infraestructura de telecomunicaciones en base al camino más eficiente para llegar desde la troncal a la estación base, que satisfará la demanda de los servicios de datos de la agricultura.



**Ilustración 14: Representación del trazado de la TNIT, Sitios y punto central de las UMAs**  
Fuente: Elaboración propia, 2016

### Costos de infraestructura

Se plantean a continuación una serie de consideraciones en relación a las tecnologías y sus costos. Esta estimación se hace con el fin de dar una idea general del costo en infraestructura; sin embargo, existen variables que podrían impactar de manera significativa en la solución final, por mencionar algunas: costos de arriendo del predio, apertura de caminos, etc.

Para los cálculos de costo de backhaul y de infraestructura, en general, se asocia cada una de las 2495 UMAs del estudio al Sitio más cercano dentro de la troncal nacional TNIT. Se utilizará esta distancia para estimar el número de enlaces de microondas necesario para llegar hasta la respectiva estación base. El detalle de la distancia de cada UMA a su Sitio más cercano se entrega en la planilla TNIT\_loT\_CAPEX.

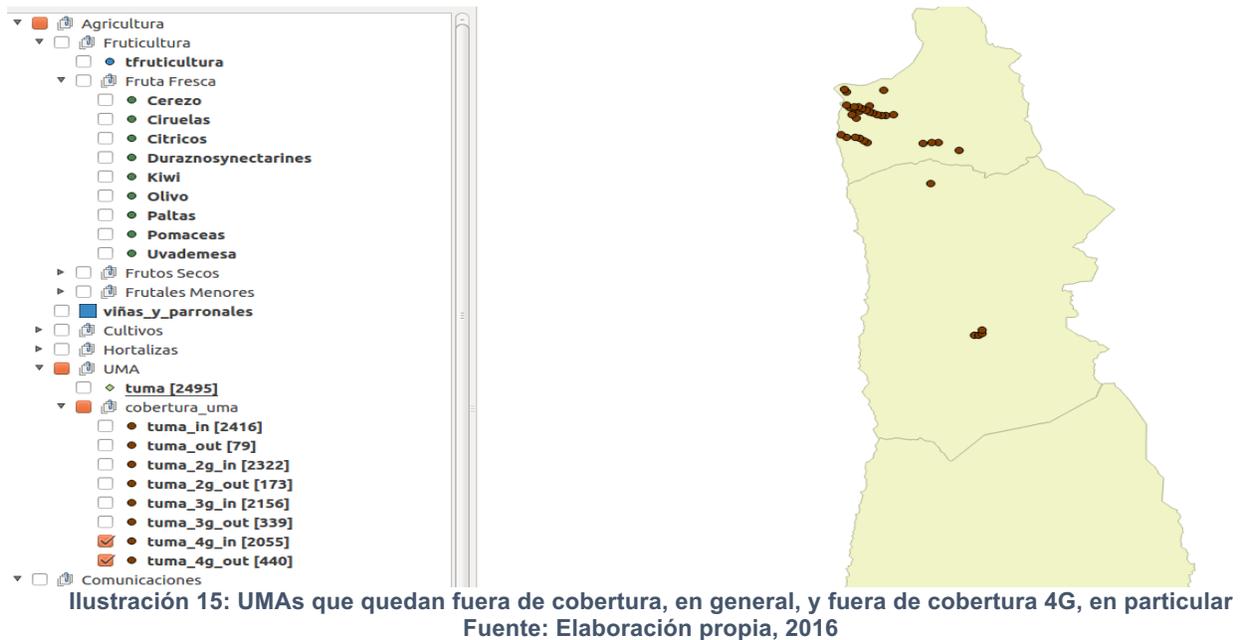
### Tipo de tecnología IoT a implantar

Se ha señalado en este estudio que los productores agrícolas, con el fin de dar servicio a sus requerimientos IoT, podrían optar por instalar ellos mismos una o más estaciones base LoRa, ya que su costo es inferior al costo de una estación base LTE para NB-IoT; sin embargo, también se ha señalado que la agricultura no sólo tiene requerimientos IoT, sino, también, transaccionales (TS) y de streaming (STR). LoRa es una tecnología exclusivamente orientada a IoT, y no puede satisfacer necesidades de TS o STR. En cambio, una estación base LTE, que cuente con

tecnología NB-IoT, podría dar servicio a todos los requerimientos: IoT, ST y STR.

De los datos de cobertura 3GPP proporcionados por Subtel, es posible inferir que, a la fecha, 63 UMAs no contaban con cobertura de ningún tipo, ya sea 2G, 3G o LTE. Adicionalmente, 364 UMAs no tienen acceso a la tecnología LTE y, por lo tanto, no podrían tener acceso a NB-IoT en el mediano plazo. Por esa razón, la adopción de tecnología LoRa, puede ser una solución de corto plazo para facilitar el uso de IoT en la agricultura de precisión.

En la Ilustración 15 se muestra el número de UMAs que quedan fuera de cobertura en general y fuera de cobertura 4G.



Para la estimación de costos de infraestructura para la AP se harán los siguientes supuestos:

1. Que la AP podría trabajar exclusivamente con cobertura IoT en aquellas localidades en las que no se cuenta con cobertura 3GPP.
2. Que la cobertura LTE y, eventualmente, 5G llegarán al 100% de las UMAs en un horizonte de 5 años.
3. Que la tecnología NB-IoT será ampliamente adoptada en el país en un horizonte de 5 años.
4. Que la tecnología NB-IoT se mantendrá en el tiempo, ya que es una simplificación del LTE, ad-hoc para las aplicaciones IoT, que se beneficia de las frecuencias bajas, dada su gran penetración. Aun cuando aparezca 5G, que sacará provecho a bandas de frecuencia superiores, NB-IoT debería mantenerse con muy pocos cambios.
5. Que la AP utilizará la TNIT como medio para llegar a Internet.

En comparación a los requerimientos transaccionales (TS) y de Streaming (STR), los requerimientos de infraestructura IoT para la agricultura de precisión son bastante menores. Para dejar de manifiesto esta relación, primero se mostrarán los costos asociados a infraestructura

exclusivamente para IoT en sus dos versiones: con tecnología LoRa y con tecnología NB-IoT. En segundo lugar, se mostrarán los requerimientos de infraestructura consolidados para IoT + TS + STR. En este último caso, se utilizará la tecnología LoRa sólo en aquellas UMAs que hoy día no cuentan con cobertura 3GPP. En el resto de los casos, se utilizará tecnología LTE, que es la que puede servir las necesidades de IoT + TS + STR.

### Costos de estación base LTE

En la Tabla 10 se muestran los costos de infraestructura y montaje de estación base LTE en USD.

Ítem	Elemento	Infraestructura USD	Montaje USD
OCC	Torre	30000	12000
	Radier	5000	1000
	Cerco y protecciones	10000	2000
	Shelter o Gabinete	10000	1000
Energía	Empalme	5000	0
	Planta	5000	2000
	Tableros	2000	1000
Equipos	Antenas	2000	500
	Radio base	15000	2000
		<b>87000</b>	<b>23000</b>

Tabla 10: Costos de infraestructura y montaje de estación base LTE  
Fuente: Datos proporcionados por empresa contratista del operador Claro.

### Costos estación base LoRa

En la Tabla 11 se muestran los costos de infraestructura y montaje de estación base LoRa en USD.

Ítem	Elemento	Infraestructura USD	Montaje USD
OCC	Torre	1000	1000
Energía	Panel solar	300	100
	Baterías	300	100
Equipos	Estación base	1500 <sup>9</sup>	500
		<b>3100</b>	<b>1700</b>

Tabla 11: Costos de infraestructura y montaje de estación base LoRa

<sup>9</sup> Valor de importación aproximado

Fuente: Datos proporcionados por empresa contratista del operador Claro

### Costos de Backhaul

Para la transmisión de datos desde y hacia el sitio más cercano a la estación base, se considera la tecnología de enlace de microondas, ya que es la de menor impacto y de menor dependencia de las condiciones topográficas del terreno (comparada con tendido de fibra óptica, por ejemplo). En estas circunstancias se utilizará una regla simple, dada por la práctica, que indica que se debe utilizar estaciones repetidoras cada 30 Km en promedio. De esta forma, en la metodología de cálculo:

- Todas las estaciones base requerirán, al menos, un enlace de datos de microondas punto a punto.
- Si una UMA se encuentra a más de 30 Km de un Sitio, se agregará un enlace adicional por cada 30 Km de distancia.
- El costo de un radioenlace y su montaje se estiman en USD \$4.500.

### **El costo total asociado a backhaul corresponde a USD\$9.202.500**

En la planilla TNIT\_IoT\_CAPEX se detalla el cálculo del costo asociado a backhaul. Las columnas de la hoja output corresponden a lo siguiente:

- UMA: Identificación de la UMA
- Georreferenciación: Longitud de la UMA
- Georreferenciación: Latitud de la UMA
- Región de la UMA
- Distancia al Sitio TNIT más cercano
- Nombre del Sitio
- Georreferenciación: Longitud del Sitio
- Georreferenciación: Latitud del Sitio
- Número de enlaces necesarios desde la UMA al Sitio más cercano
- Inversión en backhaul para cada una de las UMAs

### Costos de infraestructura IoT 100% LoRa:

Item	Cantidad	Valor unitario (usd)	Total (usd)
Costo total de Backhaul	1	9.202.500	9.202.500
Estaciones LoRa	1.985	4.800	9.528.600
<b>Total</b>			<b>18.730.500</b>

Tabla 12: Costos de infraestructura IoT 100% LoRa

Fuente: Elaboración propia, 2016

Costos de infraestructura IoT 100% NB-IoT:

Item	Cantidad	Valor unitario (usd)	Total (usd)
Costo total de Backhaul	1	9.202.500	9.202.500
Estaciones LTE	1.985	110.000	218.350.000
<b>Total</b>			<b>227.552.500</b>

Tabla 13: Costos de infraestructura IoT 100% NB-IoT

Las Tablas 12 y 13 representan los costos aproximados de infraestructura de comunicaciones para dar servicios IoT en todo el país. Tal como se expone en la Tabla 7, si los requerimientos son exclusivamente de IoT, el número de estaciones base es menor que el número de UMAs. Se muestran estas tablas con el fin de comparar los costos entre las tecnologías IoT recomendadas.

Costos de infraestructura IoT + TS + STR (LoRa + LTE):

Item	Cantidad	Valor unitario (usd)	Total (usd)
Costo total de Backhaul	1	9.202.500	9.202.500
Estaciones LoRa	440	4.800	211.200
Estaciones LTE	1545	110.000	169.950.000
<b>Total</b>			<b>179.363.700</b>

Tabla 14: Costos de infraestructura necesaria para IoT + TS + STR

Fuente: Elaboración propia, 2016

En la Tabla 14 las UMAs que no cuentan con acceso a LTE satisfacen sus necesidades de IoT a través de la tecnología LoRa. El resto de las UMAs satisface sus requerimientos de IoT, TS y STR a través de tecnología LTE. Como en este escenario se incluyen los requerimientos TS y STR, se debe considerar una estación base por UMA.

## Capítulo 2: Análisis y propuesta de soluciones IoT aplicables a la fruticultura y propuesta de estándares de comunicación para redes y sensores.

### 2.1 Aplicaciones actuales de IoT, tanto nacionales, como internacionales aplicadas a la fruticultura.

Actualmente, existe escasa o nula oferta de dispositivos IoT comerciales que puedan ser utilizados en la industria agrícola, que puedan comunicarse a través de redes de datos LPWA, ya sea sobre espectro licenciado o compartido. Esto no debe extrañar, ya que tampoco hay una amplia variedad de dispositivos agrícolas XBEE o Bluetooth (en términos generales).

Las tecnologías IoT están en pleno desarrollo y aun el mercado parece estar congelado esperando a que se establezca una definición de los estándares para responder con productos en todas las áreas productivas.

Por lo tanto, más que proveedores de dispositivos agrícolas IoT, lo que se encuentra en el mercado son integradores que, utilizando los módulos necesarios, crean dispositivos IoT. SigFox, LoRa y 3GPP promueven activamente que se masifique el número de empresas o personas particulares que desarrollen dispositivos integrados con sus respectivas tecnologías de radio.

De acuerdo a lo descrito, el elemento sensor o actuador sigue siendo esencialmente el mismo que se ha usado por años en la agricultura. El módulo procesador, por su parte, debe migrar a uno que haga más eficiente el uso de la energía y, finalmente, el módulo transceptor debe corresponder a alguno de los disponibles para tecnologías LPWA.

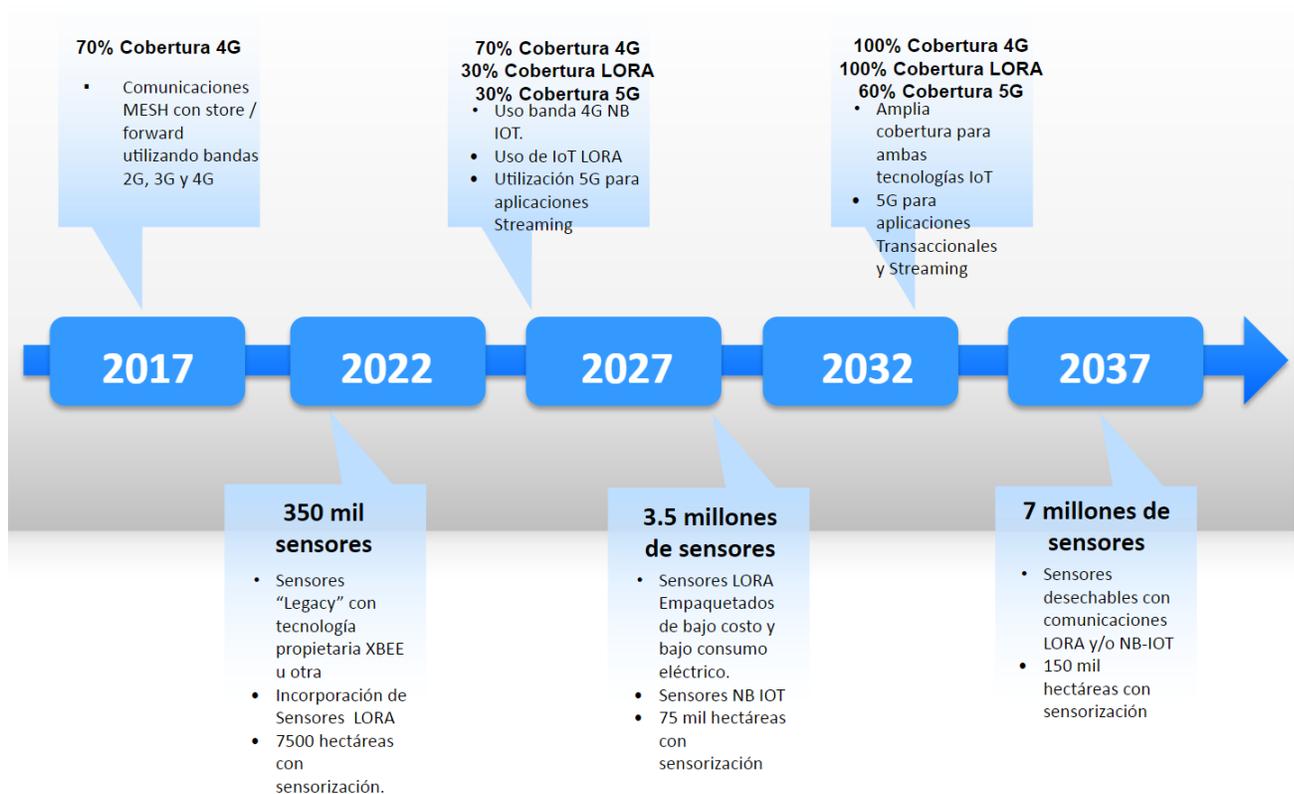
Algunas de las nuevas tecnologías IoT, por su simplicidad y bajo costo, rompen los paradigmas tradicionales del proveedor de servicios de comunicación. Los mismos productores agrícolas podrían llevar conectividad IoT hasta localidades en las que hoy en día no existe cobertura celular de ningún tipo.

La investigación realizada, y expuesta en el informe I, indica que el nivel de tecnificación actual en el sector agrícola no supera el 1%. Este dato, que aparentemente es negativo, se presenta más bien como una oportunidad para promover nuevas tecnologías en el ámbito IoT, más efectivas que las ya utilizadas y a un menor costo. Una política de Estado bien dirigida podría resultar en la adopción masiva de las nuevas tecnologías en un plazo muy breve.

En este informe se propone 2 tecnologías de comunicaciones IoT que son viables para la agricultura de precisión en Chile. Ambas tecnologías pueden ser complementarias.

En el escenario descrito, se presenta una gran oportunidad para que Chile desarrolle su propia tecnología para la agricultura de precisión ad-hoc a las necesidades nacionales. Esta iniciativa podría derivar en que Chile, país reconocido a nivel mundial por sus exportaciones frutícolas, llegue a ser reconocido también como país que exporta tecnología IoT para la agricultura de precisión mundial.

La hoja de ruta o “roadmap” propuesta para soluciones IoT se muestra en la Ilustración 16.



**Ilustración 16: “roadmap” propuesto para soluciones IoT.**

Fuente: Elaboración propia, 2016

La aparición de 5G apunta principalmente a sacar partido de frecuencias altas, lo que hace pensar que tecnologías que se benefician de la baja frecuencia, especialmente aquellas orientadas a IoT (NB-IoT, entre otras) deberían mantener una evolución constante en el tiempo.

Las aplicaciones que se beneficiarán con 5G serán principalmente las de uso personal orientadas a video, voz, las IoT y aplicaciones agrícolas tienen otras características, sin embargo en la medida que la cobertura y su uso avance las aplicaciones relacionadas con “streaming” avanzara su adopción.

Para lograr este objetivo se propone el siguiente plan de acción en un horizonte de 3 años:

Año 1:

- Realizar pilotos para probar, en condiciones reales, las distintas tecnologías LPWA (IoT) viables para la AP.
- Crear una política nacional que tenga foco en la oportunidad de promover a Chile como proveedor de tecnología para la AP. En este ecosistema los actores ya existen, sólo deben ser enfocados en el objetivo planteado. La coordinación es esencial si lo que se quiere es aprovechar la ventana de oportunidad que se presenta hoy.
- Crear un programa de difusión de las tecnologías IoT que se utilizarán en AP. Uso, instalación de estaciones base de bajo costo (considerando el uso de energías renovables, mejores prácticas, etc.).
- Incentivar instituciones educacionales para que incorporen talleres o ramos relacionados con los temas IoT, LPWA y AP.

Año 2:

- Incentivar la adopción de tecnologías LPWA de bajo costo en sectores en los que no exista cobertura 3GPP.
- Crear incentivos para el desarrollo de dispositivos, aplicaciones y servicios en el ámbito IoT para la agricultura de precisión en Chile.
- Crear institucionalidad que certifique la calidad de los productos que se vayan generando en Chile, tanto en el ámbito de hardware, como del software y procesamiento de datos, en general.
- Incentivar que se vayan creando unidades productivas altamente tecnificadas con uso de tecnología IoT, donde pueda manifestarse de manera ostensible los resultados de la tecnificación, tanto en la calidad de los productos agrícolas, la eficiencia productiva de la hectárea, su rentabilidad, etc. Estos centros de excelencia productiva deberían servir al propósito de demostración de resultados, así como para la difusión del uso de la técnica.
- Incentivar la adopción de los productos certificados que se vayan desarrollando para la AP nacional.

Año 3.

- Promover los productos tecnológicos IoT nacionales a través de ferias del ramo a nivel mundial (ProChile).
- Incentivar la exportación de tecnología AP nacional.

El fenómeno fundamental que subyace detrás del desarrollo productivo es la adquisición de capacidades que involucran el manejo de nuevos conocimientos y tecnologías. Para alcanzar este propósito se requiere de una combinación afortunada entre una adecuada intervención estatal, un entorno institucional estable y una sólida iniciativa empresarial.

## 2.2. Estudios comparados entre soluciones de otros países, ver factibilidad de ser replicados en Chile, analizando todo el ecosistema institucional.

El mundo de las TIC se está moviendo en forma ágil para enfrentar el desafío de las IoT. Mes a mes se suman nuevos artículos y libros del tema. Del mundo teórico, el artículo "The study and application of the IoT technology in agriculture", publicado en la prestigiosa "Computer Science and Information Technology (ICCSIT)" de la IEEE, establece muy bien los alcances teóricos de cómo la tecnología está apoyando a la agricultura y, en particular, las IoT.

Literatura adicional es posible encontrarla en diversas fuentes, una simple búsqueda por la clave IoT en Amazon Books entrega más de 544 resultados, si se restringe la clave de búsqueda a "iot agriculture", la lista se reduce a 5 libros de muy buena edición destacando "Systems Architecture of Smart Agriculture Cloud Applications and Services IoT System: General Systems Theory 2.0 at Work", que selecciona 122 artículos que postularon a la conferencia internacional de tecnologías de computación para la agricultura en septiembre del 2015, Beijing. Los artículos tratan todas las áreas de IoT en agricultura, incluyendo sensores inteligentes, monitoreo, automatización y visión computacional; así como, aplicaciones de "big data" y sistemas de soporte de decisión. En este resumen de artículos se encuentra una muy buena visión teórica de la evolución actual y futura.

Desde un punto de vista más bien comercial, se destaca el libro "The Amazon Way on IoT: 10 Principles for Every Leader from the World's Leading Internet of Things Strategies" de Noviembre de 2016, en el que, además de un resumen teórico, tiene un perfil de solución comercial que indica que, dado que el tráfico generado por estas aplicaciones es bajo, se implementarán soluciones basadas en la tarificación por mensaje. Prueba de ello es que Amazon Web Services ofrece un servicio de 5 USD por el procesamiento de 5 millones de mensajes.

De la literatura y estudios revisados se puede inferir o concluir que los operadores y proveedores locales e internacionales orientarán sus servicios hacia el procesamiento de mensajes en las etapas de comunicación y procesamiento, lo que se traduce en una oportunidad para desarrollar el mercado local para orientar sus esfuerzos y desarrollos a liberar productos en esa área.

### Algunas experiencias internacionales que pueden ser aplicadas a la realidad nacional

El monitoreo y control de plagas en los huertos es una técnica que se propone en "Cloud-Based Video Monitoring System Applied in Control of Diseases and Pests in Orchards" de los autores "Xue XiaYun QiuEmail authorLin HuJingchao FanXiuming GuoGuomin Zhou", (DOI: 10.1007/978-3-319-48357-3\_27, Nov 2016) los autores plantean ubicar pequeñas cámaras en el tronco del árbol, de tal forma de visualizar la parte posterior de las hojas las cuales pueden detectar no sólo el crecimiento, sino que también la presencia de plagas y enfermedades. Estas cámaras son ubicadas en ciertos puntos y son accedidas por un teléfono móvil provisto de un software que procesa información en la nube.

Los sensores remotos en la agricultura de USA, descritos en el estudio "Application of Remote Sensing Technology in Agriculture of the USA" (DOI: 10.1007/978-3-319-48357-3\_11, Nov 2016) presenta la situación actual de sensorizado remoto en agricultura y menciona la necesidad de compartir información mediante la integración de las tecnologías de sensores y construir

plataformas tecnológicas que faciliten dicho propósito.

Minería de datos aplicado a la calidad de la fruta se propone en “Commentary on Application of Data Mining in Fruit Quality Evaluation”, (10.1007/978-3-319-48354-2\_51 Nov 2016). Este artículo propone la utilización de técnicas de minería de datos para analizar, mediante algoritmos “fuzzy”, la calidad de la fruta y tener una correlación de ellos en el tiempo.

Existen variados artículos relacionados con la recolección de datos de sensores agrícolas y transmisión de éstos a un centro de cómputo en la nube. Entre ellos se destacan “Design and Implementation of Greenhouse Remote Monitoring System Based on 4G and Virtual Network” 10.1007/978-3-319-48354-2\_45”, todos los artículos revisados proponen lo mismo, pero utilizando distintas tecnologías. Algunos proponen nodos conectados directamente con dispositivos GSM, otros, mediante dispositivos de radiofrecuencia, y algunos proponen dispositivos IoT conectados directamente hacia un nodo de retransmisión del tipo LoRa (<https://www.link-labs.com/blog/iot-agriculture>).

### 2.3. Desafíos que enfrenta el país en materia de desarrollo de tecnologías IoT y las brechas existentes

La incorporación de Tecnología dentro de la cadena de valor es condicionante para desarrollo del sector, mejora los niveles de competitividad, por lo que identificar las debilidades existentes permite detectar las brechas existentes en el país para la adopción de ésta por parte de los productores agrícolas.

Para identificar los principales retos de la agricultura chilena en el contexto de los desafíos mundiales, el Banco Mundial (World Bank, 2011) desarrolló un estudio con el fin de definir las necesidades para el futuro desarrollo del sector en Chile. Como los principales desafíos para los próximos quince años se identifican:

- El manejo de sus recursos naturales de una manera sostenible y los efectos del cambio climático
- El acceso a los mercados
- La investigación y desarrollo

Debido a que existen diversos avances en tecnología, para las diferentes etapas de la cadena de valor y sin un contexto de estandarización, se vuelve complejo asegurar que las soluciones que se están implementando sean compatibles con otros sistemas.

Al analizar estas nuevas tecnologías, se evidencia que la agricultura nacional dispone de un capital humano de baja calificación en capacidades de adopción e implementación tecnológica. La escasez de recurso humano capacitado es uno de los mayores problemas que el país deberá resolver, si desea canalizar eficientemente la inversión en investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) en el sector. Esto se debe a dos razones principales: la baja cantidad de profesionales tecnológicos especializados en Ciencias Agrícolas y el bajo nivel técnico de los agricultores. [2]

Por otra parte, se observa que el proceso de integración tecnológica en la cadena productiva de la

industria de agro alimentos de exportación debe cubrir desde el cultivo al proceso de distribución, considerando en su integración la información de trazabilidad de todas las variables relevantes en la cadena completa. Dentro de las variables relevantes se encuentran las de calidad, inocuidad, uso de agua, entre otras. Para lograr que esta información sea transversal a los procesos y genere información que pueda mejorar la calidad de la producción, es necesario contar con estándares en la información y los procesos. [2]

La adopción de tecnología y la integración de los procesos, se debe hacer basado en un eje estructural de interoperabilidad de la información y los sistemas. Esto permite que la tecnología aplicada en los distintos puntos de la cadena de valor, se relacionen y permitan la interrelación, la comunicación y el traspaso de información de valor entre los distintos actores de manera oportuna, eficiente y eficaz, permitiendo desarrollar mejoras en los procesos con la mayor cantidad de información disponible. Un concepto importante que se asocia a este eje y su potencial a mediano plazo es la integración total de tecnologías de IoT a los procesos de la cadena de valor.

Las soluciones existentes de automatización en agricultura de precisión, en general, no contemplan integración y/o interoperabilidad con otras soluciones, a no ser que éstas sean provistas por el mismo fabricante.

A través de la adopción de estándares que faciliten la interoperabilidad, la industria tecnológica podría habilitar la integración de los sistemas de alto nivel desarrollados por nuevos actores, fomentando la competitividad en la industria tecnológica, donde numerosas empresas podrán proporcionar diversos subsistemas.

Para lograr fomentar esta adopción de estándares en la industria, es necesario analizar los estándares que están siendo utilizados en el mundo y que ya se han mencionado en este estudio, fomentando la integración y/o interoperabilidad entre componentes y sistemas. De esta forma, es indispensable establecer un modelo común para las diferentes componentes tecnológicas en la cadena de producción de agro alimentos, orientado a satisfacer los requerimientos de información para la toma de decisiones de cada uno de sus actores y en consecuencia asegurar la información de trazabilidad en cada uno de sus eslabones.

Tal como se ha mencionado anteriormente, la fabricación de dispositivos IoT no es diferente de la fabricación de dispositivos con tecnologías más tradicionales, como aquellas que se utilizan hoy en día en la agricultura. En Chile existe un número creciente de empresas que desarrollan sistemas electrónicos de toda índole y con altos estándares de calidad. Las mismas empresas realizan complejas integraciones entre los sistemas electrónicos y toda clase de aplicaciones TI que utilizan a la Internet como medio para comunicar procesos y desplegar resultados.

Chile es reconocido en todo el mundo como país exportador de frutas de excelente calidad. Esta impronta debe ser aprovechada para que se comience a asociar a Chile como un proveedor de soluciones de Clase Mundial para la agricultura de precisión.

A partir de este estudio se deduce que no existe un gran desarrollo de sensores o actuadores orientados a la agricultura con tecnologías de comunicación LPWA y que el crecimiento de la industria IoT, en general, será exponencial.

---

**“Se puede estar frente a una oportunidad única para poner a Chile a la vanguardia del desarrollo tecnológico en el nicho de la agricultura de precisión”.**

Para aprovechar esta oportunidad se requiere de un plan de acción ejecutado con rapidez, ya que el resto de los países no va a esperar a que Chile se decida a producir soluciones de Clase Mundial para la agricultura de precisión.

En este informe se ha propuesto la adopción de 2 tecnologías IoT: NB-IoT en espectro licenciado y LoRa en espectro compartido.

Para que en Chile se vayan desarrollando dispositivos IoT y sistemas estandarizados para el procesamiento y despliegue de los datos, se debe coordinar a todos los actores del ecosistema chileno del sector agrícola y se debe crear una entidad cuya única misión sea certificar los productos que vayan apareciendo para garantizar los más altos estándares de calidad tecnológicos y de diseño industrial, al mismo nivel que cualquier otro país industrializado.

Para lograr el objetivo planteado se debe impulsar y desarrollar un ecosistema en el sector agrícola con foco en aprovechar y reorientar a los actores del ecosistema para que aporten en la dirección de la oportunidad industrial y económica que se presenta.

La Ilustración 7 presentado en el informe de la Etapa 1 de este estudio da una visión general de las instituciones públicas y privadas que actualmente son relevantes en el sistema de innovación agrícola chileno.

## 2.4 Propuesta de soluciones IoT aplicables en la fruticultura

Las soluciones IoT en la fruticultura se presentan a continuación:

### Tecnología de Radio

Para hacer frente al número de dispositivos IoT (sensores, actuadores, otros) que formarán parte de la Agricultura de Precisión (AP), se propone que en Chile se adopten dos soluciones de redes LPWA: NB-IoT y LoRa. La primera, un estándar propuesto por 3GPP, la segunda, una tecnología propietaria, pero abierta.

NB-IoT es una tecnología muy reciente, cuyo estándar fue publicado en junio de 2016. Desde el punto de vista técnico, NB-IoT cuenta con características sobresalientes, en comparación con otras tecnologías LPWA (al menos en su especificación, ya que las experiencias de implementación, todavía están en el terreno de lo experimental). Si bien es cierto, NB-IoT es un estándar, la infraestructura necesaria para su despliegue corresponde a la infraestructura LTE o 4G, que por su complejidad y elevados costos, se ha mantenido en el dominio de los operadores celulares y grandes empresas privadas.

LoRa, por su parte, es una tecnología propietaria, pero abierta; es decir, cualquier empresa o persona particular con la experiencia necesaria, puede crear dispositivos, estaciones base, gateways y software ad-hoc. En comparación con NB-IoT, LoRa cuenta con algunos años en el

mercado, siendo una tecnología madura y de gran difusión mundial. Desde el punto de vista de la infraestructura, es conveniente señalar que las estaciones base LoRa pesan alrededor de 2 Kg y su costo no supera los USD \$1000. Estas características hacen de LoRa la tecnología LPWA más apropiada para superar la brecha que existe hoy en la penetración de tecnologías estándar, pudiendo convertirse en un habilitador de la AP en zonas extremas o de difícil acceso. Una estación base LoRa puede atender un número cercano a los 60.000 dispositivos, en un área de cobertura de mayor extensión que otro tipo de aplicaciones.

### Recopilación de datos, publicación y acciones

Para el manejo de los datos en la Nube (Internet) se recomienda adoptar únicamente servicios de broker que sigan estándares MQTT (MQ Telemetry Transport) que es un estándar ISO (ISO/IEC PRF 20922), un protocolo liviano de publicación y suscripción de mensajería sobre protocolo TCP/IP para transferencia de pequeños paquetes de datos. El “broker” es responsable de distribuir los mensajes a los clientes suscritos. También, en algunos casos, el broker puede ser configurado para tomar acciones simples, como por ejemplo, abrir una válvula de riego cuando la humedad del suelo este bajo ciertos límites.

El estándar MQTT se ha mantenido vigente desde 1999, encontrándose disponible para toda clase de sistemas operativos y gran número de aparatos, incluyendo one-board PCs, tales como, Arduino, Beagle Bone, Raspberri Pi y otros. Adicionalmente, se encuentran disponibles implementaciones para LoRa y otras tecnologías de radio LPWA.

La estabilidad de este protocolo, así como su grado de adopción, permite asegurar que se mantendrá como el estándar de la industria IoT por muchos años.

Toda la información necesaria puede ser encontrada en el sitio Web de la organización que mantiene el estándar, <http://mqtt.org/>

### 2.5. Aspectos tecnológicos que deben ser abordados para una buena implementación de las soluciones IoT para fruticultura.

Los aspectos tecnológicos que deben ser abordados para una buena implementación de soluciones IoT para la fruticultura se describen a continuación:

#### Penetración de las señales IoT

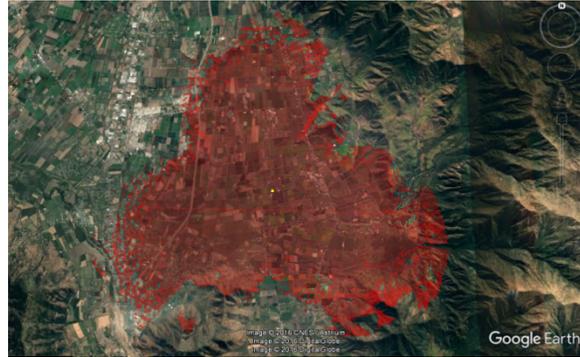
Las tecnologías asociadas a las comunicaciones de dispositivos IoT pertenecen al grupo de las LPWA. Esto quiere decir que para aplicaciones IoT, el *link budget* aumenta en, por lo menos, 15dB, llegando, incluso, a 20dB por encima de aplicaciones de otra naturaleza, tales como requerimientos transaccionales o de streaming.

Un factor que incide directamente en el aumento de cobertura es la frecuencia de transmisión. Es sabido que mientras menor sea la frecuencia, mayor será la capacidad de penetración de las ondas electromagnéticas a través de muros o bajo tierra. Una mayor penetración influye en un mayor alcance o área de cobertura de la antena. Una muestra de esto puede sensibilizarse en las Ilustraciones 17 y 18, que muestran el área de cobertura de una estación base NB-IoT en la banda

de los 700 MHz, comparada con una estación base con idénticas características, sólo que en la banda de los 450 MHz.



**Ilustración 17: Cobertura 700 MHz**  
Fuente: Huawei Chile.



**Ilustración 18: Cobertura 450 MHz**  
Fuente: Huawei Chile.

### Parámetros de predicción

Ubicación de la estación base: Latitud: 33 ° 50' 25.48" S, Longitud: 70° 40' 0.83" O, (Comuna de Paine).

**Modelo de propagación:** Hata general

**Frecuencia:** 700 MHz

**Tipo de antena en estación base:** antena de 3 sectores

**Altura de antena de estación base:** 30 m

**Características de módulo transceptor:** u-blox Sara-N

**Potencia recibida en el borde de la celda:** -118 dBm (RSRP).

La capacidad de penetración de las ondas electromagnéticas de baja frecuencia tiene una incidencia directa en la AP, ya que algunas aplicaciones podrían requerir que los sensores se encontrasen enterrados, junto con las semillas o en contacto con las raíces de las plantas. Una experiencia empírica en este sentido fue desarrollada por la empresa nacional Blue Shadows, quienes fueron los ganadores del 2do desafío propuesto por Telefónica I+D Chile. En la experiencia, la empresa fabricó un dispositivo de medición de variables agronómicas de bajo costo con tecnología LoRa. Como parte de la experiencia, el dispositivo quedó enterrado a distintas profundidades midiendo variables del suelo en un viñedo de la zona central.

### 2.6. Estándares de comunicación para redes de sensores

Los estándares para la comunicación en las redes de sensores se iniciaron utilizando tecnología clásica de transceptores UHF/VHF, este tipo de tecnología es utilizada desde aplicaciones civiles a militares, uno de sus principales inconvenientes es su elevado costo unitario y la potencia de transmisión orientada a cubrir las 20 millas de LoS ( Line Of Sight o Línea de Vista, en español), para lo cual la industria desarrolló dispositivos de comunicación con menor potencia en las bandas compartidas como 315 MHz, o 433 MHz; sin embargo, dado que eran comunicaciones analógicas tipo estrella, persistía el requerimiento de consumo de energía. Esta problemática fue bien abordada desde el año 2006 en adelante por los estándares Zigbee, impulsada principalmente por la empresa Digi y sus módulos de comunicación XBEE que mediante dispositivos pequeños, de

relativo bajo costo y de bajo consumo, se construyan redes colaborativas de datos (Mesh) para llegar a un punto de transmisión Gateway, hasta ahora ha sido un buen “estándar de facto”, que tiene sus pequeñas complejidades en relación a la arquitectura y configuración de redes, esta misma complejidad hace que los nuevos dispositivos LPWA retomen la simplicidad de la arquitectura estrella inicial, pero con tecnología de bajo consumo y potencia.

Tal como se ha señalado en puntos anteriores, se recomienda que los dispositivos utilizados en la agricultura de precisión en Chile sean del tipo LPWA (bajo consumo eléctrico y amplia cobertura). En el estudio se recomienda específicamente el uso de 2 tecnologías LPWA: tecnología NB-IoT y LoRa. Estas dos tecnologías se comunican con sus respectivas estaciones base en una topología estrella, simplificando el hardware necesario para su habilitación, que se reduce simplemente a los sensores (o actuadores) y la estación base.

## BIBLIOGRAFÍA

1. “Exportación Chilena de Almendras, Marzo (2016)”, Servicios Informativos PriComReit,
2. Banco Mundial, Gobierno de Chile (2011). Sistema de Innovación de la Agricultura Chilena, “Un Plan de Acción hacia el 2030”

## Bibliografía Complementaria

1. Mobile Experts Report (2016). "Mobile and Wide-Area IoT: LPWA and LTE connectivity", Enero, 2016.

## Enlaces Externos Complementarios

1. <http://www.rfwireless-world.com/Terminology/LoRa-technology-basics.html>
2. [www.ingenu.com](http://www.ingenu.com)
3. <http://www.link-labs.com/sigfox-vs-lora/>
4. <http://www.gsma.com/connectedliving/wp-content/uploads/2016/10/3GPP-Low-Power-Wide-Area-Technologies-GSMA-White-Paper.pdf>
5. <http://www.ingenu.com/2016/03/spectacular-stories-of-rpms-robustness/>

## Anexo 1

# IoT Estado del Arte

## Tendencia Mundial y Nacional

2017-01-27

### A.1 Estado del arte de las tecnologías asociadas a IoT/M2M

Para poner en perspectiva lo disruptivo que significa la comunicación entre las cosas (IoT/M2M), se debe tener en consideración que actualmente, a nivel mundial, se está alcanzando a 10 mil millones de conexiones de voz y de banda ancha, en tanto que, de acuerdo a expectativas de GSA, se esperan 75 mil millones de “cosas” conectadas para 2025 y se predice que para 2040 habrá 500 mil millones de cosas conectadas en el mundo.

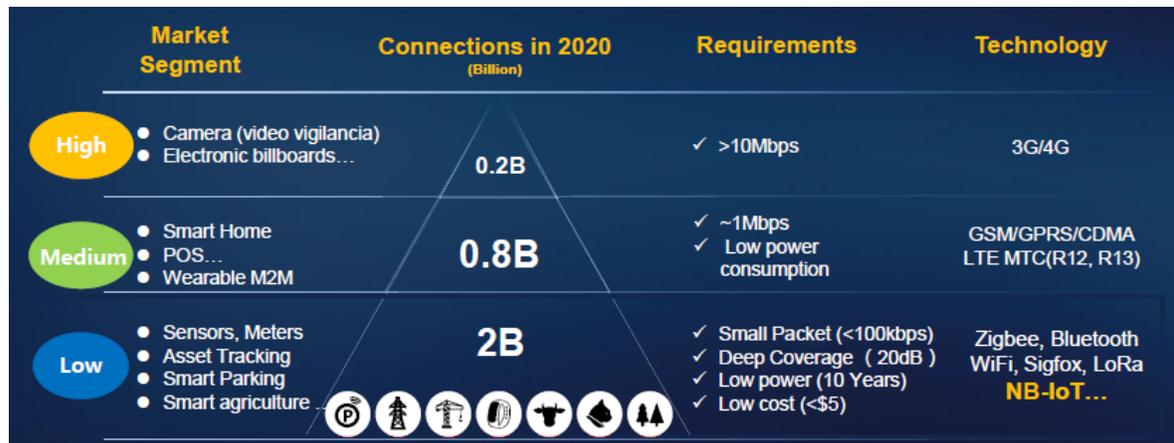


Ilustración 19: Predicción del número de “cosas” que estarán conectadas para el año 2020

En la ilustración 19, la unidad “B” se refiere a “miles de millones”. Frente a esta situación se ha visto el nacimiento de múltiples tecnologías en las que se utilizará espectro licenciado y no licenciado, las que por sus características tendrán sus ventajas y desventajas, debiendo tomar en cuenta sus estándares, ecosistemas, seguridad, administración y operación. Éstas podrán ser redes de señales de radio terrestres, satelitales o fijas, que tendrán mayor o menor ancho de banda, alcance, cobertura, etc.

En esta investigación no se consideran las tecnologías de comunicación de corto alcance, tales como, WiFi HaLow, BlueTooth, ZigBee u otras. De acuerdo a lo anterior, se centrará la atención en las tecnologías denominadas LPWA (Low Power, Wide Area (Networks)) y a los ecosistemas que al día de hoy han demostrado mayor aceptación en la industria y, consistentemente, mayor difusión a nivel mundial.

<sup>10</sup> Este cuadro aparece representado en múltiples publicaciones. La ilustración es tomada desde la presentación IoT de Huawei

Las tecnologías LPWA comparten un conjunto de aspectos fundamentales:

- **Largo Alcance:** Los dispositivos pueden ubicarse hasta 10 kilómetros del gateway, dependiendo de la tecnología utilizada y morfología de la zona geográfica.
- **Bajas tasas de transferencia de datos:** Menos de 5.000 bits por segundo. A menudo sólo 20-256 bytes por mensaje, que se envían varias veces al día.
- **Bajo consumo de energía:** La batería puede durar entre 5 y 10 años.
- **Red en topología estrella:** Los dispositivos en una topología estrella se comunican directamente a los puntos de acceso, a diferencia de otras topologías, como la topología de malla, por ejemplo.

Existe un gran número de tecnología LPWA. Sólo para mencionar algunas: LoRa, SigFox, RPMA, Weightless (P, N, y W), Qowisio, NWave, Telensa, DART y otras. Entre ellas, y como las más difundidas a nivel mundial, se deben mencionar las tecnologías propietarias LoRa y SigFox, las que han acaparado la atención de las operadoras celulares, en las que se profundizará más adelante.

Adicionalmente, se debe mencionar a la tecnología RPMA (Random Phase Multiple Access) propiedad de la empresa Ingenu que, aunque no tiene la misma orientación, ni difusión que LoRa y SigFox, ya está presente en Chile con una aplicación muy interesante en el área de la distribución eléctrica y con un representante nacional, la empresa Parallel-Chile. Las tecnologías IoT más recientes corresponden a las propuestas por el 3GPP, cuya especificación apareció en junio de 2016.

### A.1.1 IoT en Espectro no licenciado.

#### LoRa (Long Range radio)/LoRaWAN<sup>11</sup>

Es una alianza entre varias empresas de las áreas TIC, entre ellas, compañías de telecomunicaciones multinacionales, fabricantes de equipos, integradores de sistemas, fabricantes de sensores, semiconductores y empresas emprendedoras. Esta tecnología está basada en redes de datos LPWA (Low Power Wide Area {Networks}) lo que le permite ofrecer los servicios claves para IoT a nivel nacional, regional y global.

Habitualmente, se utilizan los términos LoRa y LoRaWAN y se intercambian, pero hay diferencias. Sin ingresar a un análisis muy técnico, esto tiene que ver con las capas de comunicaciones y de red. LoRa, es la capa física o la modulación inalámbrica que crea el enlace de comunicaciones de largo alcance. LoRaWAN tiene que ver con el protocolo de comunicaciones y la arquitectura del sistema especificado por la Alianza LoRa.

Especificación/Características	Soporte LoRa
Alcance	3-5 Km en áreas urbanas densas. 10-15 Km en

<sup>11</sup> <http://www.rfwireless-world.com/Terminology/LoRa-technology-basics.html>

	áreas sub urbanas
Banda de Frecuencia	Banda ISM 868 MHz y 915 MHz; sin embargo, hoy están disponibles en el mercado, módulos configurables que parten desde los 430 MHz
Estándar	Abierto
Modulación	Utiliza tipo de modulación de espectro extendido, utiliza pulsos lineales FM de banda ancha. La frecuencia se incrementa o disminuye sobre ciertos períodos donde se codifica la información a ser transmitida. Provee 30dB de mejoramiento respecto de FSK
Capacidad	Un Gateway LoRa soporta aprox. 60.000 dispositivos
Duración Batería	Mayor a 10 años
Característica	Comunicación bidireccional Capacidad de encriptación
Capa física LoRa	Se encarga de la frecuencia, energía, modulación y señalización entre los nodos y el Gateway.

Tabla 15: Características técnicas de LoRa

## SIGFOX<sup>12</sup>

Es una empresa francesa, que cuenta con una red global en continuo crecimiento y con fuerte presencia en Europa, América y Asia. Actualmente, se encuentra en un período de expansión, intentando llevar su tecnología a todos los continentes.

Es un sistema similar a los sistemas celulares que conecta los dispositivos remotos utilizando tecnología UNB (Ultra Narrow Band). Su objetivo es proveer comunicación para aplicaciones de baja velocidad y pequeñas cantidades de datos (12 bytes por mensaje). Requiere de una menor cantidad de antenas que las redes celulares convencionales GSM/CDMA.

<b>Especificación/Características</b>	<b>Soporte SigFox</b>
---------------------------------------	-----------------------

<sup>12</sup> <http://www.rfwireless-world.com/Terminology/SIGFOX-technology-basics.html>

Alcance	3-10 Km en áreas urbanas densas. 30-50 Km en áreas rurales.
Banda de Frecuencia	Banda ISM 868 MHz y 915 MHz
Estándar	Propietario
Modulación	Binary Phase-Shift Keying (BPSK)
Capacidad	Un Gateway SigFox soporta aproximadamente 1.000.000 de dispositivos.
Duración Batería	Mayor a 10 años

Tabla 16: Características técnicas de SigFox

### INGENU<sup>13</sup>

Es una empresa estadounidense que opera desde 2008 con el nombre de On-Ramp. Posteriormente, en 2015, cambió su nombre a INGENU. Ingenu cuenta con 38 redes privadas en 20 países, siendo Estados Unidos el mayor de sus mercados. Su principal foco ha sido la industria del petróleo, energía y agricultura. Hoy en día, Ingenu está construyendo una red pública LPWA en los Estados Unidos, a la que llaman Machine Network con una meta de 100 áreas metropolitanas cubiertas a finales de 2017.

Es un sistema basado en tecnología propietaria, a la que llaman RPMA (Random Phase Multiple Access). Requiere de una menor cantidad de antenas que otras tecnologías. Su cobertura puede alcanzar los 50 Km en baja potencia.

Ingenu, originalmente, fabricaba su propia electrónica; sin embargo, recientemente firmó un convenio con Ublox para la fabricación de módulos RPMA para su despliegue mundial. Su estrategia comercial ha sido asociarse a grandes fabricantes de sensores y actuadores para que incorporen la tecnología RPMA en sus productos, siendo uno de ellos GE Digital Energy, que fabrica medidores eléctricos para hogares. Adicionalmente, el modelo de negocios de Ingenu se parece mucho al de SigFox, como se verá más adelante. Ingenu otorga licencias de su tecnología a uno o más proveedores de servicios en un país o región.

Especificación/Características	Soporte RPMA
Alcance	3-10 Km en áreas urbanas densas. 30-50 Km en áreas rurales.
Banda de Frecuencia	Banda ISM 2.4 GHz.

<sup>13</sup> [www.ingenu.com](http://www.ingenu.com)

Estándar	Propietario
Capacidad	Un Gateway Ingenu soporta aprox. 1.000 dispositivos.
Duración Batería	Mayor a 10 años

Tabla 17: Características técnicas de RPMA

### Diferencias en los modelos de negocio entre SigFox y LoRa<sup>14</sup>

#### SigFox

SigFox cuenta con una red mundial de operadores. De acuerdo con la información del sitio web de SigFox, al día de hoy tiene presencia en 26 países, cuenta con una cobertura de 1.6 millones de Km<sup>2</sup> y atiende a una población de 424.000.000 de personas<sup>15</sup>.

En cuanto a su modelo de negocios, SigFox adopta un enfoque descendente. La compañía es propietaria de toda su tecnología, desde los datos de back-end y el servidor en la nube hasta el software de los dispositivos terminales (sensores/actuadores). SigFox es, esencialmente, un mercado abierto para los dispositivos terminales. SigFox entrega su tecnología de dispositivo terminal a cualquier fabricante o proveedor de silicio que lo desee, siempre y cuando se acuerden ciertas condiciones comerciales. Grandes fabricantes como STMicroelectronics, Atmel y Texas Instruments fabrican radios SigFox. SigFox piensa que permitir que la aplicación sea realmente barata es la forma de atraer a clientes a su mercado.

Los dispositivos terminales SigFox utilizan radios MSK (Minimum-Shift Keying) de productos básicos y son relativamente baratos. Se puede obtener un chip por unos pocos dólares y un módulo transceptor por menos de US\$10 en volúmenes altos, por lo que los socios de SigFox no están gastando mucho dinero en hardware. SigFox hace su dinero haciendo que los operadores de red paguen regalías por revender su pila de tecnología a los clientes. En otras palabras, SigFox regala a los habilitadores de hardware, pero vende el software/red como un servicio. En algunos casos, la empresa realmente despliega la red y actúa como operador de ésta. Este es el caso en Francia, Alemania y en los Estados Unidos. La empresa brasileña WND se encargará de la comercialización de SigFox en Latinoamérica.

#### LoRa<sup>9</sup>

La Alianza LoRa tiene una estrategia diferente. Son más abiertos que SigFox, estrictamente porque la especificación que rige cómo se gestiona la red es relativamente

<sup>14</sup> <http://www.link-labs.com/sigfox-vs-lora/>

<sup>15</sup> Este dato, del propio fabricante, se usa para indicar la penetración en el caso de aplicaciones conocidas como Smart Cities.

abierta. Se puede descargar las especificaciones y unirse a la alianza Lora, y cualquier fabricante de hardware puede construir una estación base o gateway que cumpla con las especificaciones de LoRa. Hasta hace algunos meses, una de las principales críticas que se le hacía a la Alianza era que sólo existía un fabricante de módulos de radio (Semtech); sin embargo, la Alianza ha generado una rápida respuesta, encontrándose disponibles en el mercado, hasta la fecha del informe, 4 nuevos proveedores de módulos transceptores, y 7 más, en proceso de certificación.

Un aspecto positivo sobre el estándar abierto de LoRa es su potencial para ser muy flexible. Lo que significa que este no va a ser impulsado por una empresa específica, sino por la alianza de instituciones. En la práctica, esto hace que el desarrollo sea un poco más lento, porque los estándares son desarrollados por el comité de la alianza.

La Alianza LoRa cree que la apertura crea la adopción, por lo que los miembros insisten en que cualquiera puede unirse a la Alianza y construir hardware para apoyarla. La estrategia aquí es ver cómo las compañías que adoptan LoRaWAN pueden agregar valor.

Al igual que SigFox, La alianza LoRa está interesada en que los operadores de red desplieguen la red LoRa, pero también quiere que las empresas privadas y las empresas startups de todos los países lo hagan. Para permitir esto, están comenzando a preocuparse del roaming. El negocio y la tecnología en torno a esta idea no se desarrolla aún, por lo que uno de los próximos pasos será averiguar cómo permitir el roaming desde su red pública a la red privada y entre redes de otros proveedores.

### A.1.2 IoT en Espectro Licenciado

En el espectro licenciado los operadores móviles implementan las tecnologías más adelante descritas, las que han sido estandarizadas por 3GPP (3rd Generation Partnership Program), que recientemente, en el Realese 13<sup>16</sup> de 4G, propone las normas para dar cuenta de la problemática IoT/M2M en redes celulares, las que, a través una modificación de sus redes, ofrecen una gran variedad de beneficios al mercado.

Operando en las bandas de espectro licenciado, han emergido tres normas que se utilizan para dar cuenta de los diversos requerimientos del mercado IoT, siendo estas:

- EC-GSM-IoT (Extended Coverage GSM for Internet of Things)<sup>17</sup>,
- LTE MTC Cat M1, también referida como LTE-M (Long Term Evolution Machine Type Communications Category M1)<sup>12</sup> y
- Narrowband IoT (NB-IoT)<sup>12</sup>

<sup>16</sup> Aparecido en junio de 2016

<sup>17</sup> <http://www.gsma.com/connectedliving/wp-content/uploads/2016/10/3GPP-Low-Power-Wide-Area-Technologies-GSMA-White-Paper.pdf>

Estas tecnologías estandarizadas poseen muchas características que las hacen particularmente atractivas:

- Bajo consumo de energía (en el orden de los nano amperes) que permite a los dispositivos operar por sobre 10 años.
- Bajo costo de los módulos transceptores (sensores/actuadores). Aunque todavía por encima del valor de los dispositivos LoRa y SigFox.
- Mejora en la cobertura outdoor y penetración indoor comparada con las tecnologías existentes.
- Conexiones seguras y fuerte autenticación.
- Transferencia de datos optimizada (soporta pequeños e intermitentes bloques de datos).
- Topología de red simplificada y de fácil despliegue.
- Integrada a plataformas IoT/M2M unificadas/horizontal que los operadores ya poseen, tales como Fiware, Cisco Jasper y otras.
- Escalabilidad de la red para mejorar capacidad.

A continuación, una breve descripción de las características técnicas de cada una de ellas:

#### EC-GSM-IoT

La optimización hecha en EC-GSM-IoT tiene compatibilidad hacia atrás con los Releases previos para permitir la introducción de la tecnología en las redes GSM existentes como un upgrade de software en la red de radio y también en el core de la red, permitiendo la cobertura desde el primer día, facilitando su “time to market”. Al mismo tiempo, esta compatibilidad hacia atrás incluye el compartir los recursos entre EC-GSM-IoT y los servicios de las redes de paquetes legada para permitir una introducción gradual de la tecnología, sin tener la necesidad de reservar recursos dedicados para la IoT. EC-GSM-IoT se ha diseñado para ofrecer cobertura IoT/M2M en lugares con condiciones desafiantes de cobertura de radio.

Desde el punto de vista de los dispositivos, EC-GSM-IoT podría ser implementada en plataformas EGPRS existentes o en versiones desprovistas de plataformas existentes de manera de aprovechar la reducida complejidad de EC-GSM-IoT. Las optimizaciones se pueden resumir en: adaptación de la capa física para el soporte de cobertura extendida, racionalización de la capa de protocolo para minimizar la complejidad de los dispositivos, mejorar las capas superiores para aumentar la vida de la batería y la introducción de un marco de seguridad comparable con los estándares 4G. La contraindicación es que para que se pueda usar, se requiere módulos transceptores que implementen las nuevas características IoT y, hasta la fecha de este informe, no se ha detectado que exista módulos transceptores EC-GSM-IoT disponibles comercialmente.

#### LTE MTC Cat M1

En el Release 13 de 3GPP, se especificó un dispositivo Cat-M1 con tres objetivos

principales: reducir la complejidad del dispositivo Cat-0 (definido en Releases previos), aumentar la cobertura en, al menos, 15 dB y mejorar la duración de la batería, permitiendo, al mismo tiempo, la reutilización de la base instalada LTE. La principal reducción de costos para Cat-M1 de Cat-0 fue reducir el ancho de banda a seis bloques de recursos físicos (PRB) (1.08MHz) (PRB es parte de la especificación del 3GPP del Carrier Agregación en LTE Advanced para incrementar el ancho de banda) y se conoce como un dispositivo con límite de ancho de banda (BL) en las especificaciones 3GPP. Debido a esta limitación de ancho de banda, se especificó un nuevo canal de control y un mecanismo de salto de frecuencia. Sin embargo, dado que la mayor parte de la señalización transmitida por la LTE legada para la sincronización y la información del sistema se envía en seis PRB, estos canales no necesitan ser rediseñados o re-emitados sólo para dispositivos Cat-M, reduciendo significativamente la sobrecarga de señalización.

Además, se ha especificado una nueva opción de amplificador de potencia (PA) de 20 dBm y con esta nueva clase de PA y todas las demás reducciones de complejidad, la integración en un único circuito de silicio se hizo práctica, reduciendo aún más los costes. Cat-M1 permite una larga duración de la batería de más de 10 años para una amplia gama de casos de uso de comunicación, principalmente a través del uso del modo de ahorro de energía PSM (Power Saving Mode) y de la recepción discontinua en modo inactivo extendido eDRX (Extended Discontinuous Reception), para el plano de control de IoT celular (CIoT) y plano de usuario del Evolved Packet System (EPS) para la transmisión de datos pequeños. Incluso con la complejidad reducida, los dispositivos Cat-M1 todavía proporcionan muchas características similares a los dispositivos LTE legados, tales como movilidad en modo conectado y transferencias continuas, programación eficiente de paquetes de frecuencia mediante programación semi persistente (SPS) y paquetes de baja latencia mientras están conectados. Todas estas características abren la posibilidad de que un dispositivo CAT-M1 integre voz en aplicaciones IoT en algunos modos de cobertura.

### Narrowband IoT

El IoT de banda estrecha (NB-IoT) es una especificación de 3GPP Release 13 que reutiliza varios principios y bloques de construcción de la capa física del LTE y capas de protocolo más altas para permitir la rápida estandarización y desarrollo de productos. NB-IoT ha sido diseñado para ofrecer una mayor cobertura en comparación con las redes GSM tradicionales. NB-IoT puede mejorar la capacidad de uplink para usuarios en zonas de mala cobertura a través de transmisiones de un solo tono. Nuevas señales de la capa física y canales, tales como, señales de sincronización y canal de acceso aleatorio físico, se diseñaron para satisfacer el exigente requisito de cobertura extendida y la baja complejidad del dispositivo.

Se simplifican mucho los protocolos más altos, la señalización y los requisitos de procesamiento de capas físicas con el fin de reducir el consumo y la complejidad del dispositivo. Todas las referencias al dispositivo NB-IoT en este documento es para la

---

categoría NB1 (CAT-NB1).

La duración de batería de más de 10 años permitirá la proliferación de una gran variedad de dispositivos para los distintos casos de uso. Además de las características del diseño de la capa física, tales como, relación de potencia pico a promedio (PAPR) en la tecnología de transmisión, el consumo de energía del dispositivo se optimiza mediante el uso de la característica del PSM y eDRX. La complejidad de los dispositivos NB-IoT puede ser incluso menor que la de los dispositivos GSM, debido a los cambios en la señal de sincronización y procedimientos de capa física simplificados (por ejemplo, HARQ de proceso único y relaciones de temporización), simplificando el procesamiento de la señal recibida, lo que apoya el objetivo de un dispositivo de muy bajo costo. Usando un direccionamiento compatible con LTE, NB-IoT puede coexistir con LTE. Además, NB-IoT en operación puede coexistir con 2G / 3G / 4G, de acuerdo a las evaluaciones del 3GPP.

## Cuadros comparativos Alcance v/s Tasas de transmisión

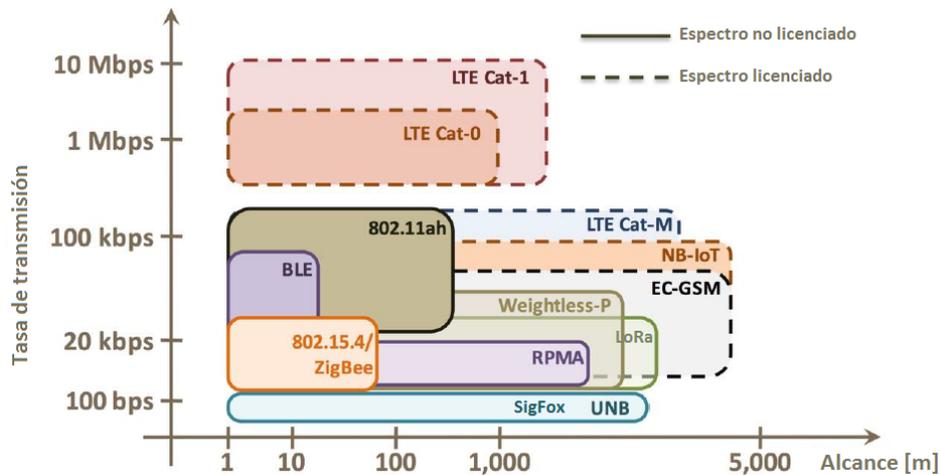


Ilustración 20: Comparación del Alcance vs Tasa de transmisión de las principales tecnologías IoT<sup>18</sup>

En el gráfico comparativo de la Ilustración 19, es posible apreciar que SigFox tiene un alcance ligeramente inferior al de LoRa y que su tasa de transmisión de datos es inferior a las que puede alcanzar LoRa.

Ranking	Alcance indoor de la celda		Capacidad
	EEUU	Europa	
1	LoRa	LoRa	RPMA
2	SigFox	Weightless-P	SigFox
3	Weightless-P	SigFox	LoRa
4	RPMA	RPMA	

**Nota:** Al momento del reporte, no había información disponible acerca de la capacidad de la estación base Weightless-P

Tabla 18: Comparación del alcance indoor y la capacidad de las tecnologías IoT

Debido a las regulaciones locales, existe una diferencia en el alcance indoor para Estados Unidos vs Europa. En términos de la Capacidad (número total de dispositivos IoT suscriptores soportados por la estación base), SigFox supera a LoRa, situándose cerca del millón de dispositivos, en tanto que LoRa está en el orden de las decenas de miles. En el cuadro presentado por la prestigiosa Mobile Experts, no aparece la tecnología NB-IoT, la que se ubicaría por encima de LoRa y por debajo de SigFox, con capacidad del orden de una centena de miles de dispositivos suscriptores<sup>19</sup>.

Rendimiento	Duty Cycle	Tiempo que tarda en enviar 12 bytes	Número de mensajes por día	Tiempo que tarda en enviar mensaje de 100 bytes	Duración de la batería Bat. 5000 mAH Mensaje de 50 bytes – 1
-------------	------------	-------------------------------------	----------------------------	---	--

<sup>18</sup> Mobile Experts Report: "Mobile and Wide-Area IoT: LPWA and LTE connectivity", Enero, 2016.

<sup>19</sup> Fuente: Información proporcionada por Huawei Chile.

					<b>mensaje / hora</b>
SigFox	1% o LBT <sup>20</sup>	5.76 s 3*(96bits + 12*8 bits)/100 bps	144 mensajes	~200s	167 días
NB-IoT	100%		ilimitado	<1s ~ 6.5s	10 años

Tabla 19: Comparación de rendimiento SigFox vs NB-IoT

Cobertura de enlace ascendente (Up link)	Sensibilidad receptor	Potencia de salida del dispositivo IoT	Ganancia antena de estación base	Link budget	Throughput (bps) en el borde de la celda
SigFox	-142dBm	14dBm	6dB	156dB s/antena 162dB c/antena	100
NB-IoT	-142dBm	23dBm	15dB	164dB s/antena 179dB c/antena	940

Tabla 20: Comparación de cobertura uplink SigFox vs NB-IoT

La comparación entre SigFox y NB-IoT es relativamente justa, ya que ambas tecnologías utilizan la estrategia de “Banda Estrecha”; sin embargo, injusta, ya que SigFox debe lidiar con interferencia, propia de espectro no licenciado, en tanto que NB-IoT, no.

Rendimiento	Throughput	Tiempo que tarda en transmitir un mensaje de 100 bytes	Duty Cycle	Capacidad (número de dispositivos IoT por celda)
LoRa	37.5Kbps (SF=6) 18bps (Borde de la celda, SF=12)	< 1s ~ 44s	1% o LBT <sup>21</sup>	62.5K (SF=6) 1.6K (Borde de la celda, SF=12)
NB-IoT	20 ~ 200Kbps (mono o multitono) 940bps (Borde de la celda)	<1s ~ 6.5s	100%	100K 27K (Borde de la celda)

Tabla 21: Comparación de rendimiento LoRa vs NB-IoT

Cobertura de enlace ascendente (Up link)	Sensibilidad receptor	Potencia de salida del dispositivo IoT	Ganancia antena de estación base	Link budget	Throughput (bps) en el borde de la celda
LoRa	-142dBm	14dBm	6dB	156dB s/antena 162dB c/antena	18 (SF=12)

<sup>20</sup> Listen Before Transmit (Escuchar antes de transmitir). La limitación del 1% corresponde al hecho de que el “tiempo en el aire” debe ser compartido con otras aplicaciones que usan el mismo espectro.

<sup>21</sup> En algunas regiones, se permite que, para ciertos canales, LoRa tenga un Duty Cycle de 10% (más tiempo de aire), pero no es la regla general.

NB-IoT	-142dBm	23dBm	15dB	164dB s/antena 179dB c/antena	940
--------	---------	-------	------	--	-----

Tabla 22: Comparación de cobertura uplink LoRa vs NB-IoT

La comparación entre LoRa y NB-IoT es un tanto complicada, ya que la tecnología LoRa utiliza una estrategia de espectro ensanchado para lidiar con la interferencia, propia del espectro no licenciado; en tanto que la tecnología NB-IoT no tiene esta dificultad. De manera muy simplificada, espectro ensanchado significa que, por cada bit de dato, se transmite una serie de bits de un código especial. Los bits del código se denominan "chips". El número de chips que se usan para codificar cada bit de datos es lo que se conoce como el Factor de ensanchamiento o Spreading Factor (SF). Mientras mayor sea el SF, mayor será la sensibilidad del dispositivo IoT. LoRa puede utilizar un SF de hasta 12 chips. Adicionalmente, LoRa utiliza códigos ortogonales, lo que le permite aumentar el número de canales con exactamente la misma señal portadora.

Una explicación más formal de la técnica de espectro ensanchado que utiliza LoRa se puede encontrar en el documento "AN1200.22: LoRa Modulation Basics", disponible en el sitio Web de la empresa Semtech.

Se debe tener en consideración que la información de las tablas 20 a 23 fue proporcionada por Huawei, empresa promotora de la tecnología NB-IoT.

## A.2 Experiencias a nivel mundial

En la actualidad existen varias operadoras que están probando las tecnologías anteriormente mencionadas. Algunas ya han sido desplegadas en algunos países, principalmente en Europa, América y Asia. A continuación, se entregará información de algunas de estas empresas y el despliegue que han realizado, de acuerdo con artículos recientemente publicados en la prensa especializada mundial (varias fuentes).

### Despliegues LoRa/LoRaWAN

#### **LoRaWAN en Europa.**

Entre las empresas de telecomunicaciones y en los países que tienen cobertura están:

- KPN (Países Bajos), anunció cobertura nacional a finales de junio del 2016.
- Proximus (Bélgica), este operador incumbente, que era conocido como Belgacom, comprometió cobertura LoRa nacional en el país para finales de 2016.
- Orange (Francia), comenzó con LoRa en 18 áreas urbanas en el primer cuarto de 2016 y comprometió una pronta cobertura nacional.

- Bouygues Telecom (Francia), prometió cobertura LoRa para fines del año 2016. Ofrece también servicios IoT con su subsidiaria Objenious.
- Unidata (Italia), anunció el despliegue de su red LoRa el 14 de junio de 2016. Inicialmente será en Roma, con el compromiso de la cobertura total de la ciudad en el 2017.

### **LoRaWAN en EEUU**

Comcast realiza pruebas de LoRa a partir del 7 de octubre del 2016. Filadelfia y San Francisco fueron seleccionadas para pruebas de seguimiento de activos, medición de medidores y monitoreo ambiental. Si las pruebas son satisfactorias, dentro de 18 a 30 meses le seguirán 28 nuevos mercados.

Otro actor presente en EE.UU es Senet, que ofrece la primera red pública utilizando LoRa con cobertura en más 100 ciudades desde Junio del 2016. Su plan considera doblar el número de ciudades en el 2017.

### **LoRaWAN en Oceanía**

El 20 de septiembre de 2016, Semtech comunicó que está desplegando una red LoRa en Nueva Zelanda, donde promete cobertura a la mitad de la población en cosa de meses. En Australia, en septiembre de 2016, se desplegó la primera red LoRa en la ciudad de Sidney.

### **LoRaWAN en Asia-Pacífico**

SoftBank (Japón) el 14 de septiembre de 2016 anunció el despliegue de una red LoRa dentro del año fiscal.

Tata Communications (India) anunció a fines del año 2015 que desplegaría una red LoRa que fue probada en las ciudades de Mumbai, Delhi y Bangalore.

SK Telekom (Corea del Sur), anunció el 12 de Julio de 2016, el despliegue de una red LoRa que cubrirá al 99% de la población.

### **Despliegues SigFox**

#### **SigFox en Europa.**

SigFox (Alemania) En este país SigFox actúa como operador, desplegando su propia red celular dedicada a la IoT.

IoT Denmark (Dinamarca) Esta empresa tiene los derechos exclusivos para el despliegue de la red SigFox en este país.

Engie (Bélgica) Al igual que IoT Denmark, esta empresa tiene los derechos exclusivos para el despliegue de la red SigFox en este país.

Simple Cell (República Checa) Es el primer operador utilizando tecnología SigFox para IoT.

Aerea (Países bajos) es otro proveedor que opera una red de servicios de conectividad SigFox para IoT.

Cellnex Telecom (España) es un proveedor de infraestructuras de telecomunicaciones inalámbricas independiente y provee servicios SigFox, no sólo en España, también presta servicios en Italia, Holanda y Francia.

También tiene operadores en Irlanda, Italia, Luxemburgo, Malta, Reino Unido y Portugal.

### **SigFox en EE.UU.**

SigFox (EE.UU). En este país SigFox actúa como operador desplegando su propia red celular dedicada a la IoT.

### **SigFox en Oceanía**

Thinxtra (Nueva Zelanda y Australia) Esta empresa es el operador de red SigFox exclusivo para estos países.

### **SigFox en Asia-Pacífico**

Kyocera (Japón) Esta empresa, tiene los derechos exclusivos para el despliegue de redes SigFox en Japón.

UnaBiz (Taiwán y Singapur) Esta empresa liderará el despliegue de la red SigFox a nivel nacional en ambos países.

### **SigFox en Latinoamérica**

IoTnet (México) Esta empresa es otro operador de red SigFox, encargado de la introducción de la tecnología en este país.

WND (Brasil) Esta empresa, a diferencia de las antes mencionadas, tiene por misión supervisar y coordinar los despliegues de redes SigFox en todo Latinoamérica. WND tiene los derechos exclusivos para desplegar redes SigFox a través de los países latinoamericanos, los que representan sobre el 70% del producto bruto de la región.

Cabe mencionar que la principal accionista de WND es la misma SigFox.

### **Despliegue de NB-IoT**

De las tecnologías LPWA anteriormente mencionadas es la que menos despliegue ha tenido, debido la reciente publicación del estándar (junio 2016). Sin embargo, tanto operadoras como proveedores de infraestructura están trabajando en el desarrollo de ésta. Entre ellas podemos mencionar algunos ejemplos:

**Vodafone** ha estado trabajando durante el último tiempo con este estándar y considera su lanzamiento comercial para el año 2017. Esta empresa considera que es la mejor

tecnología LPWA por las siguientes razones:

Espectro licenciado - NB-IoT opera en espectro con licencia, lo que significa que la calidad del servicio puede ser asegurada y el riesgo de interrupción de la señal de otras tecnologías que utilizan las mismas frecuencias es mínimo.

Ancho de banda - NB-IoT se beneficia del uso del ancho de banda, que es seguro y gestionado, lo que aumenta la confiabilidad de la conexión. La comunicación bidireccional es esencial para poder administrar objetos de forma remota y controlar la vida de la batería.

Redes - NB-IoT utiliza la infraestructura de redes existente, lo que significa que los sistemas actuales pueden actualizarse extremadamente rápido, en gran parte a través de actualizaciones del software de la RAN que minimizan la necesidad de desplegar infraestructura física adicional. Además, las industrias que despliegan tecnología basada en NB-IoT pueden confiar en que los operadores proporcionarán sus servicios de transporte de datos, en lugar de tener que gestionarlos ellos mismos (en comparación a otras tecnologías LPWA).

Normas abiertas - NB-IoT se basa en estándares abiertos, lo que minimiza el riesgo de que la tecnología se vuelva redundante en el futuro y ayuda a asegurar que aquellos que utilizan la tecnología no estén sujetos a un proveedor u operador específico.

Apoyo de la industria - NB-IoT cuenta con el apoyo de una amplia gama de proveedores de servicios, proveedores de equipos, chipset y fabricantes de módulos, que están invirtiendo en la tecnología a largo plazo.

Pruebas

En Turquía y España se ha utilizado un pre-estándar NB-IoT para indicar a los conductores dónde encontrar un lugar de estacionamiento, con la ayuda de una aplicación en el teléfono inteligente. También ha realizado pruebas en la red comercial de Vodafone España, donde se demostró que la tecnología podría utilizarse para conectar medidores de agua ubicados en lugares difíciles de alcanzar.

**M1** en Singapur, junto con Nokia esperan desplegar una red NB-IOT de cobertura nacional para mediados del año 2017.

La tabla 24 muestra a los operadores a nivel mundial que están en etapas de pruebas para el pronto despliegue de la tecnología NB-IoT.

Operador	País
AT&T	EEUU
Batelco	Bahréin
BT	Reino Unido
China Mobile	China
Etisalat	Emiratos Árabes Unidos
KDDI	Japón

KT	Corea del Sur
M1	Singapur
MegaFon	Rusia
MTS	Rusia
Optus	Australia
Singtel	Singapur
Sonera	Finlandia
Telenor	Noruega
Telia	Suecia
T-Mobile	Alemania y Países Bajos
Verizon	Estados Unidos
Vodafone	Alemania, Países Bajos, España, Irlanda y Australia

Tabla 23: Lista de operadores en etapa de prueba o despliegues de NB-IoT

### A.3 Situación en Chile

Son muchas las organizaciones, tanto a niveles de gobierno, académicos, empresariales y otras organizaciones que están difundiendo y promoviendo el IoT/M2M en Chile, entre ellas se puede mencionar:

- **CORFO**  
Fuera de ofrecer financiamiento para proyectos del área, también ha hecho convenios con distintos centros académicos (PUC, U de Chile, PUCV, etc.) para el desarrollo de prototipos, principalmente centrados en la problemática de la minería, agricultura, ciudades inteligentes, telemedicina y otras.
- **FUNDACION PAÍS DIGITAL**  
Promueve esta tecnología, organizando el Foro más importante a nivel Latinoamericano, en el que invita a personalidades con vasto conocimiento en estas áreas a exponer sobre los últimos avances en estas tecnologías.

Actualmente, existen varias empresas locales haciendo pruebas en el ámbito de las tecnologías IoT, entre ellas podemos mencionar:

- **Telefónica**  
SigFox  
Junto a operadores internacionales, tales como NTT Docomo y SK Telecom de Corea, en 2015 Telefónica de España se convirtió en inversionista de la francesa SigFox.  
<https://novobrief.com/SigFox-telefonica/>  
<http://telecoms.com/397992/telefonica-sk-telecom-ntt-docomo-invest-in-french-iot->

### [firm-SigFox/](#)

En Chile, Telefónica I+D ha evaluado distintos aspectos de la tecnología SigFox, a través de pruebas y proyectos piloto. Se puede visualizar que Telefónica será el operador de SixFox en Chile.

### LoRa

También ha realizado pruebas de cobertura con la tecnología LoRa, declarando un alcance de 10 [Km] con línea de vista. En palabras de José Ignacio Guerra de Telefónica I+D: “La tecnología LoRa hace exactamente lo que indica la alianza Lora”. Adicionalmente, Telefónica, a través de su serie de “Desafíos IoT” ha patrocinado a empresas y emprendedores para realizar pruebas muy concretas en el campo de IoT, incluyendo la instalación de sensores agrícolas (todavía no comerciales) bajo tierra. Telefónica I+D en Chile se ha puesto a la vanguardia mundial en el desarrollo de aplicaciones prácticas sobre tecnología LoRa. Actualmente cuentan con la primera aplicación IoT de minería en el mundo.

### NB-IoT

En la ciudad de Concepción Telefónica I+D realizó pruebas de cobertura con un pre-release de la tecnología NB-IoT, facilitado por la empresa Huawei. En esta prueba se pudo determinar que con una sola antena ubicada en el centro de la ciudad se podía dar cobertura al 80% de los abonados de agua potable de la compañía ESSBIO. Para esto se utilizó el módulo transceptor SARA de U-BLOX. Las pruebas se realizaron en la banda de los 900 MHz.

Telefónica anunció que desplegará el servicio NB-IoT no antes de 2018.

- **Entel**

Entel estuvo muy activo durante 2015 en el tema IoT. Realizó aproximaciones con SigFox, las que fueron descartadas luego de la inversión que realizara Telefónica en la compañía francesa. También se convirtió en miembro de la alianza LoRa y estuvo negociando con la empresa Ingenu para operar una red en Chile; sin embargo, aparentemente por el foco de Entel en su filial Perú, muchos proyectos de investigación quedaron postergados, incluyendo los de IoT.

### EC-GSM-IoT

El proveedor Ericsson ofreció a Entel entregar gratis la actualización de RAN que permitiría dar servicio EC-GSM-IoT. La actualización en cuestión era el reléase 16; sin embargo, por estar actualmente en el reléase 11 (estamos hablando del software de Ericsson), no se pudo concretar el proyecto, ya que las demás actualizaciones debían ser pagadas a Ericsson en una suma muy alta. Al respecto,

Entel declaró<sup>22</sup> que llegarán a la actualización de software 16 a su debido tiempo, pero que no sienten el mercado lo esté requiriendo.

- Chilquinta

Durante 2015 Chilquinta, la empresa distribuidora de electricidad de la 5ta región, instaló una serie de medidores digitales con tecnología IoT de Ingenu a sus clientes Premium. Esto tiene su explicación en el hecho de que los medidores son fabricados por General Electric, una de las accionistas de Chilquinta. Para dar este servicio especial, se instaló una decena de antenas en la región de Valparaíso.

#### Robustez de la solución Ingenu

Un hecho anecdótico da cuenta de la robustez de las redes LPWA, en general, y de la tecnología Ingenu, en particular. En septiembre de 2016, la caída de una muralla de contención dejó sin electricidad a la zona alta de Valparaíso<sup>23</sup>. De acuerdo a una publicación del mismo proveedor, una antena de la tecnología Ingenu de Chilquinta quedó sin su suministro principal de energía y comenzó a consumir su respaldo de baterías. Cuando el respaldo de baterías se terminó, los medidores registrados en el correspondiente punto de acceso no pudieron reportarse. Esto provocó que cada uno de los medidores siguiera una estrategia de contingencia, intentando registrarse en otras estaciones base. Lo interesante es que no todos se registraron con la misma estación base. 4 de ellos lo hicieron con una que se encontraba a 48 Km del lugar del accidente.

## A.4. La visión general de los expertos nacionales

Eric Aguiló, Product Marketing Manager, Control Industrial en Baja Tensión, de ABB en Chile, indicó que esta marca ve IoT como “una de las innovaciones tecnológicas que tiene mayor proyección de crecimiento por la cartera de clientes asociados a Energía y Automatización”.

Daniel Peña, Ingeniero División Minería de Cisco Chile, explica que, para esta, su compañía, IoT también se encuentra dentro de un concepto mucho mayor: Internet de Todo (IoE, “Internet of Everything”), donde están la interconexión de personas, procesos, datos y cosas, y los ven con ojos más optimistas: se espera que el mercado sea de aproximadamente US\$19 trillones, con alrededor de 75 mil millones de dispositivos conectados.

Para Robert Bauerschmitt, Gerente de Producto de Fabelec, existen dos enfoques en IoT: por una parte, están los dispositivos (como los sensores inteligentes que se pueden

<sup>22</sup> Entrevista al consultor tecnológico, Sr. Oscar López Tagle, quien asesoró a Entel durante 2015 - 2016, participando en las negociaciones con los proveedores de tecnologías IoT.

<sup>23</sup> <http://www.ingenu.com/2016/03/spectacular-stories-of-rpmas-robustness/>

conectar a Internet), y por otra, los datos que estos van generando. “Es importante tener no sólo los sensores conectados y el dato duro disponible, sino también la capacidad de procesar todos estos datos y convertirlos en información, que tanto los estamentos técnicos como las gerencias puedan interpretar”, agregó.

Para Siemens, IoT ha sido un cambio radical en el modo de pensar a nivel mundial. El concepto de IoT (o Industry 4.0, como se utiliza en Europa), ha cambiado la vida internamente, porque la forma de pensar es distinta: ya no se piensa en monitorear, controlar o automatizar un proceso, sino que ese proceso debe ser autónomo. Todos los desarrollos que se están teniendo hoy en día, y que se iniciaron hace unos seis años, están enfocados en este concepto y en lo que viene a futuro”, señaló Fabián Hernández, Digital Factory Lead Business Unit - Factory Automation de Siemens Chile.

Según Rodrigo Riquelme, Area Sales Manager Cono Sur de National Instruments, la evolución “natural” de la tecnología trae consigo la capacidad de los proveedores de ofrecer soluciones más inteligentes, eficientes y que sean “capaces de interactuar y analizar los datos en tiempo real; algo que hace 15 años era impensable en el tamaño y en el precio de los sistemas que se encuentran en el mercado actual”. Al respecto, el ejecutivo ve dos niveles de esta revolución 4.0: IoT, que se vive en lo cotidiano (con smartphones, relojes inteligentes, etc.), y la Industrial, en la que se destaca la confiabilidad de los datos. “No es lo mismo que falle el WhatsApp o el refrigerador, a que el proceso industrial deje de operar porque se cayó la red o porque los equipos no están bien desarrollados tecnológicamente”.

Jorge Mujica, Chief Technology & Innovation Officer de IBM Chile, advierte sobre otro “riesgo” de IoT en la industria: la complejidad. “Al aumentar los sensores, aumenta la complejidad y, por lo tanto, disminuye la comprensión de los datos que se pueden extraer de la plataforma. Es así como se necesitarán especialistas que trascienden lo tecnológico para que el IoT tenga sentido”. Estoy hablando de profesionales que nos ayuden a interpretar los datos que emanan de los sensores para que tenga un sentido industrial y un sentido de futuro. La belleza de IoT, en la vista de IBM, es que permite unir lo que es tecnología con disciplinas que pocas personas podrían pensar que tendrían una relevancia tan fuerte en un fenómeno que es tecnológico, pero también sociológico”.

## A.5. Los desafíos de IoT

Los desafíos que se detectan en IoT enfocados en las grandes cantidades de datos que deben ser procesados para transformarlos en información en el momento preciso para tomar la decisión adecuada se mencionan a continuación:

- Analizar tecnologías como Big Data, que permite tomar esa información, analizarla

y sacar conclusiones. Es necesario, que existan aplicaciones que estén corriendo y correlacionando diferentes informaciones y generando reportes que sean legibles y entendibles para que el tomador de decisiones defina el camino a seguir.

- Para reducir el ancho de banda y los datos a transmitir se recomienda hacer un proceso previo de recopilación y procesamiento de información y así se podrá conocer cuál es el dato a transmitir que podría ayudar a solucionar el problema o a indicar el estado en que se encuentra.
- Al respecto de lenguajes y culturas diferentes se debe crear un ambiente de interdisciplinariedad que permita la convergencia entre los procesos de Automatización Industrial y las tecnologías de la información.

Sin duda alguna, la temática de IoT podría presentar más desafíos que los expuestos, tratando de descifrar sus consecuencias más “macro” o incluso los detalles de su implementación. Sin embargo, tal como sucedió anteriormente con otras tecnologías, tanto los proveedores, como los usuarios, irán perfeccionando su uso y desarrollando nuevas aplicaciones a medida que estos dispositivos se vayan masificando.