

INTERNET DE LAS COSAS APLICADO A SERVICIOS CLOUD PARA LA INTEGRACIÓN DE DATOS DE FUENTES DE ENERGÍAS RENOVABLES EN GENERACIÓN DISTRIBUIDA SOBRE REDES ELÉCTRICAS INTELIGENTES

Marcos Politi, Jorge Andrés Niño, Héctor Laiz
Instituto Nacional de Tecnología Industrial, INTI
Energías Renovables – Av. Gral. Paz 5445 – Buenos Aires
Tel. 4724-6200– e-mail: mpoliti@inti.gov.ar

RESUMEN: Este trabajo describe una posible solución para la integración de datos en un ecosistema multiplataforma de fuentes de generación distribuida sobre una red eléctrica inteligente, con inyección de energía renovable implementado con el servicio EC2 de Amazon Web Service, y equipos recolectores de datos conectados a los convertidores CC/CA, que comunicarán los parámetros de generación utilizando tecnologías de largo alcance con baja potencia implementadas en LoRa. La plataforma desarrollada sobre NodeRed, permite visualizar los datos a través del sistema de nombre de dominio (DNS).

Palabras clave: energía solar fotovoltaica, inversores, internet de las cosas, internet of energy, energy internet of things.

INTRODUCCIÓN

INTERNET DE LAS COSAS EN REDES ELÉCTRICAS INTELIGENTES

Desde 2011, y tras la aparición del nuevo concepto denominado Industria 4.0, y Ciudades Inteligentes como campo de aplicación de algunas tecnologías que devenían de la Industria, comenzó a avizorarse la incursión de la inteligente en redes eléctricas en el sector de la distribución y usuario.

Este efecto, generó que varios interesados comenzaran a ocuparse de dicho escenario, con lo cual se comenzaron a incrementar el uso de tecnologías de comunicación de bajo costo y con gran alcance, muchas de ellas con presencia en el campo de internet of things (IoT), aportando de esta manera, un valor significativo a los tipos de comunicaciones existentes.

Este nuevo concepto de red inteligente con aporte de IoT, necesitaba regulaciones, de hecho, en muchos de los casos, las apariciones de nuevas tecnologías de comunicación aplicadas a IoT, trae consigo un número elevado de desarrolladores que implementan soluciones con protocolos propios y sin estandarización, con lo cual la integración aparece como una meta muy lejana.

Algunos de los objetivos que se alcanzarían con una red inteligente, son los siguientes (Al-Sakib Khan Pathan et al, 2018):

- ✓ Mayor eficiencia de la transmisión de la energía, tras la aparición de nuevas fuentes distribuidas de generación renovable.
- ✓ Rápida restauración del servicio, por medio de nodos concentradores que incrementan la velocidad de reacción localizada.
- ✓ De esta forma, se disminuyen los costos de operación por parte de las empresas administradoras.
- ✓ Implementación de seguridad de los datos, con estándares informáticos aplicados en otros campos.

Esto genera áreas específicas de estudio que forman parte de Internet del Futuro, aparecen el IoT, Big Data y Cloud, como aportantes a distintos escenarios energéticos, y sus aportes como nuevas características disruptivas, las cuales pueden observarse de manera esquemática en el siguiente gráfico.

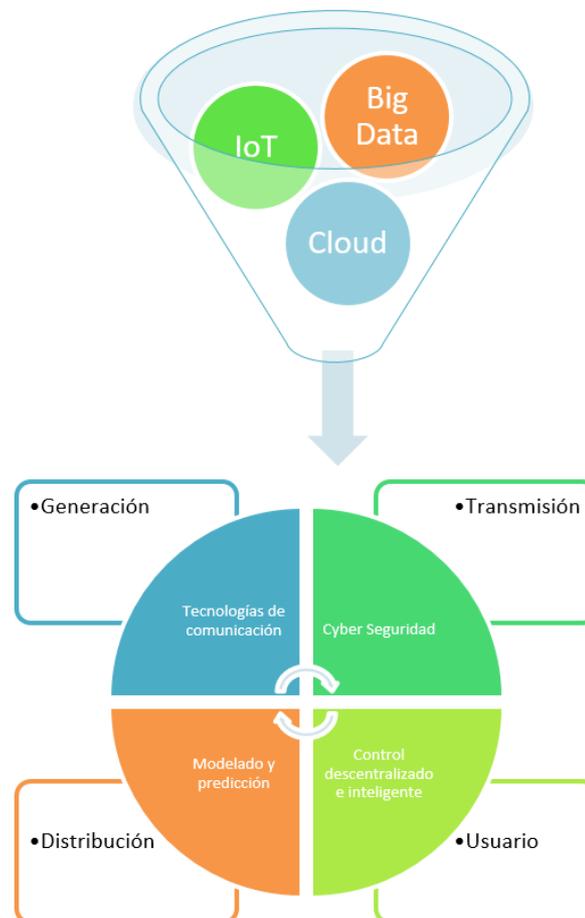


Figura 1: Esquema representativo de aportantes al nuevo sistema energético (Kostas Siozios et al, 2019).

INFRAESTRUCTURA IoT EN REDES INTELIGENTES

Podemos considerar a la estructura de IoT en una red inteligente como la conjunción armónica de tres componentes principales.

- ✓ Dispositivos o endpoint IoT.
- ✓ Red de comunicaciones.
- ✓ Plataformas Cloud.

Los dispositivos IoT o endpoint IoT, que son conectados para interactuar en una red inteligente, deben cumplir ciertos requisitos que hacen al funcionamiento correcto y sostenido en el tiempo, estos deben resolver la dificultad que existe ante la incompatibilidad de protocolos de las distintas marcas existentes en el mercado, a su vez los mismos deben consumir la menor energía posible como para poder ser alimentados de manera externa a la energía de red, esto hace independiente su funcionamiento de la misma, y más fiable la información que entregue.

La red de comunicaciones, deben poder brindar un ancho de banda que propicie una comunicación armónica sin supresión o pérdida de datos de información. Esta característica va orientada a garantizar la escalabilidad de la solución, la posibilidad de colocar cientos de dispositivos de monitoreo y control, sin caída del servicio ni pérdida de información.

Como armonización de la solución se presentan las Plataformas Cloud, estas son las encargadas de recibir la información, almacenarla en las bases de datos correspondientes, y procesarlas para poder generar modelos de uso, tendencias y analizar patrones de fallas, para eventualmente poder realizar las acciones tendientes a eliminar las causas o reducir los efectos colaterales de las fallas.

La privacidad y seguridad informática son de las razones más importantes para tomar la decisión de elección de una plataforma, la integridad de los datos es un hecho crucial para lo que viene asociado a las redes inteligentes, la facturación, es indispensable garantizar metrológicamente los datos, ya que estamos en presencia de una transacción de tipo comercial.

Para tal fin, los dispositivos deben estar homologados, y trazados en las magnitudes que correspondan. De acuerdo a las características de conectividad de una región el grado de alejamiento de los concentradores de información de la red o mismo de los Gateway da lugar a la elección de la tecnología.

Si estamos en un área urbana con buena cobertura de internet tecnologías que puedan aprovechar la red celular, como las que aprovechan la conectividad de internet y el tendido de la red, entonces NB-IoT, y IEEE 802.11 ah, son las correctas; la primera de estas si es que la compañía celular brinda este tipo de redes y chips para el uso, y la segunda, es una versión de mayor alcance del WiFi tradicional de corto alcance 802.11.

Sin embargo, si estamos en la periferia de la ciudad o incluso más lejos aún, deberían utilizarse las tecnologías relacionadas a LPWAN, bien sea las que las que trabajan con Gateway propietario, es decir, con tecnología y protocolos establecidos por el fabricante, (las cuales deberán ser acordes a normativa), o los que se conecten directamente a través de Gateway LoRaWAN bien por IPV4 o IPV6.

NORMATIVAS

El poder trabajar en un marco normalizado es la diferencia entre el caos, y el orden técnico/tecnológico. En la aplicación concreta de IoT en escenarios energéticos o internet of energy (IoE), se pueden aplicar normativas de tipo internacional, IEEE 2030.5 (Institute of Electrical and Electronic Engineers, 2018) y la IEC 61968 (International Electrotechnical Commission, 2018), la primera de estas IEEE Standard for Smart Energy Profile Application Protocol, la necesidad de integración de los datos de fuentes de generación distribuida se puede sintetizar en la traducción de lo textual de la Norma:

El empoderamiento de los consumidores para gestionar su uso y generación de energía es una característica crítica de la Smart Grid, y es una base de innovación para nuevos productos y servicios en la gestión de la energía.

Para permitir esta capacidad, el flujo de información entre dispositivos como medidores, dispositivos inteligentes, enchufes eléctricos de vehículos, sistemas de gestión de la energía y recursos energéticos distribuidos (incluidas las energías renovables y los elementos de almacenamiento) deben ocurrir de manera abierta, estandarizada, segura e interoperable.

La misma, indica en dos cláusulas dos aspectos obligatorios a la hora de la implementación de una red inteligente, en dos capítulos orientados a Smart Energy Resources, y Manufacturer-specific proprietary extensions. IEEE 2030.5, implementa el estándar IEC 61968 quien a su vez se basa en la IEC 61850.

TECNOLOGÍAS UTILIZADAS EN IoE

LPWAN

LPWAN (Low Power Wide Area Network) es una red de comunicación por radiofrecuencia que tiene la particularidad que los dispositivos que forman parte de ella, dada su tecnología, tiene un alcance amplio, con un bajo consumo de energía.

Entre ellas se pueden ubicar algunas marcas, emprendimientos y estándares, SigFox, LoRa, NB-IoT.

Tecnología LoRa

La tecnología LoRa, es desarrollada por Semtech, y es la más utilizada dentro de las tecnologías para LPWAN en la banda sin licencia por debajo del GHz. Como resultado de esto, la red LoRa es fácil de implementar en un rango de más de varios kilómetros, y atiende a clientes con una inversión mínima y costos de mantenimiento (Yonghua Songa et al, 2017).

Debido a la utilización de bandas sin licencia, la red LoRa está abierta a los clientes que carecen de autorización de los reguladores de radiofrecuencia, en Argentina ENACOM.

Existen varios beneficios técnicos, el primero de estos es que la modulación LoRa está basada en el esquema chip spread spectrum (CSS), que utiliza pulsos modulares de frecuencia lineal de banda ancha cuya frecuencia aumenta o disminuye según la información codificada, dicha tecnología de modulación se ha utilizado para aplicaciones de radar desde la década de 1940. Además, la tecnología LoRa admite cifrado de datos, para garantizar la seguridad del canal utiliza pares de claves cifradas AES-128, (Yonghua Songa et al, 2017)

Algunos de los chips comercializados por Semtech, son los que se detallan en la figura siguiente:

LoRa Products							
Part Number	Frequency Range (MHz)	Link Budget (dB)	RXCurrent (mA)	FSK Max DR (kbps)	LoRa DR (kbps)	Max Sensitivity (dBm)	TX Power (dBm)
SX1261	150-960	163	4.6	300	0.018-62.5	-148	+15
SX1262	150-960	170	4.6	300	0.018-62.5	-148	+22
SX1268	410-810	170	4.6	300	0.018-62.5	-148	+22
SX1272	862-1020	158	10	300	0.3-40	-138	+ 20
SX1273	862-1020	150	10	300	1.7-40	-130	+ 20
SX1276	137-1020	168	11	300	0.018-40	-148	+ 20
SX1277	137-1020	158	11	300	1.7-40	-138	+ 20
SX1278	137-525	168	11	300	0.018-40	-148	+ 20
SX1279	137-960	168	11	300	0.018-40	-148	+20

Figura 2: Dispositivos LoRa (Lora Alliance, 2020).

METODOLOGÍA

PRIMER COMPONENTE DEL SISTEMA: HARDWARE GTW INV FV y GTW ETH

Los sistemas fotovoltaicos que se incluyeron en la presente solución cuentan con inversores fotovoltaicos que tienen abiertos sus puertos Modbus a través del protocolo Ethernet, este tipo de comunicación y protocolo se utilizan para poder consultar sus posiciones, en las mismas se puede pedir distintos parámetros de generación fotovoltaica.

en el marco de este trabajo se confeccionó un equipo intérprete de códigos MODBUS Ethernet, constituido por un sistema electrónico compuesto principalmente por un microcontrolador de 8 bits y una etapa con conectividad ethernet, con la cual poder comunicarse hacia los inversores fotovoltaicos.

Por otro lado, era necesario concatenar toda la información que surgía de estos inversores y administrarla dentro de una misma plataforma. Para tal fin, fue necesario incorporar otra etapa más para satisfacer dicha necesidad.

Al ser instalaciones de generación distribuida, estas podrían estar separadas kilómetros unas de otras por lo cual se decidió por la incorporación de una etapa de comunicación de radiofrecuencia de largo alcance, en este caso implementada a través de LoRa, detallada anteriormente, con lo cual al detalle anterior del hardware se le agrega una etapa de conectividad de esta naturaleza.

Al mismo se lo ha denominado Gateway (GTW INV FV) inversor dado que está vinculando dos redes de características diferentes, y el mismo está conectado al inversor.



Figura 3: Esquema de solución GTW INV FV.

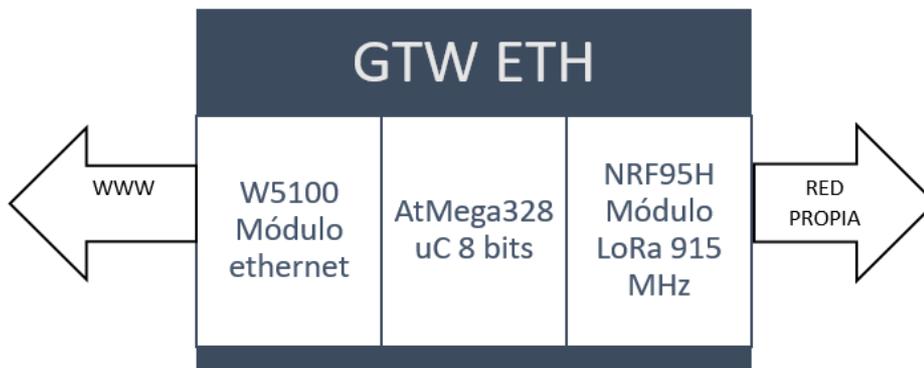


Figura 4: Esquema de solución GTW ETH .

SEGUNDA COMPONENTE DEL SISTEMA: PLATAFORMA CLOUD

AMAZON WEB SERVICE VIRTUAL MACHINE (VM)

Para la realización de este trabajo se implementó una solución basada en el servicio EC2 de Amazon Web Service (AWS) el cual permite desplegar un servicio de máquina virtual (VM), al mismo se debe acceder desde Buscar Servicios.

En esta implementación se utilizó una instancia que tiene el sistema operativo Ubuntu Server 18.04 LTS, al elegirla se nos otorga la posibilidad de desplegar la VM de manera estándar, o bien configurar parámetros internos de la misma, elegiremos este caso, algunas especificaciones estándar y por otro lado se han agregado capacidades extras en la memoria de disco.

Como resultado ha quedado, una instancia con 1 CPU t2.micro, con 1 GB de memoria RAM, y 10 GB de disco duro, con los puertos HTTPS 443, HTTP 80, MQTT 8080 8083, FTP 21, para poder acceder a nuestro servicio instalando un servidor Apache y de esta manera ofrecer el servicio de frontend deseado.

A su vez se habilitó también el 1880, que fue utilizado para poder acceder a nuestro servicio NodeRed que es la plataforma desarrolladora de aplicaciones a través de programación que combina lo visual por medio de flujos, que fue implementada en el presente trabajo.

Una vez la instancia fue desplegada a través de PuTTY accedimos a la misma para instalar los paquetes mosquito, NodeRed dado que utilizaremos este paquete para desarrollar la plataforma de visualización.

```

root@ip-172-31-25-33: /home/ubuntu
Setting up binutils (2.30-2ubuntu1~18.04.3) ...
Setting up nodejs-dev (8.10.0-dfsg-2ubuntu0.4) ...
Setting up gcc-7 (7.5.0-3ubuntu1~18.04) ...
Setting up g++-7 (7.5.0-3ubuntu1~18.04) ...
Setting up gcc (4:7.4.0-1ubuntu2.3) ...
Setting up node-rimraf (2.6.2-1) ...
Setting up node-read-package-json (1.2.4-1) ...
Setting up dpkg-dev (1.19.0.5ubuntu2.3) ...
Setting up g++ (4:7.4.0-1ubuntu2.3) ...
update-alternatives: using /usr/bin/g++ to provide /usr/bin/c++ (c++) in auto mode
Setting up node-fstream (1.0.10-lubuntu0.18.04.1) ...
Setting up build-essential (12.4ubuntu1) ...
Setting up node-fstream-ignore (0.0.6-2) ...
Setting up node-tar (2.2.1-1) ...
Setting up node-gyp (3.6.2-lubuntu1) ...
Setting up npm (3.5.2-0ubuntu4) ...
Processing triggers for libc-bin (2.27-3ubuntu1) ...
Processing triggers for man-db (2.8.3-2ubuntu0.1) ...
Processing triggers for mime-support (3.60ubuntu1) ...
root@ip-172-31-25-33:/home/ubuntu#
root@ip-172-31-25-33:/home/ubuntu# sudo npm install -g --unsafe -perm node-red
loadDep:wide-align -- addT

```

Figura 5: Proceso de instalación de node red.

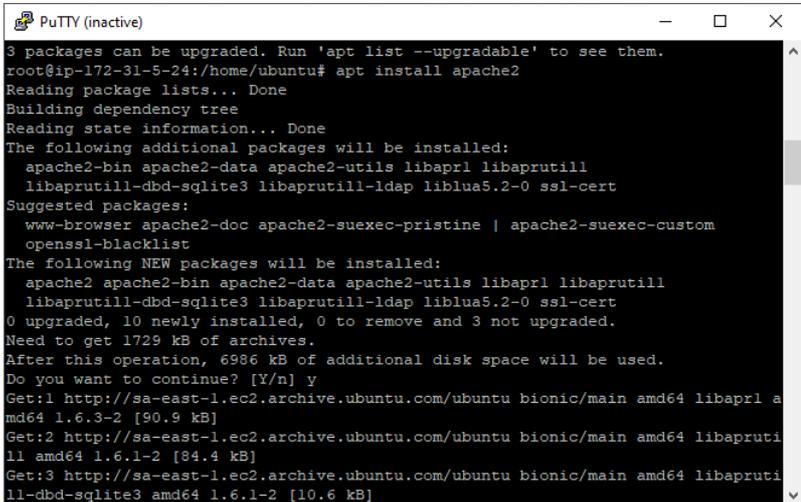
Luego se procedió a la instalación de los paquetes de seguridad, para ello debe instalarse el paquete de seguridad de nodored, a través de `npm install -g node-red-admin`, de esta forma la aplicación y sus datos son cuidados de manera segura por medio de usuario y contraseña.

Una vez desplegado los flujos e instalado el paquete Dashboard de NodeRed, se disponen los nodos y flujos de tal manera que quede la solución que deseamos implementar.

INSTALACIÓN APACHE

Para que se pueda acceder a la pantalla de usuario, y poder visualizar a través de un acceso a un link la plataforma frontend generada en node-red es necesario, poder administrar la instancia con un servidor de servicios web.

Para ello fué necesario instalar apache, dado que este es uno de los servicios gratuitos que se ofrecen en la web, primeramente, accedemos a actualizar paquetes `sudo apt update`, luego `sudo apt upgrade` Finalmente `sudo apt install apache2`



```
3 packages can be upgraded. Run 'apt list --upgradable' to see them.
root@ip-172-31-5-24:/home/ubuntu# apt install apache2
Reading package lists... Done
Building dependency tree
Reading state information... Done
The following additional packages will be installed:
  apache2-bin apache2-data apache2-utils libapr1 libaprutil1
  libaprutil1-dbd-sqlite3 libaprutil1-ldap liblua5.2-0 ssl-cert
Suggested packages:
  www-browser apache2-doc apache2-suexec-pristine | apache2-suexec-custom
  openssl-blacklist
The following NEW packages will be installed:
  apache2 apache2-bin apache2-data apache2-utils libapr1 libaprutil1
  libaprutil1-dbd-sqlite3 libaprutil1-ldap liblua5.2-0 ssl-cert
0 upgraded, 10 newly installed, 0 to remove and 3 not upgraded.
Need to get 1729 kB of archives.
After this operation, 6986 kB of additional disk space will be used.
Do you want to continue? [Y/n] y
Get:1 http://sa-east-1.ec2.archive.ubuntu.com/ubuntu bionic/main amd64 libapr1 a
md64 1.6.3-2 [90.9 kB]
Get:2 http://sa-east-1.ec2.archive.ubuntu.com/ubuntu bionic/main amd64 libapruti
ll amd64 1.6.1-2 [84.4 kB]
Get:3 http://sa-east-1.ec2.archive.ubuntu.com/ubuntu bionic/main amd64 libapruti
ll-dbd-sqlite3 amd64 1.6.1-2 [10.6 kB]
```

Figura 6: Proceso de instalación apache2.

Posteriormente se asignó una IP fija y fue delegado al dominio DNS <http://www.smartgrid.ar>. De esta manera es posible acceder a través del navegador de manera rápida y dinámica, e inteligible para el ser humano.

RESULTADOS

Para poder integrar los datos se desarrolló y confeccionó un modelo de hardware basado en el microcontrolador Atmega328p, al mismo se le proporcionó la posibilidad de conectividad hacia dos nodos con prestaciones diferentes, por un lado, conectividad de tipo ethernet a través del chip W5100 de WizNet, y por otra conectividad LoRa a través del chip RFM95 de Semtech.

Este modelo de dispositivo hardware fue duplicado, uno de ellos conectado al inversor a través del puerto Ethernet el cual a través del protocolo Modbus solicita datos alojados en las memorias del equipo.

El otro modelo duplicado de este hardware se conectó a una boca de internet, este, publica los datos medidos por el inversor, a través del protocolo MQTT.

Los datos que mide el hardware conectado al inversor, son reportados al hardware conectado a una boca de internet a través de LoRa, con lo que queda establecido un punto a punto que en el caso de

ser necesario mayor cantidad de reportes a través de otros dispositivos recolectores de datos conectados a inversores.

El hardware concebido puede observarse en las figuras siguientes, cabe destacar que no existen diferencias físicas visibles entre el hardware que se conecta al Inversor que el que se conecta a internet.



Figura 7: Equipo terminado.



Figura 8: Equipo conectado a inversor SMA.

El esquema de solución planteado para el hardware incluye un equipo colector de datos conectado al inversor fotovoltaico marca SMA Sunny Boy 1.5, y otro equipo concentrador de datos conectado a internet ambos utilizando LoRa a 915 MHz de frecuencia central para realizar la comunicación.

Por otro lado, y cercano a una boca de internet fue conectado un equipo idéntico al anterior, pero con otro firmware, dado que este al recibir los datos provenientes del equipo conectado al SMA, sube los mismos a AWS.

Por otro lado, la plataforma cloud, administrada a través de NodeRed se configuró de la siguiente manera, un topic en MQTT para potencia, energía, corriente y tensión.

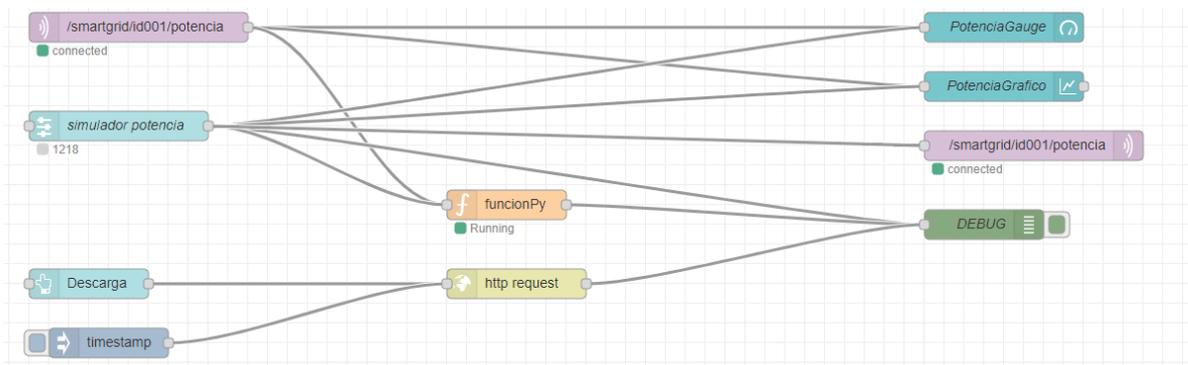


Figura 9: NodeRed en smartgrid.ar.

El sitio web quedó como se observa en la siguiente figura.

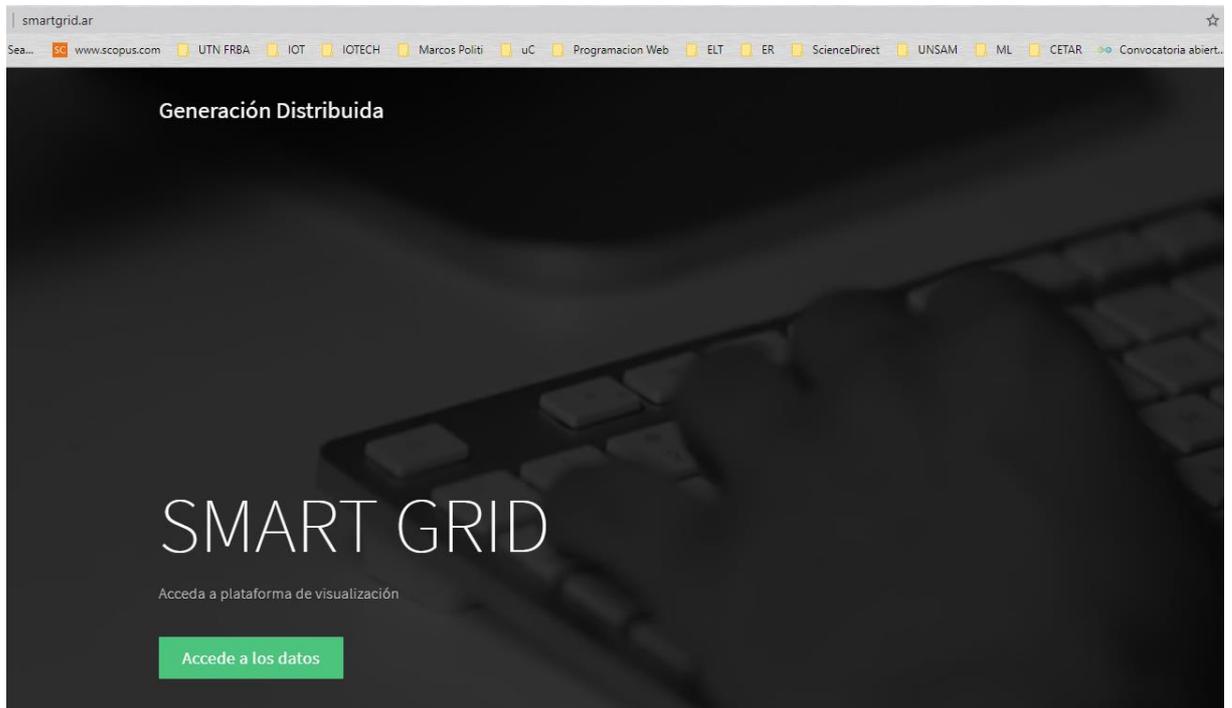


Figura 10: Sitio web smartgrid.ar.

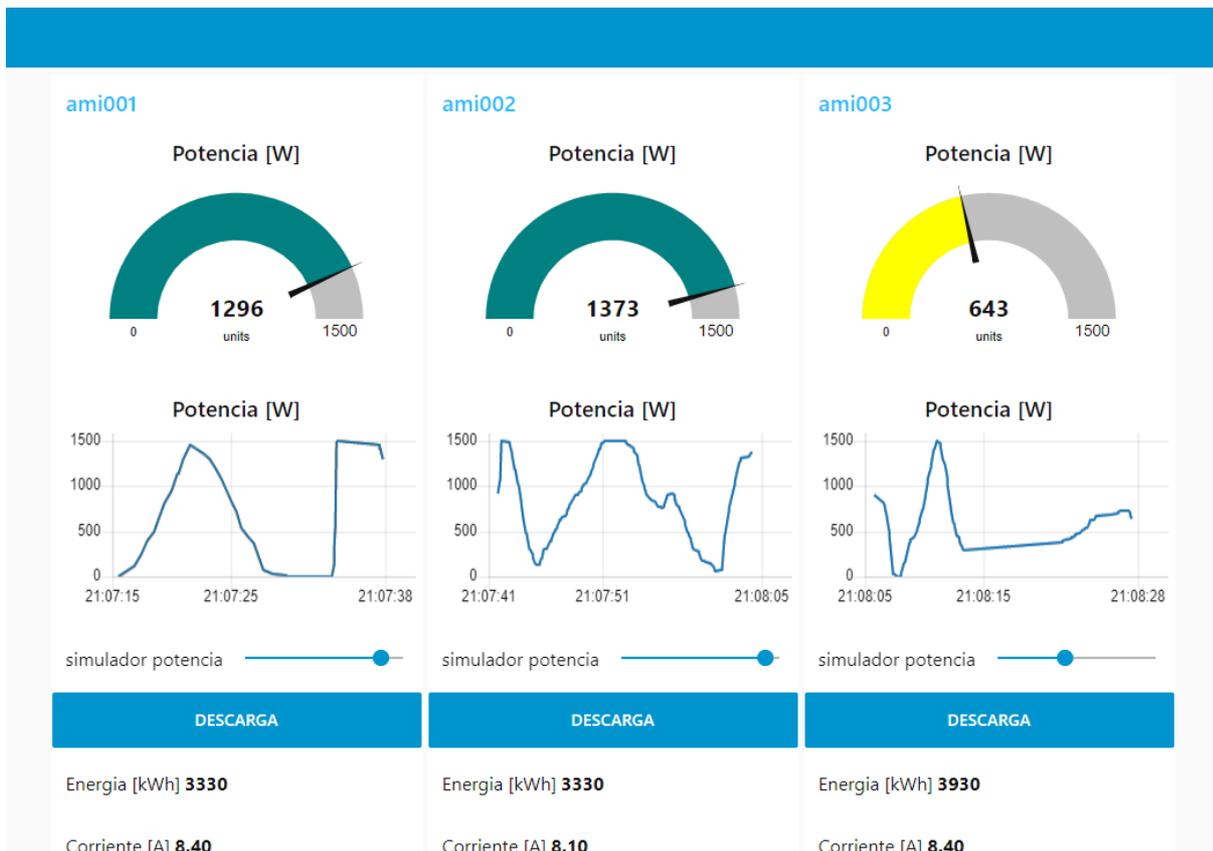


Figura 11: Captura de datos en smartgrid.ar.

CONCLUSIONES

En el presente trabajo se puede observar que es posible integrar datos independientemente de la marca del convertidor CC/CA siempre que el mismo tenga abierto su puerto ethernet modbus, situación que se da en casi la totalidad de los equipos en la industria actual.

La implementación de tecnología LoRa sobre una red inteligente permite abstraerse de los hipotéticos problemas de cortes de línea que pudieran existir en la red mejorando el desempeño de la red eléctrica en comparativamente con otras tecnologías de comunicación estándar.

Los servicios cloud, generan un ecosistema ideal para este tipo de implementaciones, dado que permiten despreocuparse del hardware en Distribuidoras y/o Cooperativas eléctricas pudiendo implementar los servicios en la nube incluso permitiendo escalar o degradar la solución sin mayores inconvenientes técnicos.

La posibilidad de incluir scripts en Python dentro de la solución en nodored, hace que esta solución tenga potencialidad para poder manejar grandes cantidades de datos y de esta manera poder realizar predicción a través de técnicas de inteligencia artificial, como aprendizaje automático y/o redes neuronales.

REFERENCIAS

- Kostas Siozios, Dimitrios Anagnostos, Dimitrios Soudris, Elias Kosmatopoulos (2019). IoT for Smart Grids Design Challenges and Paradigms.
- Al-Sakib Khan Pathan, Zubair Md. Fadlullah, Mohamed Guerroumi (2018). Smart Grid and Internet of Things.
- Yonghua Song, Jin Lina, Ming Tang, Shufeng Dong (2017). An Internet of Energy Things Based on

Wireless LPWAN (2017).
Lora Alliance (2020), <https://lora-alliance.org/about-lorawan>
International Electrotechnical Commission (2018), Norma IEC 61968.
Institute of Electrical and Electronic Engineers (2018), Norma IEEE 2030.5

ABSTRACT

This work describes a possible solution for the integration of data in a multiplatform ecosystem of distributed generation sources on a smart grid, with injection of renewable energy implemented with the EC2 service of Amazon Web Service, and data collection equipment connected to DC/AC converters, which will communicate the generation parameters using low-power long-range technologies implemented in LoRa. The platform developed on NodeRed allows the data to be viewed through the domain name system (DNS).

KEYWORDS: solar photovoltaic, inverters, internet of things, internet of energy, energy internet of things.