

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS  
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



*Trabajo Fin de Grado*

**ANÁLISIS DEL CONSUMO ENERGÉTICO  
DE LA ETSIIT Y UTILIZACIÓN DE  
HERRAMIENTAS IoT PARA LA GESTIÓN  
ENERGÉTICA**

**(Analysis of the energy consumption of the  
ETSIIT and use of IoT tools for energy  
management)**

Para acceder al Título de

***Graduado en  
Ingeniería de Tecnologías de Telecomunicación***

Autor: Edison Pacheco Vásquez

Septiembre – 2022



# Agradecimientos

En primer lugar, quisiera dar las gracias a todas las personas que han hecho posible la realización de este trabajo; a mi director de TFG, Mario Mañana, por su orientación, comprensión, aliento y enseñanza; a David Carriles, por transmitirme su experiencia, su trabajo y por brindarme apoyo en este camino; a Alberto Laso, por su cercanía y su confianza; a Luis Valle, por el ameno paseo que tuvimos por la ETSIIT. Gracias. También quisiera dar las gracias a todos aquellos con los que me crucé en este camino, Alexis, Sebastián, Servicio de Infraestructuras y más.

En segundo lugar, quisiera dar las gracias a los responsables de la asignatura Energía y Telecomunicaciones por compartir con sus alumnos su vocación y por, indirectamente, ayudarme a elegir el camino que quiero seguir. Gracias.

En tercer lugar, quisiera dar las gracias a toda la Universidad de Cantabria por darme la oportunidad de vivir una experiencia maravillosa como estudiante de esta institución. Gracias a todos.

En último lugar, quisiera dar las gracias a mis padres por su apoyo incondicional en todas y cada una de mis aventuras. A mi familia, que siempre ha estado ahí, de alguna u otra manera... a los que ya partieron, pero todavía siguen aquí... en mí. Gracias.

Quisiera dar las gracias también a todos mis compañeros de viaje... Las turbulencias también forman parte. Espero que os vaya bien. Os deseo lo mejor.



# Índice general

<b>Prólogo</b>	<b>1</b>
Resumen . . . . .	1
Palabras Clave . . . . .	1
Abstract . . . . .	1
Keywords . . . . .	2
<b>Descripción del proyecto</b>	<b>2</b>
Objetivo General . . . . .	3
Objetivos Particulares . . . . .	3
Motivación . . . . .	3
Organización . . . . .	3
<b>I Contexto</b>	
<b>1. Estilo de vida</b>	<b>5</b>
1.1. Ciudadano de a pie . . . . .	6
1.2. Universitario . . . . .	6
1.3. Problema . . . . .	7
<b>2. Evolución de la demanda de energía eléctrica</b>	<b>8</b>
2.1. Sistema Peninsular . . . . .	9
2.2. Cantabria . . . . .	10
<b>3. Precio de la energía</b>	<b>11</b>
3.1. Electricidad . . . . .	12
3.2. Gas . . . . .	13
<b>4. Eficiencia energética</b>	<b>14</b>
4.1. ISO 50001:2018 . . . . .	14
4.1.1. ISO . . . . .	15
4.1.2. ISO 50001:2011 vs ISO 50001:2018 . . . . .	15
4.1.3. Introducción . . . . .	15
4.1.4. Campo de aplicación . . . . .	17
4.1.5. Términos y definiciones . . . . .	17
4.1.6. Contexto de la organización . . . . .	19
4.1.7. Liderazgo . . . . .	20
4.1.8. Planificación . . . . .	20
4.1.9. Apoyo . . . . .	23
4.1.10. Operación . . . . .	23

4.1.11. Evaluación del desempeño . . . . .	24
4.1.12. Mejora . . . . .	24
4.2. SGEN en el Mercado . . . . .	25
<b>5. IoT</b>	<b>26</b>
5.1. Definición . . . . .	26
5.2. Llegada del IoT . . . . .	26
5.3. Aplicaciones IoT . . . . .	27
5.3.1. Frigorífico de casa . . . . .	27
5.3.2. Domótica . . . . .	27
5.3.3. Aplicaciones industriales . . . . .	27
<b>6. Perspectiva general</b>	<b>28</b>

## II Sentando las bases del proyecto

<b>7. Auditoría de las cargas eléctricas de la ETSIIT</b>	<b>29</b>
7.1. Datos generales del edificio . . . . .	29
7.1.1. Mapa del edificio . . . . .	29
7.2. Descripción y análisis de los principales focos de consumo . . . . .	30
7.2.1. Equipos de producción térmica e instalaciones de climatización	30
7.2.2. Iluminación . . . . .	30
7.2.3. Equipos de ofimática . . . . .	33
7.2.4. Otros equipos . . . . .	34
7.3. Suministro eléctrico . . . . .	34
<b>8. Consumo eléctrico actual de la ETSIIT</b>	<b>35</b>
8.1. Consumo anual . . . . .	35
8.2. Consumo mensual . . . . .	36
8.3. Consumo diario . . . . .	36
<b>9. Análisis de las herramientas IoT</b>	<b>42</b>
9.1. Introducción . . . . .	42
9.1.1. Funcionamiento . . . . .	43
9.1.2. Comunicación . . . . .	43
9.2. Dispositivos IoT . . . . .	45
9.2.1. Raspberry Pi . . . . .	45
9.2.2. Arduino . . . . .	48
9.2.3. ESP32 . . . . .	50
9.2.4. Conclusión . . . . .	52
9.3. Plataformas en la nube IoT . . . . .	53
9.3.1. Arduino IoT Cloud . . . . .	55
9.3.2. ThingsBoard . . . . .	55
9.3.3. ThingSpeak . . . . .	57

## III Pruebas y resultados

<b>10. Implementación del hardware y software IoT</b>	<b>58</b>
---	-----------

10.1. ThingSpeak . . . . .	59
10.2. Método de sensores ultrasonidos . . . . .	60
10.2.1. Planteamiento . . . . .	60
10.2.2. Implementación . . . . .	61
10.3. Método BLE . . . . .	62
10.3.1. Planteamiento . . . . .	62
10.3.2. Implementación . . . . .	64
10.4. Método cámara . . . . .	66
10.4.1. Planteamiento . . . . .	66
10.4.2. Implementación . . . . .	67
10.5. Comunicación MQTT . . . . .	74
10.6. Sueño profundo y Dual Core . . . . .	75
10.7. Comparativa entre placas . . . . .	75
<b>11. Gestión de la Energía</b>	<b>77</b>
<b>IV Conclusiones y líneas futuras</b>	
<b>12. Conclusiones</b>	<b>80</b>
12.1. IoT . . . . .	80
12.2. Uso de la energía . . . . .	80
12.3. Inventario de las cargas eléctricas . . . . .	80
<b>13. Líneas a futuro</b>	<b>82</b>
13.1. Hábitos de consumo . . . . .	82
13.1.1. Horario de la ETSIIT . . . . .	82
13.1.2. Adquisición de nuevos equipos . . . . .	82
13.2. Implementación del hardware y software IoT . . . . .	83
13.2.1. Método BLE original . . . . .	83
13.2.2. Método BLE alternativo . . . . .	84
13.3. Gestión de la Energía . . . . .	84
<b>Bibliografía y Referencias</b>	<b>86</b>

# Índice de figuras

1.1.	La Ley de Moore comparada con los datos históricos [1]. . . . .	5
1.2.	Eslogan del Cartel del Proyecto de eficiencia energética AGENDA 21 Servicio de Infraestructuras [9]. . . . .	7
2.1.	El País, “El mundo consumirá un 30 % más de energía en 2040 y se aleja de cumplir el Acuerdo de París”, 14 de noviembre de 2017 [10].	8
2.2.	Demanda anual de energía eléctrica en b.c. del sistema peninsular [14]. . . . .	9
2.3.	Demanda anual de energía eléctrica en b.c. en Cantabria [14]. . . . .	10
3.1.	Antena 3 Noticias, “El preocupante aviso de la Agencia Internacional de la Energía: el precio de la luz no bajará como mínimo hasta 2025”, 5 de julio de 2022 [16]. . . . .	11
3.2.	Evolución de los precios de la energía eléctrica desde 2020 hasta 2021.	12
3.3.	Los días con el precio del MWh (pool) más caros desde 1998 [18]. . . . .	12
3.4.	Precio de mercado de gas y electricidad en España 2021. . . . .	13
3.5.	Comparación del precio del gas en España entre 2021 y 2022. . . . .	13
4.1.	Ciclo Planificar-Hacer-Verificar-Actuar. . . . .	16
4.2.	Proceso de planificación energética. . . . .	21
4.3.	Valores de IDEn. . . . .	22
7.1.	Organización de espacios en la ETSIIT. . . . .	30
8.1.	Consumo anual de energía eléctrica de la ETSIIT. . . . .	35
8.2.	Consumo mensual del año 2021 de energía eléctrica de la ETSIIT. . . . .	36
8.3.	Calendario académico del año 2021. . . . .	37
8.4.	Consumo diario de energía eléctrica de la ETSIIT cada 15 min. . . . .	41
9.1.	Representación de miniordenador, placa de desarrollo, SoC y microprocesador [25]-[28]. . . . .	42
9.2.	Arquitectura de publicación/suscripción de MQTT [29]. . . . .	44
9.3.	Estructura de un paquete estándar MQTT [30]. . . . .	45
9.4.	Raspberry Pi Pico. . . . .	46
9.5.	Raspberry Pi 3 model B+. . . . .	47
9.6.	Representación de los pines GPIO en un miniordenador Raspberry Pi.	47
9.7.	Arduino Nano 33 BLE Sense y Arduino Nano RP2040. . . . .	49
9.8.	Montaje de Arduino MKR con protectores y soporte [39], [40]. . . . .	49
9.9.	Arduino UNO Rev3 SMD. . . . .	49
9.10.	ESP32-DevKitC-32E, ESP32-WROOM-32E y ESP32-D0WD-V3 [42]-[44]. . . . .	51

9.11.	Diagrama de conectividad de ThingsBoard. . . . .	56
10.1.	Configuración de un nuevo canal en ThingSpeak. . . . .	59
10.2.	Configuración de dispositivo MQTT en ThingSpeak. . . . .	60
10.3.	Funcionamiento del cuentapersonas mediante sensores HCSR04. . .	61
10.4.	Divisor de tensión a la salida del pin ECHO. . . . .	61
10.5.	Conexión de la placa ESP32 y los sensores HC-SR04. . . . .	62
10.6.	Resultados del análisis de dispositivos BLE. . . . .	65
10.7.	Configuración de smartphone como baliza y detección. . . . .	65
10.8.	Resultados de peopleDetectorACF con el modelo “inria-100x41”. . .	68
10.9.	Resultados de peopleDetectorACF con el modelo “caltech-50x21”. .	69
10.10.	Resultados de vision.PeopleDetector con el modelo “UprightPeo- ple_128x64”. . . . .	70
10.11.	Resultados de vision.PeopleDetector con el modelo “UprightPeo- ple_96x48”. . . . .	70
10.12.	Resultados del algoritmo Viola-Jones con el modelo “UpperBody”. .	71
10.13.	Resultados de OpenCV con el modelo “haarcasca- de_mcs_upperbody.xml”. . . . .	72
10.14.	Aplicación Image Labeler. . . . .	73
10.15.	Resultados del entrenamiento ACF. . . . .	73
10.16.	Resultados del entrenamiento Viola-Jones. . . . .	74
10.17.	ESP32 NodeMCU, ESP32 D1 Mini, ESP32-WROVER CAM. . . . .	76
11.1.	Analizador de la escalera A, planta 1. . . . .	78
11.2.	Analizador de la escalera A, planta -1. . . . .	78
11.3.	Analizador de la escalera B, planta 0. . . . .	78
11.4.	Analizador de la escalera B, planta -1. . . . .	79

# Índice de tablas

2.1. Factores que explican la evolución de la demanda. . . . .	8
7.1. Datos generales del edificio. . . . .	29
7.2. Inventario de iluminación, planta 2. . . . .	31
7.3. Inventario de iluminación, planta 1. . . . .	31
7.4. Inventario de iluminación, planta 0. . . . .	32
7.5. Inventario de iluminación, planta -1. . . . .	32
7.6. Inventario de iluminación, planta -4. . . . .	33
7.7. Inventario de ordenadores. . . . .	33
7.8. Datos del suministro. . . . .	34
9.1. Mensajes MQTT . . . . .	45
9.2. Comparativa de las herramientas IoT. . . . .	52
9.3. Hardware compatible con Arduino IoT Cloud. . . . .	55
10.1. Comparativa de las placas ESP32. . . . .	76
13.1. Consumo de energía en stand-by. . . . .	82
13.2. Inventario de iluminación, ESC. B, PL. -1. . . . .	84

# Acrónimos

A	Amperio.
ACF	Aggregate Channel Features.
b.c.	barras de central.
BLE	Bluetooth de Baja Energía.
BR	Basic Rate.
CPU	Unidad Central de Procesamiento.
CTE	Código Técnico de la Edificación.
DSP	Digital Signal Processor.
E/S	Entrada/Salida.
EDR	Enhanced Data Rate.
EERR	Energías Renovables.
EIA	Agencia Internacional de la Energía.
ESP	Espressif.
ESP-IDF	Espressif Integrated Development Framework.
GEI	Gases de Efecto Invernadero.
GNU	GNU's Not Unix.
GPIO	General Purpose Input/Output.
GPS	Sistema de Posicionamiento Global.
GPU	Unidad de Procesamiento Gráfico.
HDMI	Interfaz Multimedia de Alta Definición.
HOG	Histogram of Oriented Gradients.
Hz	Hercio.
IA	Inteligencia Artificial.
IDE	Integrated Development Environment.
IDEn	Indicadores de Desempeño Energético.
IEC	Comisión Electrotécnica Internacional.
IFTTT	If This Then That.
INDEL	Investigación de la Demanda de Energía Eléctrica.
IoT	Internet de las Cosas.
IPMVP	International Performance Measurement and Verification Protocol.
ISO	Organización Internacional de Normalización.

LBE <sub>n</sub>	Líneas de Base Energética.
LDR	Light-Dependent Resistor.
LED	Light-Emitting Diode.
LoRa	Long Range.
M2M	Máquina a Máquina.
MCU	Microcontrolador.
MKR	Maker.
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport.
NB	Narrow Band.
NRND	No Recomendado para Nuevos Diseños.
OTA	Over The Air.
PHVA	Planificar-Hacer-Verificar-Actuar.
PIE	Programa de Investigación y Desarrollo Electrotécnico.
PIO	Programmable Input/Output.
PSRAM	Pseudostatic Random Access Memory.
REBT	Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión.
REE	Red Eléctrica de España.
RGB	Red Green Blue.
RP	Raspberry Pi.
RSSI	Received Signal Strength Indicator.
SGE <sub>n</sub>	Sistema de Gestión de la Energía.
SiP	System in Package.
SO	Sistema Operativo.
SoC	System on a Chip.
SVM	Support Vector Machine.
TIC	Tecnologías de la Información y la Comunicación.
USB	Universal Serial Bus.
USE	Uso Significativo de la Energía.
V	Voltio.
Wh	Vatio-Hora.
Wi-Fi	Wireless Fidelity.



# Prólogo

## Resumen

En la actualidad, el consumo energético por persona está aumentando y los precios de la energía también. Los nuevos estilos de vida a los que hemos llegado gracias a la tecnología influyen en este aumento del consumo. Y la inflación, la apuesta por las Energías Renovables, la invasión de Rusia a Ucrania, entre otros factores, está ocasionando un incremento en el precio de la energía. Esta situación nos obliga a todos a hacer un uso más eficiente de la energía. En trabajos previos relacionados con el análisis del consumo energético en la ETSIIT, se detectó un consumo elevado en periodos donde el consumo debería ser mínimo. La razón, se olvidaban de apagar las luminarias, se dejaban equipos encendidos... En el presente proyecto se buscará relacionar el consumo energético con el número de personas presentes en el edificio, para, posteriormente, gestionar el consumo energético acorde a una demanda más exacta. Para la realización del presente trabajo se analizará la posibilidad de trabajar con equipos basados en dispositivos de bajo coste (ESP32, Arduino, Raspberry Pi) que integren diferentes tipos de sensores y que envíen la información a un sistema en la nube. Para la realización del proyecto se utilizará la normativa vigente (REBT y CTE).

## Palabras Clave

Eficiencia energética, IoT, ESP32, sensores.

## Abstract

Currently, energy consumption per person is increasing and energy prices too. The new lifestyles that we have reached thanks to technology influence this increase in consumption. And inflation, the commitment to Renewable Energies, Russia's invasion of Ukraine, among other factors, are causing an increase in the price of energy. This situation forces us to make more efficient use of energy. In previous works related to the analysis of energy consumption of the ETSIIT, a high consumption was detected in periods when consumption should be minimal. The reason, they forgot to turn off the lights, they left equipment on... In this project we will seek to relate energy consumption to the number of people in the building, in order to subsequently manage energy consumption according to a more accurate demand.

To carry out this work, the possibility of working with equipment based on low-cost devices (ESP32, Arduino, Raspberry Pi) that integrate different types of sensors and send the information to a cloud system will be analyzed. To carry out the project, the current regulations (REBT and CTE) will be maintained.

## **Keywords**

Energy efficiency, IoT, ESP32, sensors.

# Descripción del proyecto

## Objetivo General

El objetivo general de este trabajo es contribuir al desarrollo de metodologías y estrategias que permitan mejorar la eficiencia energética de espacios de uso educativo en general, con aplicación específica a la ETSIIT y seguir, así, la línea que desde hace años ya está marcando la Universidad para poder ser más sostenible y respetuosa con el medioambiente.

## Objetivos Particulares

Para cumplir con el objetivo principal se buscará cumplir con los siguientes objetivos:

1. Realizar una auditoría de las cargas eléctricas de la ETSIIT.
2. Analizar el consumo energético de la ETSIIT utilizando las medidas proporcionadas por los analizadores de red instalados en el centro.
3. Buscar la herramienta IoT que mejor se adapte a las necesidades del proyecto e implementar diferentes propuestas de control de aforo.
4. Obtener una relación entre el consumo energético de la ETSIIT y los datos que se obtendrán de los sensores de la herramienta IoT para llevar a cabo la gestión energética.
5. Con el conocimiento adquirido, desarrollar metodologías y estrategias que puedan ser aplicadas con carácter general a otros espacios.

## Motivación

La principal motivación de realizar este proyecto es hacer tangible una idea que va más allá de la gestión energética. Además de la realización en sí que tiene la realización de un trabajo de estas características, el hecho de saber que este proyecto está contribuyendo a la eficiencia energética, también se traduce en una contribución al ahorro energético (no sólo ahorro económico), en responsabilidad energética, en sostenibilidad, en ser más respetuosos con el medioambiente (ya que a día de hoy nuestras fuentes de energía todavía emiten dióxido de carbono en su proceso) y, por ende, en contribuir con la reducción del efecto invernadero.

## Organización

Este trabajo está dividido en cuatro partes. En la primera parte se expondrá el contexto, es decir, el estilo de vida actual en el que nos encontramos y la energía que demandamos, el precio de la energía, su tendencia creciente, la eficiencia energética, en la que se destacará la norma ISO 50001, el mundo IoT, y una perspectiva general de todo el contexto visto. En la segunda parte se sentarán las bases del proyecto, se llevará a cabo una auditoría de las cargas eléctricas; se analizará el consumo eléctrico de la ETSIIT del año 2021, se verá el consumo energético que ha tenido el edificio en años anteriores y el tipo de contrato que tiene la ETSIIT para el suministro eléctrico. También se estudiarán las diversas herramientas IoT para optar por la solución que mejor encaje en este marco. En la tercera parte se llevarán a cabo las pruebas y resultados, se realizará la implementación del hardware y software IoT para poder estudiar la relación que existe entre el consumo energético de las aulas y el número de personas que hay en ellas, y por último, se buscará hacer una gestión de la energía acorde a los resultados obtenidos. En la última parte se hablará de las conclusiones y líneas futuras.

Parte I

Contexto

# Capítulo 1

## Estilo de vida

El estilo de vida actual al que hemos llegado es debido al crecimiento exponencial de las tecnologías. Pasaron de un crecimiento lento en el tiempo a un crecimiento cada vez más rápido, esto trajo consigo un cambio en la manera de vivir haciendo que muchas personas se vieran obligadas a adaptarse a tecnologías que antes desconocían o rechazaban.

Un claro ejemplo de este crecimiento tecnológico puede verse representado en la **Figura 1.1**, que muestra cómo se ha ido cumpliendo la Ley de Moore desde 1970 (Gordon Moore supuso que cada dos años se duplicaría el número de transistores en un microprocesador).

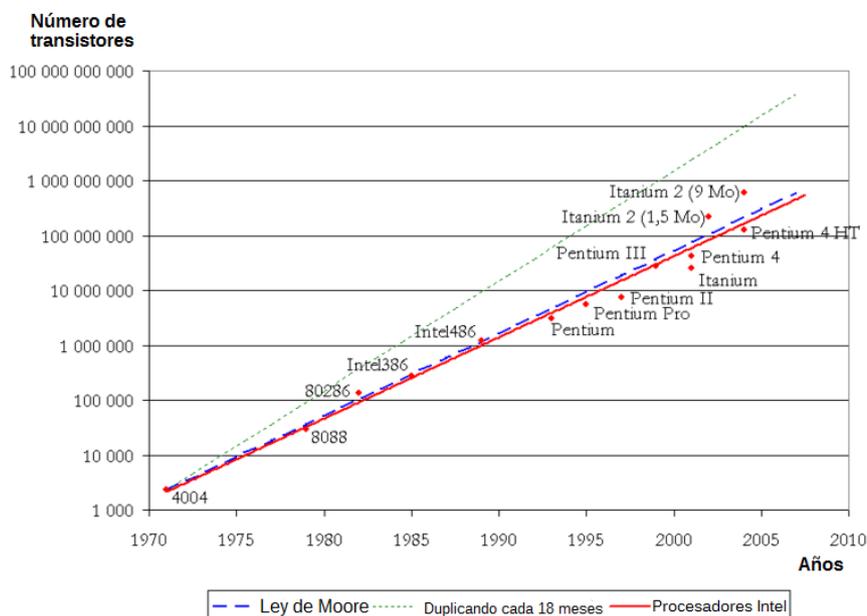


Figura 1.1: La Ley de Moore comparada con los datos históricos [1].

Entre las tecnologías que han tenido un crecimiento exponencial se encuentran la informática, la computación cuántica, la robótica, la Inteligencia Artificial (IA), la biotecnología, la nanotecnología, la impresión 3D, los drones, las blockchain y todas aquellas que han ido evolucionando de acuerdo a las necesidades y demanda de su uso en la vida cotidiana [2].

## 1.1. Ciudadano de a pie

El estilo de vida del ciudadano de a pie ha cambiado drásticamente en el último siglo. Cualquier casa en la actualidad consume mucha más energía que cualquier casa de los años sesenta [3] debido al estilo de vida al que hemos llegado.

La popularización de los electrodomésticos en la década de los sesenta y la llegada de los aires acondicionados en el año 1980 cambió la vida de muchas personas. Hoy por hoy, electrodomésticos y sistemas de climatización se han vuelto indispensables en nuestra vida cotidiana por facilitarnos las tareas de limpieza, cocina, higiene, así como por entretenernos. En resumen, estos aparatos y sistemas nos brindan comodidad. En prácticamente cualquier hogar podemos encontrar algún sistema de climatización y contar con, al menos, una unidad de los siguientes electrodomésticos: lavadora, televisor, nevera, microondas, aspirador, ordenador [4]. Aunque los mencionados sean los más habituales y reconocibles por todos, en la mayoría de las casas se pueden encontrar electrodomésticos de todas las gamas: marrón, blanca, gris o PAE [5] (esta clasificación viene dada por la Directiva de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos 2002/96/CE establecida por el Parlamento y el Consejo Europeo).

## 1.2. Universitario

Cada vez más los estudiantes universitarios usan dispositivos móviles para tomar apuntes y/o seguir la clase. El uso en las universidades de dispositivos móviles como smartphones, ordenadores portátiles o tabletas, se ha incrementado significativamente en los últimos 15 años.

La razón de este incremento se debe a que la generación actual que tenemos de estudiantes ha crecido en el mundo TIC. Los conocidos como “nativos digitales”, “estudiantes de la era digital” o “generación N” hacen uso cómodamente de estas tecnologías en el ámbito académico. Otra razón de este incremento recae en los precios, que se volvieron más asequibles en la mayoría de dispositivos móviles, lo que facilitó su adquisición por gran parte de los estudiantes. Además, hoy en día, la gran mayoría de las universidades conceden becas, facilitan estos dispositivos a sus estudiantes y ofrecen acceso gratuito a Internet a través de la red Wi-Fi en sus instalaciones, lo que contribuye a este nuevo estilo de vida que ya es un hecho. Este movimiento de las universidades ha sido impulsado por los gestores de estas instituciones que creen en el cambio positivo que tiene el nuevo enfoque de la enseñanza-aprendizaje a través de las TIC, siendo las competencias y habilidades digitales las que están desempeñando un papel cada vez más relevante en la forma en que los estudiantes aprenden.

Según el estudio de Martínez Rodrigo “Análisis del uso de dispositivos móviles en las aulas universitarias españolas” del año 2019, el ordenador portátil es el equipo más usado para tomar apuntes o seguir las presentaciones, un 87 % de los universitarios lo usa. Le sigue el teléfono móvil con un 75 %, en este caso los estudiantes lo usan para realizar consultas puntuales. Por último, la tableta es el dispositivo menos utilizado, sólo el 50 % lo emplea en el aula para tomar apuntes. Y sólo un 13 % de

los estudiantes no utiliza ningún dispositivo móvil.

En el mundo universitario no sólo están los estudiantes, sino también los profesores que han ido adaptando paulatinamente sus metodologías y enfoques de enseñanza a un ámbito TIC. Esto también ha sido consecuencia del conocido “Plan Bolonia”, donde las nuevas tecnologías y el aprendizaje a distancia son aspectos cruciales en la mayoría de programas académicos [6].

### 1.3. Problema

Según el programa de eficiencia energética realizado en abril de 2009 por Enefy, el número de equipos que utilizan electricidad va a seguir creciendo, tanto en casa como en la oficina [7]. Por ello, resulta cada vez más urgente llevar a cabo una buena gestión de la energía y el problema del actual estilo de vida es que, por lo general, no se lleva a cabo esa gestión. Los malos hábitos como, dejar el ordenador encendido durante toda la noche, no apagar las luces de la estancia al salir de ella o mantener aparatos en espera o stand-by, suponen un derroche energético. Dichos hábitos son algunos de los hábitos que se cometen por descuido, despiste u olvido en entornos laborales o académicos, lugares donde quienes cometen estos descuidos no se hacen responsables a final de mes del derroche cometido. Un cambio en nuestros hábitos energéticos puede suponer un ahorro potencial de aproximadamente un 19 % ( $\pm 5$  %) de nuestro consumo energético [8].

El impacto que generan estas actividades es económico, pero también medioambiental y es necesario hacer un uso más responsable. En la **Figura 1.2**, se aprecia el eslogan del cartel de la campaña energética que hizo la universidad.



**NO DERROCHES ENERGÍA... APAGA LO QUE  
NO NECESITAS**

Figura 1.2: Eslogan del Cartel del Proyecto de eficiencia energética AGENDA 21 Servicio de Infraestructuras [9].

## Capítulo 2

# Evolución de la demanda de energía eléctrica

Con el paso del tiempo, las tecnologías evolucionando constantemente y las nuevas formas de relacionarnos con nuestro entorno, resulta obvio el aumento del consumo energético. Según el programa de eficiencia energética realizado en abril de 2009 por Enefy, hoy, los españoles consumimos en un año la misma electricidad que en toda la década de los sesenta [7]. Además, se estima que el consumo energético siga en aumento según publica el periódico El País (véase la **Figura 2.1**).

**El mundo consumirá un 30 % más de energía en 2040 y se aleja de cumplir el Acuerdo de París**

Figura 2.1: El País, “El mundo consumirá un 30 % más de energía en 2040 y se aleja de cumplir el Acuerdo de París”, 14 de noviembre de 2017 [10].

Los factores que explican la evolución de la demanda de energía eléctrica se aprecian en la **Tabla 2.1**, factores obtenidos del proyecto INDEL, Atlas de la demanda eléctrica española [11]. Desde 1988 el proyecto INDEL fue un proyecto desarrollado por RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA con la colaboración técnica y material de las empresas eléctricas cuyo objetivo era explicar la demanda eléctrica en el marco del programa PIE.

TABLA 2.1. FACTORES QUE EXPLICAN LA EVOLUCIÓN DE LA DEMANDA.

Componentes	En el plazo de 1 o 2 años	En el plazo de más de 2 años
Efecto Temperatura	Temperatura por Zonas	Equipamiento por climatización Procesos Térmicos Intensidad de Uso
Efecto Laboralidad	Calendario Laboral por Zonas	Tarifa de Discriminación Diaria
Estacionalidad	Perfil de la actividad Económica	Tarifas de Discriminación Estacional
Coyuntura	Hábitos de los consumidores	Cambio de peso de los sectores
Tendencia	Coyuntura Económica	Crecimiento de la Economía Cambio de peso de los Sectores Gestión de la Demanda y Eficiencia Energética

Fuente: Proyecto INDEL [11]

La metodología THOR explica la evolución de la demanda de energía eléctrica a corto y largo plazo a través de diferentes factores determinantes. Estos factores son: el efecto laboralidad, el efecto temperatura y el efecto actividad económica. Sin embargo, en el informe realizado en noviembre del 2003, “Un modelo de previsión de la demanda de energía eléctrica: THOR II”, se plantea una actualización del modelo THOR donde, además de redefinir los efectos de laboralidad, temperatura y actividad económica, se incluye una nueva variable, Stock-Equipamiento que se caracteriza por el número y tipo del stock de viviendas, equipamiento (el de los hogares, el industrial y el del sector servicios), superficie comercial, etc. Con la primera versión de THOR, al filtrar el consumo de los efectos laboralidad y temperatura, el resultado era el efecto actividad económica, sin embargo, con la versión THOR II el resultado es actividad económica más equipamiento. A corto plazo el efecto del equipamiento es casi nulo, pero a largo plazo sí se aprecia [12]. Cabe mencionar también que en los últimos años la relación entre la demanda de energía eléctrica y el efecto actividad económica se ha moderado, la ganancia neta en eficiencia a partir del año 2005 empujó hacia una menor relación consumo eléctrico-PIB [13].

A continuación, veremos la evolución de la demanda de energía eléctrica en el sistema peninsular y Cantabria.

## 2.1. Sistema Peninsular

En la página oficial de la Red Eléctrica de España (REE), se pueden consultar los informes del sistema eléctrico español desde el año 1995 (en donde aparecen datos de la demanda de energía eléctrica desde el año 1991) hasta el año 2021 y en [11] se pueden observar datos desde 1982. En dichos informes podemos ver la evolución de la demanda de energía eléctrica en el sistema peninsular, dicha evolución se aprecia en la **Figura 2.2**.

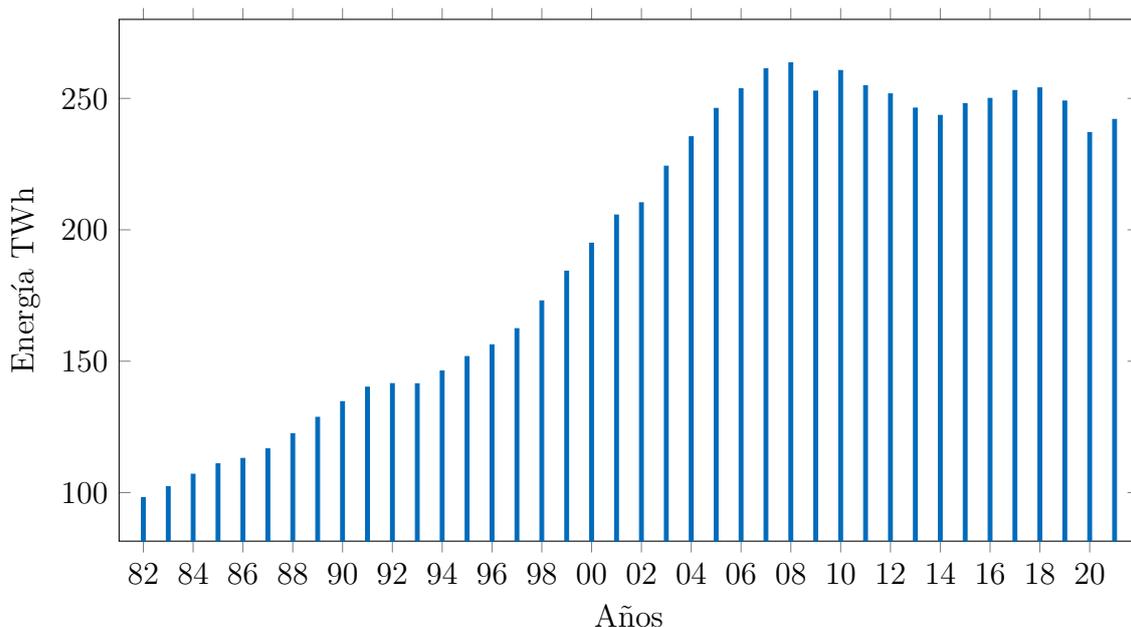


Figura 2.2: Demanda anual de energía eléctrica en b.c. del sistema peninsular [14].

## 2.2. Cantabria

En la **Figura 2.3**, se observa la evolución que ha tenido la demanda de energía eléctrica en Cantabria.

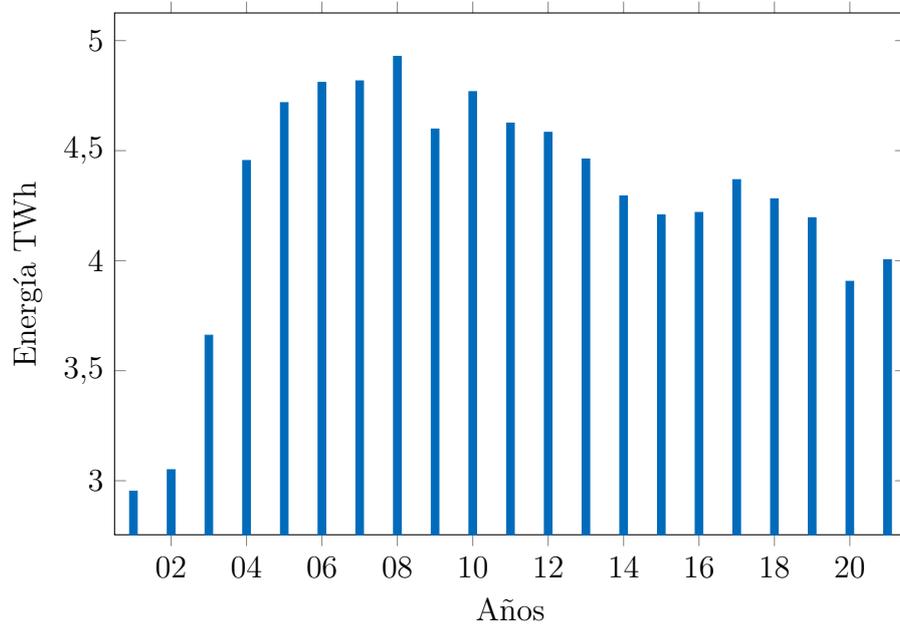


Figura 2.3: Demanda anual de energía eléctrica en b.c. en Cantabria [14].

# Capítulo 3

## Precio de la energía

España, debido a la escasez de recursos energéticos, depende de otros países. Esto la hace vulnerable ante crisis en países de los que depende y donde se ve afectado el precio de la energía.

El petróleo, el gas y el carbón cada vez escasean más, las causas: el incremento de la demanda y el agotamiento de los recursos. Dicha escasez ocasiona un incremento en el precio. Y aunque en la actualidad se sigan desarrollando tecnologías de energías renovables, la mayoría de ellas dependen de las condiciones climatológicas y, por ende, todavía es necesario recurrir a la energía de fuentes no renovables, por ejemplo a la energía procedente de centrales de ciclo combinado, cuyo combustible es el gas y cuyo precio ha estado en alza. Además, la producción de energía en centrales de ciclo combinado lleva unos costes por emitir CO<sub>2</sub>, estos son los derechos de emisión que fija la UE para que los países prioricen el uso de tecnologías sin emisiones [15].

El aumento del precio que sufre la energía es un hecho. Aunque el contrato que tienen instituciones como la Universidad no varía con respecto al mercado diario (es un contrato perteneciente al mercado libre, paga unos precios fijos al menos durante un año), sí que puede verse afectado en caso de tratarse de una crisis de larga duración [15](véase la **Figura 3.1**).

**El preocupante aviso de la Agencia Internacional de la Energía: el precio de la luz no bajará como mínimo hasta 2025**

Figura 3.1: Antena 3 Noticias, “El preocupante aviso de la Agencia Internacional de la Energía: el precio de la luz no bajará como mínimo hasta 2025”, 5 de julio de 2022 [16].

A continuación, se verá la evolución del precio de la electricidad y el gas por ser las fuentes de energía principales que utiliza la ETSIIT.

### 3.1. Electricidad

Según el informe del sistema eléctrico español del año 2021, el precio medio final de la energía registró su valor máximo histórico, siendo casi el triple que el del pasado año y el doble que el de los años 2017 al 2019. Estamos hablando de un precio medio final de 118,65 €/MWh [17]. En la **Figura 3.2**, se aprecia la evolución de los precios entre los años 2020 y 2021.

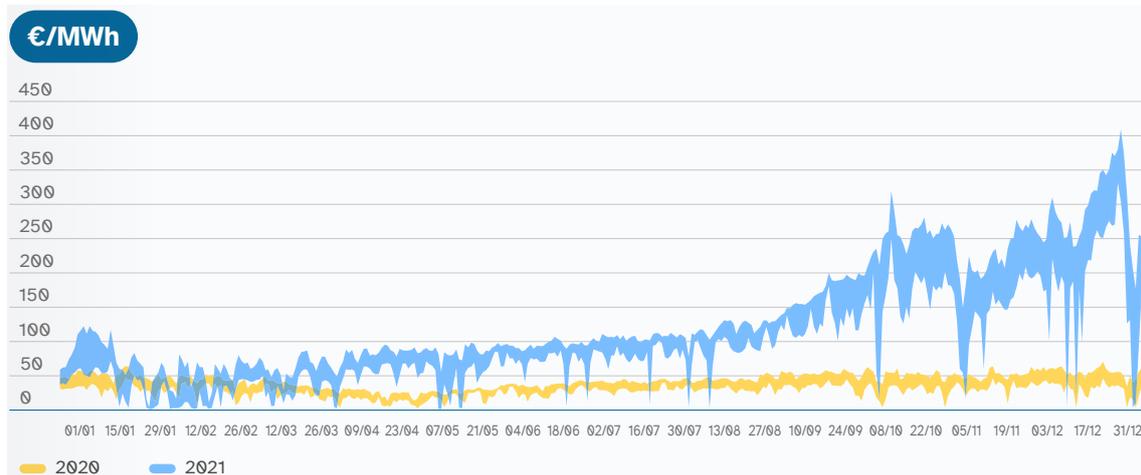


Figura 3.2: Evolución de los precios de la energía eléctrica desde 2020 hasta 2021 (Fuente: OMIE).

Además, en la **Figura 3.3**, se pueden apreciar los días con el precio del pool más caro en donde se observa que en este año 2022 se están registrando valores todavía más altos que en el 2021.

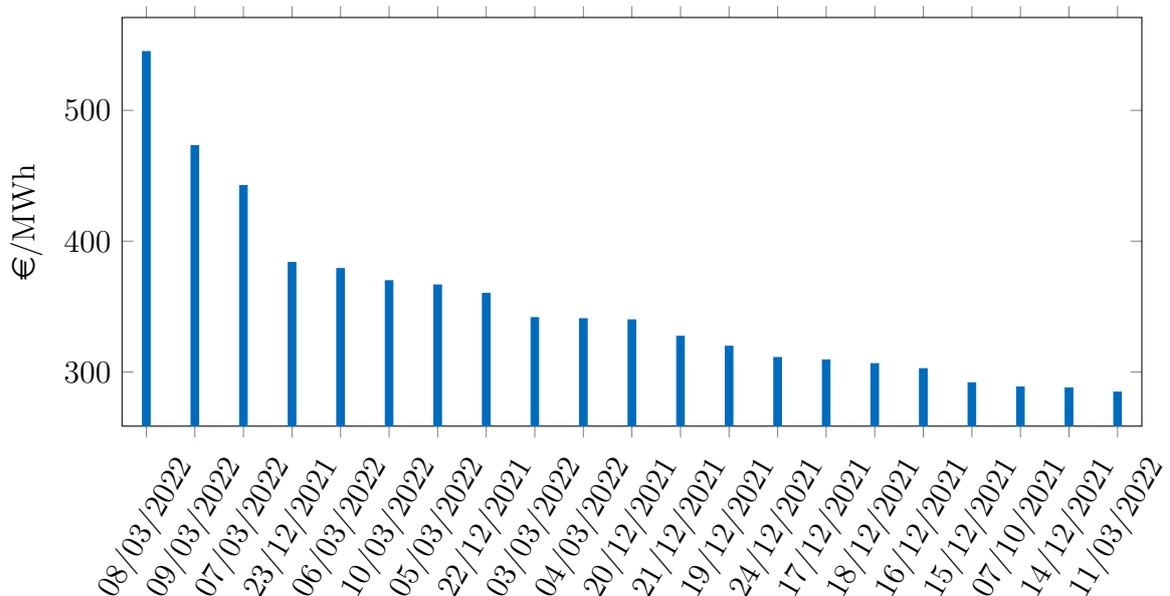


Figura 3.3: Los días con el precio del MWh (pool) más caros desde 1998 [18].

## 3.2. Gas

En el caso del gas, se han registrado precios diarios superiores a los 180 €/MWh en los últimos meses de 2021 [19]. En las **Figuras 3.4 y 3.5**, se puede apreciar la evolución del precio.

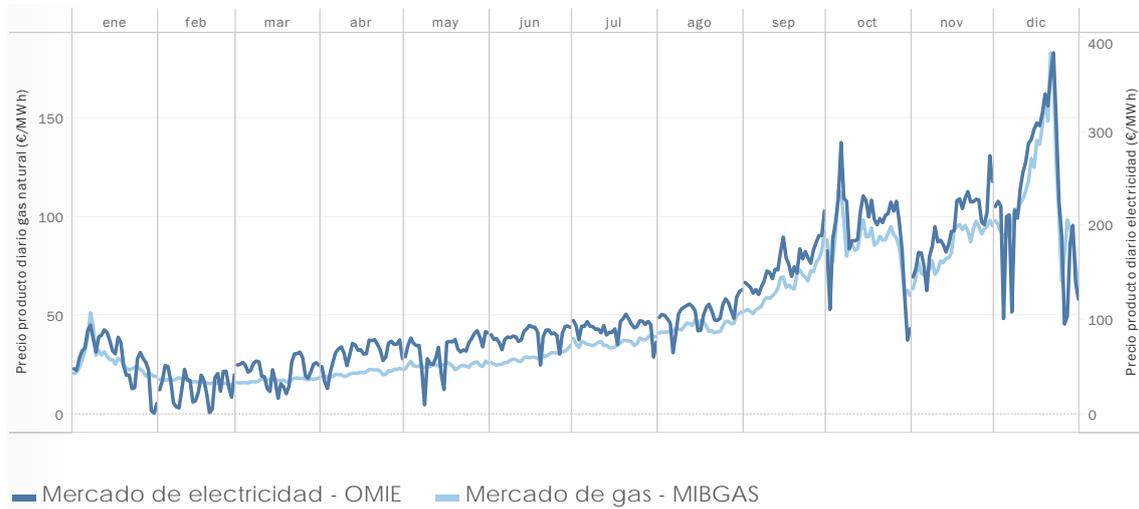


Figura 3.4: Precio de mercado de gas y electricidad en España 2021 (Fuente: OMIE y MIBGAS).

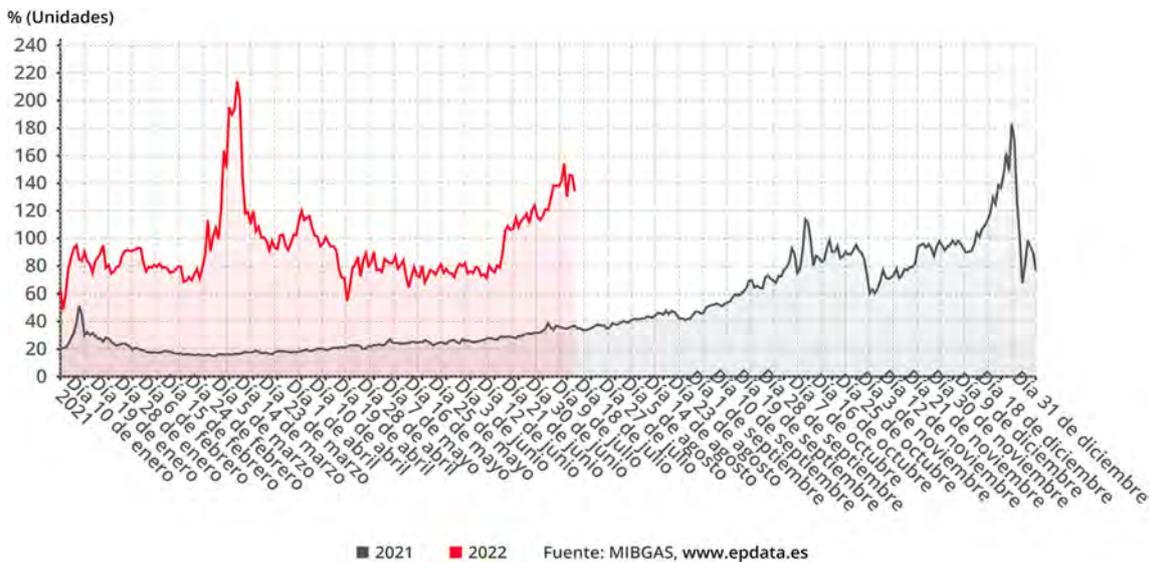


Figura 3.5: Comparación del precio del gas en España entre 2021 y 2022 (Fuente: MIBGAS).

# Capítulo 4

## Eficiencia energética

El término de eficiencia energética quiere decir, reducir el consumo de la energía y mantener a su vez los servicios energéticos que requiere un determinado nivel de calidad de vida. Cuando hablamos de un aumento en la eficiencia energética también estamos hablando de un aumento en la seguridad del suministro, la competitividad de la economía, la sostenibilidad y una disminución del impacto medioambiental. Es un procedimiento que se puede aplicar en hogares, vehículos, industrias y ciudades [20].

Según la Agencia Internacional de la Energía (EIA), hoy por hoy, debido al precio de la energía y al coste de vida, la eficiencia energética está siendo más indispensable que nunca y la EIA se refiere a ésta como el “primer combustible”, por ser la energía más limpia, más barata y más segura, la energía que no se consume [21].

Si no se toman acciones con respecto a la eficiencia, la transición energética a cero emisiones para el 2050 será un reto mucho mayor de lo que ya es. La humanidad se enfrenta a la mayor amenaza medioambiental: el cambio climático, y sus consecuencias pueden ser devastadoras.

Dentro de las medidas a implementar, se encuentran las tecnológicas, las de gestión y las de hábitos de consumo. En nuestras manos está buscar maneras más respetuosas de interactuar con el planeta. A continuación, se mostrará un resumen de la Norma ISO 50001, una norma que trata la eficiencia energética y está basada en el modelo de sistema de gestión, Norma importante debido a lo que representa hoy en día la energía: pilar fundamental para el funcionamiento de cualquier organización independientemente de su actividad.

### 4.1. ISO 50001:2018

En concreto, trataremos la Norma Española UNE-EN ISO 50001:2018, Sistemas de gestión de la energía, Requisitos con orientación para su uso (ISO 50001:2018), versión corregida, diciembre de 2018. Esta norma es la versión en español de la Norma Europea EN ISO 50001:2018, que a su vez adopta sin ninguna modificación la Norma Internacional ISO 50001:2018 y que anula y sustituye a la Norma UNE-EN ISO 50001:2011.

En esta Norma se utilizan las siguientes formas verbales:

- “debe” indica un requisito;
- “debería” indica una recomendación;
- “puede” indica un permiso, una posibilidad o una capacidad.

#### **4.1.1. ISO**

La Organización Internacional de Normalización (ISO) es una federación mundial de organismos nacionales de normalización y cuyos comités técnicos llevan a cabo normalmente el trabajo de elaboración de las Normas Internacionales. Cuando se trata de normalización electrotécnica, ISO colabora estrechamente con la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC).

La ISO ofrece a las empresas, gobiernos y a la sociedad, herramientas prácticas para las tres dimensiones del desarrollo sostenible: económica, ambiental y social.

#### **4.1.2. ISO 50001:2011 vs ISO 50001:2018**

Entre los cambios principales en comparación con la edición previa, podemos encontrar, un alto grado de compatibilidad con otras normas de los sistemas de gestión, un mayor énfasis en el rol de la alta dirección, y detalles y aclaraciones con respecto a la revisión energética, los IDEn y las LBEn.

#### **4.1.3. Introducción**

##### **Generalidades**

El objetivo de esta Norma es permitir a las organizaciones establecer los sistemas y procesos para mejorar continuamente el desempeño energético, concepto que está relacionado con la eficiencia energética, el uso de la energía y el consumo de energía. En esta Norma se especifican los requisitos para establecer, implementar, mantener y mejorar el Sistema de Gestión Energético (SGEn) cuyo éxito depende del compromiso de todos los niveles de la organización, en especial, de la alta dirección. En muchos casos, esto implica cambios culturales dentro de la organización. Para el desarrollo e implementación de un SGEn son necesarios una política energética, objetivos, metas energéticas, y planes de acción. Esto permite a la organización establecer y alcanzar las metas y los objetivos energéticos, tomar acción según lo necesite para mejorar su desempeño energético y demostrar la conformidad de su sistema con los requisitos de esta Norma, así si la organización desea demostrar conformidad, puede hacerlo; a través de la realización de una evaluación y la autodeclaración; solicitando la confirmación de su conformidad; a través de una autodeclaración por las partes interesadas, tales como los clientes o solicitando la certificación/registro de su SGEn a una organización externa.

## Ciclo “Planificar-Hacer-Verificar-Actuar” (PHVA)

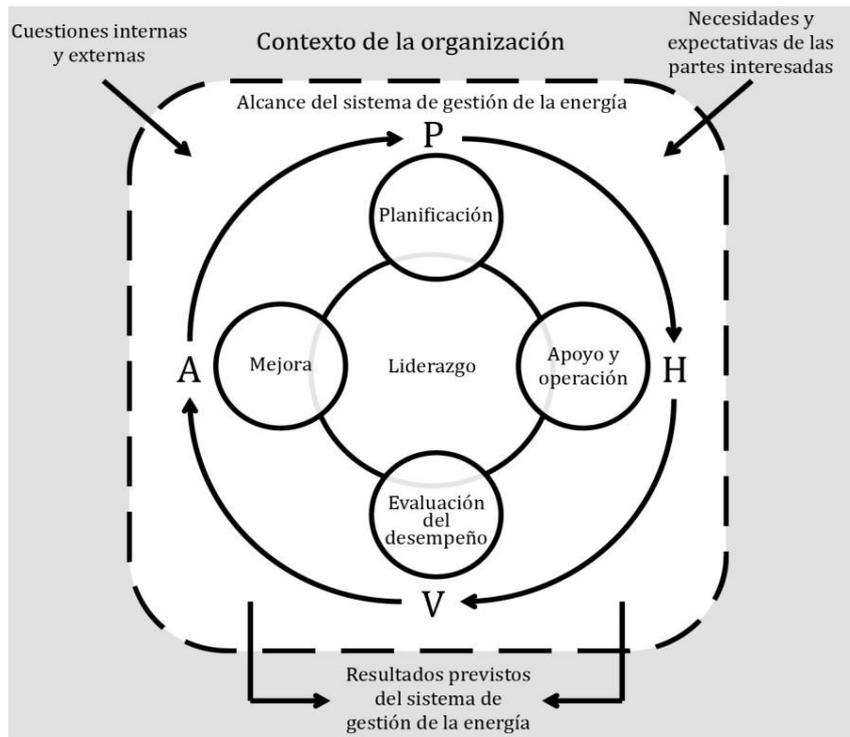


Figura 4.1: Ciclo Planificar-Hacer-Verificar-Actuar (Fuente: ISO).

El SGEN se basa en el marco de mejora continua Planificar-Hacer-Verificar-Actuar (PHVA), (véase **Figura 4.1**). En el contexto en el que nos encontramos, este marco se puede resumir de la siguiente manera.

- **Planificar:** comprender el contexto de la organización, establecer la política energética y el equipo de gestión de la energía, considerar las acciones para abordar los riesgos y las oportunidades, realizar una revisión energética, identificar los usos significativos de la energía (USE) y establecer indicadores de desempeño energético (IDEn), líneas de base energética (LBE), metas y objetivos energéticos y los planes de acción necesarios para mejorar el desempeño energético, de acuerdo con la política energética de la organización.
- **Hacer:** implementar planes de acción, controles operacionales y de mantenimiento, y la comunicación, asegurar la competencia y considerar el desempeño energético en el diseño y la adquisición.
- **Verificar:** realizar el seguimiento, medir, analizar, evaluar, auditar y dirigir las revisiones del desempeño energético y del SGEN.
- **Actuar:** tomar acción para abordar las no conformidades, y mejorar continuamente el desempeño energético y el SGEN.

### Beneficios de esta Norma

La implementación eficaz de esta Norma puede transformar la manera en la que las organizaciones gestionan la energía. Al integrar la gestión de la energía a la práctica del negocio, las organizaciones pueden establecer un proceso de mejora

continua del desempeño energético. Esta mejora en el desempeño energético y, por ende, en los costos de energía asociados, puede permitir que las organizaciones sean más competitivas. Cuando hablamos del costo, nos referimos además del económico, al costo medioambiental y social debido al agotamiento de los recursos y al problema del cambio climático.

Ni el precio de la energía ni las políticas gubernamentales ni la economía global pueden ser controladas por las organizaciones individuales, pero mejorar la forma de gestionar su energía sí, y lo pueden hacer aquí y ahora.

Esta norma garantiza un beneficio económico tangible (un ahorro sistemático de entre el 5 % y el 30 % del coste energético actual [22]). Se estima que la norma, dirigida a una amplia aplicabilidad a través de los sectores económicos nacionales, podría influir hasta en un 60 % del consumo de energía del mundo. Según ISO, el 90 % de las empresas que han implantado y certificado un sistema de gestión según UNE-EN ISO 50001, lo recomienda.

#### 4.1.4. Campo de aplicación

Esta norma es aplicable,

- a cualquier organización, sin importar su tipo, tamaño, complejidad, ubicación geográfica, cultura organizacional, o los productos y servicios que suministra;
- a las actividades que afectan el desempeño energético, gestionadas y controladas por la organización;
- sin importar la cantidad, uso o tipos de energía consumida.

#### 4.1.5. Términos y definiciones

A continuación, se verán los términos y definiciones que he considerado más pertinentes para la realización de este trabajo.

##### Términos relacionados con la organización

- **Organización:** el concepto de organización incluye, entre otros, trabajador independiente, compañía, corporación, firma, empresa, autoridad, sociedad, organización benéfica o institución, o parte o combinación de estos, estén constituidas o no, públicas o privadas.
- **Alta dirección:** persona o grupo de personas que dirige y controla una organización al más alto nivel. Tiene el poder para delegar autoridad y proporcionar recursos dentro de la organización.
- **Límite:** límites físicos u organizacionales del SGEN establecidos por la organización.
- **Alcance del SGEN:** grupo de actividades que una organización aborda a través de un SGEN.
- **Parte interesada:** persona u organización que puede afectar, ser afectado o percibirse como afectado por una decisión o actividad.

## Términos relacionados con el sistema de gestión

- **Sistema de Gestión de la Energía (SGEn):** sistema de gestión para establecer una política energética, objetivos, metas energéticas, planes de acción y procesos para alcanzar los objetivos y las metas energéticas.
- **Política energética:** declaración de la organización de su intención o intenciones, dirección o direcciones y compromiso o compromisos globales relacionados con su desempeño energético, según lo expresado formalmente por la alta dirección.
- **Equipo de gestión de la energía:** personas con responsabilidades y autoridad para la implementación eficaz de un SGEn y para la realización de las mejoras del desempeño energético. El tamaño y la naturaleza de una organización y los recursos disponibles se toman en cuenta al determinar el tamaño del equipo. Una sola persona puede desempeñar el rol de un equipo.

## Términos relacionados con los requisitos

- **Requisito:** necesidad o expectativa establecida, generalmente implícita u obligatoria.
- **Conformidad:** cumplimiento de un requisito.
- **No conformidad:** incumplimiento de un requisito.
- **Acción correctiva:** acción para eliminar la causa de una no conformidad y evitar que vuelva a ocurrir.
- **Auditoría:** proceso sistemático, independiente y documentado. La auditoría puede ser interna (de primera parte) o externa (de segunda o tercera parte), y puede ser combinada (combinando dos o más disciplinas). Una auditoría interna es realizada por la organización misma, o por una parte externa en su representación. El término “auditoría” significa la auditoría interna del sistema de gestión de la energía. Esto es diferente de la “auditoría energética”.

## Términos relacionados con el desempeño

- **Desempeño energético:** resultados medibles relacionados con la eficiencia energética, el uso de la energía y el consumo de energía. Se puede relacionar tanto con los hallazgos cuantitativos como cualitativos.
- **Indicadores de Desempeño Energético (IDEn):** medida o unidad de desempeño energético, según lo define la organización.
- **Valor del IDEn:** cuantificación del IDEn en un momento dado o durante un período de tiempo especificado.
- **Líneas de Base Energética (LBEn):** referencia cuantitativa que proporciona la base para la comparación del desempeño energético. Se fundamenta en los datos de un período de tiempo especificado según lo defina la organización.
- **Mejora del desempeño energético:** mejora en los resultados medibles de la eficiencia energética, o del consumo de energía relacionada con el uso de la energía, comparada con la línea de base energética.
- **Factor estático:** Factor identificado que impacta en forma significativa en el desempeño energético y que no cambia en forma rutinaria. Ejemplo: el tamaño de la instalación; el diseño del equipo instalado; la cantidad de turnos semanales; la variedad de productos.

- **Variable relevante:** factor cuantificable que impacta en forma significativa en el desempeño energético y cambia de forma rutinaria. Ejemplo: Las condiciones del clima, las condiciones operativas (temperatura interior, nivel de iluminación), horas laborables, volumen de producción.
- **Objetivo:** resultado a alcanzar. Son establecidos por la organización, de manera consistente con la política energética para alcanzar resultados específicos. Pueden ser de dos tipos:
  1. Cuantificables, con metas para la mejora del desempeño energético (por ejemplo, reducir el consumo eléctrico un 5 % para final de año).
  2. Cualitativos, relacionados con los hábitos de comportamiento, cambio cultural. Aunque sean objetivos cualitativos es posible hacer un seguimiento cuantitativo mediante estudios u otros mecanismos similares.
- **Meta energética:** objetivo cuantificable de la mejora del desempeño energético.
- **Mejora continua:** actividad recurrente para mejorar el desempeño energético y el sistema de gestión de la energía.

#### Términos relacionados con la energía

- **Energía:** se refiere a los diferentes tipos de energía, que se puede comprar, almacenar, tratar, utilizar en un equipo o en un proceso, o recuperar, incluyendo la renovable. Electricidad, combustibles, vapor, calor, aire comprimido y otros medios similares.
- **Consumo de energía:** cantidad de energía utilizada.
- **Uso de la energía o uso final de la energía:** aplicación de la energía. Ejemplo: ventilación; iluminación; calefacción; enfriamiento; transporte; almacenamiento de datos; proceso de producción.
- **Eficiencia energética:** proporción u otra relación cuantitativa entre un resultado de desempeño, servicio, productos, materias primas, o de energía y una entrada de energía. Tanto la entrada como la salida deben estar claramente especificadas en términos de cantidad y calidad, y se deben medir.
- **Uso Significativo de la Energía (USE):** uso de la energía que representa un consumo de energía sustancial y/o que ofrece un potencial considerable para la mejora del desempeño energético. Pueden ser instalaciones, sistemas, procesos o equipos.
- **Revisión energética:** análisis de la eficiencia energética, el uso de la energía y el consumo de energía, orientada a la identificación de los USE y de las oportunidades de mejora del desempeño energético.

#### 4.1.6. Contexto de la organización

La organización debe determinar las cuestiones externas e internas que son pertinentes para su propósito, que pueden afectar, positiva o negativamente. Como ejemplos de cuestiones externas se pueden incluir: cuestiones relacionadas con las partes interesadas como la existencia de objetivos nacionales o del sector, requisitos o normas; efectos del clima; emisiones de GEI. Y como ejemplos de cuestiones internas se pueden incluir: objetivos y estrategias del negocio principal; madurez de

la tecnología existente; consideraciones de sostenibilidad.

El alcance del SGEEn se logra al determinar los límites y la aplicabilidad del mismo SGEEn. La organización debe establecer, implementar, mantener y mejorar continuamente el SGEEn y el desempeño energético. Esto no significa que mejoren todos los valores de los IDEn. Algunos valores de los IDEn mejorarán y puede que otros no lo hagan; pero a lo largo del marco del SGEEn la organización demostrará la mejora del desempeño energético.

#### 4.1.7. Liderazgo

La alta dirección debe demostrar liderazgo y compromiso con respecto a la mejora continua de su desempeño energético y la eficacia de su SGEEn, debe establecer una política energética y debe asignar responsabilidades y autoridades al equipo de gestión de la energía. La alta dirección tiene la responsabilidad global de cumplir con los requisitos de esta Norma. Aun cuando delegue algunas responsabilidades, la rendición global de cuentas corresponde a la alta dirección.

La política energética establecida por la alta dirección es el fundamento para el desarrollo del SGEEn a través de todas las fases de planificación, implementación, operación, evaluación del desempeño y mejora. Los miembros de la organización pueden fácilmente comprender y aplicar en sus actividades laborales dicha política energética.

#### 4.1.8. Planificación

La planificación debe ser consistente con la política energética, y debe conducir a las acciones que dan como resultado la mejora continua en el desempeño energético.

##### Acciones para abordar los riesgos y las oportunidades



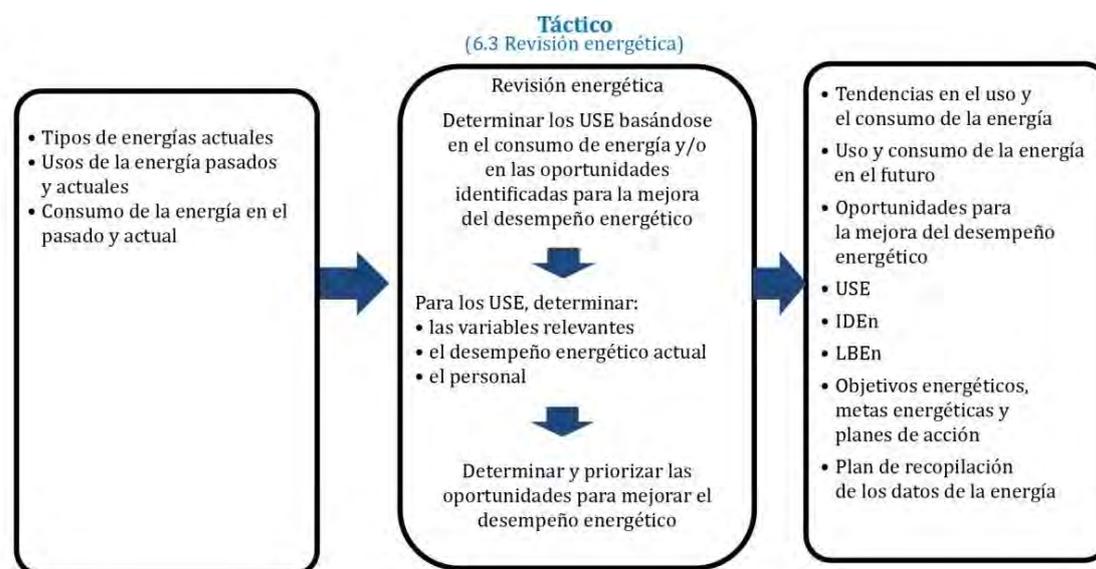


Figura 4.2: Proceso de planificación energética (Fuente: ISO).

En la **Figura 4.2**, se muestra un diagrama conceptual que mejora la comprensión del proceso de planificación energética (la información es ilustrativa).

### Objetivos, metas energéticas y la planificación para lograrlos

La organización debe establecer objetivos y metas energéticas así como establecer y mantener planes para alcanzar esos objetivos y metas, en dichos planes se incluyen: qué se hará; qué recursos serán necesarios; quién será responsable; cuándo se completará y cómo se evaluarán los resultados, incluyendo los métodos utilizados para verificar las mejoras del desempeño energético.

### Revisión energética

La organización debe desarrollar y llevar a cabo una revisión energética, para lo que debe: analizar el uso y el consumo de energía; identificar los USE; determinar y priorizar las oportunidades para mejorar el desempeño energético y estimar los usos y consumos de energía en el futuro.

Esta revisión energética se debe actualizar a intervalos de tiempo definidos, y también como respuesta a los cambios importantes en la instalación, el equipo, los sistemas o los procesos que utilizan energía. Eso sí, no tienen porqué actualizarse todas las partes de la revisión energética al mismo tiempo.

La auditoría energética puede proporcionar información sobre una o más partes de la revisión energética. El alcance de dicha auditoría puede comprender una revisión detallada del desempeño energético de la organización, los USE, los sistemas, los procesos que utilizan energía y/o el equipo. Se basa, generalmente, en la medición y la observación apropiadas del desempeño energético real para un alcance de auditoría energética definida. Las salidas de las auditorías energéticas, normalmente, incluyen información sobre el consumo de energía y el desempeño energético real, y pueden estar acompañadas de una serie de recomendaciones específicas priorizadas

por la mejora del desempeño energético o con el retorno de la inversión, con base en el análisis de los datos específicos del sitio y de las condiciones operativas.

## Indicadores de desempeño energético

La organización debe determinar los IDEn que sean apropiados para la medición y el seguimiento de su desempeño energético, y le permitan a la organización demostrar la mejora del desempeño energético. Estos IDEn se deben revisar y comparar con sus respectivas LBEn, según sea apropiado. Un IDEn es una “regla” que se utiliza para comparar el desempeño energético antes (valor de referencia del IDEn) y después (valor resultante o actual del IDEn) de la implementación de planes de acción y de otras acciones (véase la **Figura 4.3**). La diferencia entre el valor de referencia y el valor resultante es la medida del cambio en el desempeño energético.

Al cambiar las actividades del negocio o de las LBEn, la organización puede actualizar sus IDEn, cuando sea pertinente.

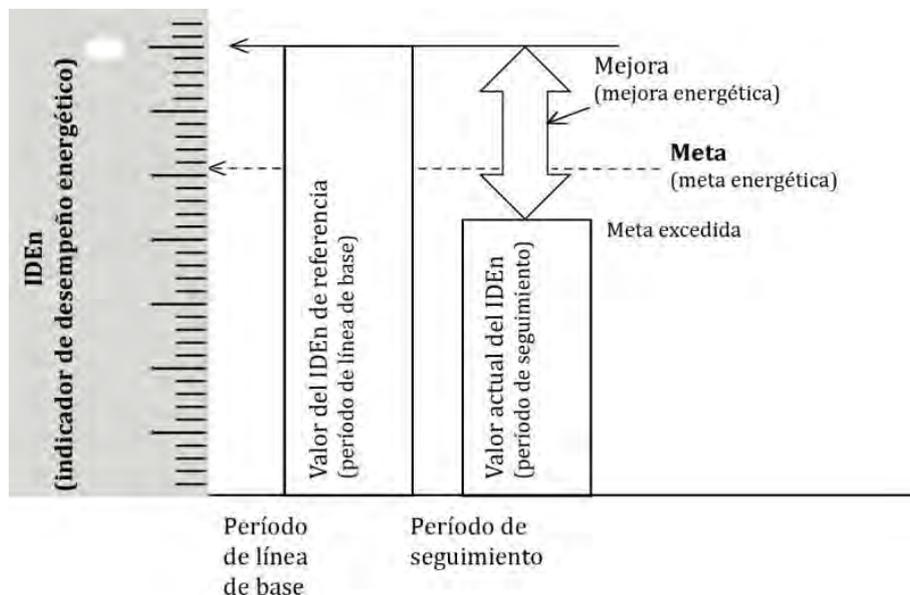


Figura 4.3: Valores de IDEn (Fuente: ISO).

## Línea de base energética

La organización debe establecer una o varias LBEn utilizando la información de la revisión energética, tomando en cuenta un período adecuado de tiempo.

Cuando la organización tenga datos que indiquen que las variables relevantes afectan en forma significativa el desempeño energético, la organización debe realizar la normalización de los valores de los IDEn y las correspondientes LBEn.

Las LBEn se deben revisar de acuerdo con un método predeterminado; en caso de que los IDEn ya no reflejen el desempeño energético de la organización; hayan existido cambios importantes en los factores estáticos.

## **Planificación para la recopilación de datos de energía**

La organización debe definir e implementar un plan de recopilación de datos de la energía apropiado a sus dimensiones, complejidad, recursos, y a sus equipos de seguimiento y medición. El plan debe especificar los datos necesarios para el seguimiento de las características principales, y establecer cómo y con qué frecuencia se deben recopilar y conservar los datos. El equipo utilizado para la medición de las características más importantes debe proporcionar datos precisos y repetibles.

### **4.1.9. Apoyo**

El apoyo hace referencia a los recursos que proporciona la organización (recursos humanos, tecnología, recursos financieros), la competencia de las personas, la toma de conciencia (por ejemplo, sobre el tema de la política energética), la comunicación pertinente tanto interna como externa para el SGen (cualquier persona que trabaje bajo el control de la organización puede realizar comentarios o sugerencias para mejorar el SGen o el desempeño energético) y la información documentada.

### **Información documentada**

La organización debe incluir la información documentada requerida por la Norma. En ella se incluyen, entre algunos puntos; el alcance y los límites del SGen; la política energética; los objetivos y las metas energéticas; planes de acción; los métodos y criterios utilizados para desarrollar la revisión energética y sus resultados; método para determinar y actualizar los IDEn así como sus valores; información de las LBen, los datos de las variables relevantes y las modificaciones a las LBen; las mediciones y el seguimiento; los resultados de la evaluación del cumplimiento y las acciones tomadas; la naturaleza de las no conformidades y los resultados de cualquier acción correctiva.

### **4.1.10. Operación**

#### **Planificación y control parental**

La organización debe planificar, implementar y controlar los procesos relacionados con sus USE. La organización debe asegurar que los USE contratados externamente o que los procesos relacionados con sus USE están controlados.

#### **Diseño**

La organización debe considerar las oportunidades de mejora del desempeño energético y el control operacional en el diseño de instalaciones, equipo, sistemas y procesos que utilizan energía, que sean nuevos, modificados y renovados, que puedan tener impacto significativo en su desempeño energético durante el tiempo de vida planificado o esperado.

## **Adquisición**

La adquisición es una oportunidad de mejorar el desempeño energético utilizando productos y servicios que hacen un uso más eficiente de la energía. La organización debe establecer e implementar los criterios para la evaluación del desempeño energético durante el tiempo de vida operativo planificado o esperado al adquirir productos, equipos y servicios que utilizan energía, y que se espera que tengan impacto significativo en el desempeño energético de la organización. Al adquirir productos que tengan, o puedan tener, impacto en los USE, la organización debe informar a los proveedores que el desempeño energético es uno de los criterios de evaluación para la adquisición.

### **4.1.11. Evaluación del desempeño**

#### **Seguimiento, medición, análisis y evaluación del desempeño energético y del SGEN**

La organización debe tener un procedimiento para evaluar, a intervalos planificados, el cumplimiento con los requisitos legales y otros requisitos relacionados con su eficiencia energética, el uso de la energía, el consumo de energía y el SGEN.

#### **Auditoría interna**

La organización debe realizar auditorías internas del SGEN a intervalos planificados para proporcionar información al respecto.

#### **Revisión por la dirección**

La alta dirección debe revisar el SGEN de la organización, a intervalos planificados, para asegurar su continua idoneidad, adecuación, eficacia y alineación con la dirección estratégica de la organización.

### **4.1.12. Mejora**

#### **No conformidad y acción correctiva**

Cuando se identifica una no conformidad la organización debe, según sea aplicable, tomar acción para controlarla y corregirla y ocuparse de las consecuencias. También debe evaluar la necesidad de acciones para eliminar las causas de la no conformidad, con el fin de que no vuelva a ocurrir en ninguna otra parte; implementar cualquier acción que sea necesaria; revisar la eficacia de la acción correctiva y realizar los cambios al SGEN, si fuera necesario.

## Mejora continua

La Norma no fija objetivos cuantitativos para la mejora de la eficiencia energética, esto depende de la organización o de las autoridades reguladoras. Esto es, una organización puede sentar una base de la cual partir e ir mejorando a su ritmo su SGEN, teniendo en cuenta su contexto y sus capacidades (se reconoce que las mejoras se logran con base en las prioridades de la organización). Aunque no se definan los niveles que se deben alcanzar de la mejora continua del desempeño energético, sí se requiere demostración de dicha mejora, y es la organización la que define la forma en que se demostrará. Algunos ejemplos de mejora continua incluyen: una disminución a lo largo del tiempo del consumo de energía total; un aumento de la energía total, pero una mejora en la medida del desempeño energético, según lo define la organización.

En el contexto de la mejora continua, lo que se espera es que la mejora ocurra periódicamente. La frecuencia, el alcance y la escala de tiempo de las acciones que apoyan la mejora continua están determinadas por la organización, acorde a su contexto, los factores económicos y otras circunstancias.

## 4.2. SGEN en el Mercado

En el mercado existen numerosas soluciones de sistemas de gestión energética. Por ejemplo, la empresa Linkener proporciona un sistema que mide en tiempo real el consumo del cliente, permitiéndole acceder a dicha información desde la aplicación web, lugar desde donde también puede optimizar la potencia contratada. Linkener monitoriza, balancea y gestiona el consumo, y la producción, si se diera el caso, de las fuentes de energía de las que dispone el cliente. Entre las características que destaca Linkener en un sistema de gestión energética se encuentran: información en tiempo real; telemedida y telegestión; información sobre las diferentes zonas; informes avanzados; mantenimiento; monoplataforma, todos tus datos en un mismo lugar; simulación de factura.

Con el sistema de Linkener, la empresa de muebles y accesorios para el hogar JYSK, consiguió ahorrar un 15 % en su factura de la luz (en torno a 100.000 euros de ahorro anuales). Un ejemplo de uso de este software fue cuando detectaron un consumo elevado de energía en una franja horaria festiva. Buscaron una solución, vieron si se estaban dejando equipos encendidos o si había algún problema con algún equipo. Con este tipo de sistemas los problemas se consiguen detectar a tiempo, de lo contrario, el cliente tendría que haber esperado a la factura energética para detectar recién que hubo un problema.

Demás empresas del sector energético como Seinon, Schneider Electric, iGromi, SMARKIA, mantienen una línea similar basada en la ISO 50001, en algunas se habla explícitamente de dispositivos IoT conectados al sistema para ayudar en la gestión, también de alertas y notificaciones ante anomalías y del cumplimiento con el protocolo IPMVP, protocolo para medir correctamente un ahorro.

# Capítulo 5

## IoT

Dentro de las tecnologías que buscan la eficiencia energética se encuentra el mundo Internet de las Cosas (IoT) que está cada vez más presente en nuestra vida cotidiana. Desde hogares hasta ciudades enteras (Smart Cities, Smart Buildings) están empezando a ver la potencialidad de estos sistemas que pueden ayudarnos en el control del tráfico, el control de los suministros de agua, la gestión energética, etc.

De la misma manera que la tecnología puede influir en un incremento del consumo energético, ésta también puede ser utilizada para poder desarrollar sistemas que nos ayuden a ser más eficientes haciendo un uso de la energía más responsable y coherente. A continuación, se explicará qué es el IoT y sus aplicaciones.

### 5.1. Definición

Las siglas IoT significan “Internet Of Things”, que en español se traduce como “Internet De las Cosas”. Es la agrupación e interconexión de dispositivos y objetos a través de una red (privada o pública) donde todos ellos pueden ser visibles e interactuar. La naturaleza de los objetos o dispositivos varía desde sensores hasta objetos cotidianos (un frigorífico, el calzado o la ropa). Prácticamente cualquier cosa puede estar conectada a la red e interactuar sin necesidad de la intervención humana, este tipo de interacción se conoce como Máquina a Máquina (M2M). La tecnología asociada al IoT permite recoger datos y mandarlos a la red para ser analizados, pero también puede hacer un análisis de los datos previo a su envío.

En conclusión, la idea reside en conectar a una red los objetos, que éstos sean capaces de recopilar datos e información y transmitirla a otros dispositivos, y que dicha información pueda ser almacenada y analizada para la mejora del propio funcionamiento del dispositivo o la mejora de otros dispositivos o sistemas.

### 5.2. Llegada del IoT

Hoy en día la conectividad es fundamental en cualquier área. La evolución rápida que ha tenido la tecnología de conectividad ha hecho posible que el IoT sea hoy en día una realidad. Como hemos visto en el **Capítulo 1**, las tecnologías han te-

nido un crecimiento exponencial y en el caso de la IA estamos siendo testigos de cómo se puede percibir el entorno y ejecutar tareas programadas gracias a sensores conectados a dispositivos a través del IoT.

La tecnología está trayendo nuevas formas de avanzar y de solucionar problemas, y al adaptarnos a ella nos adaptamos al futuro. En el caso del IoT, su llegada ha proporcionado mejoras en la vida cotidiana y en entornos empresariales

## **5.3. Aplicaciones IoT**

Cuando hablamos de tecnología IoT hablamos de diferentes soluciones propuestas por diferentes fabricantes que están en constante evolución. Debido a la variedad que existe es necesario analizar las diferentes tecnologías para adaptarlas a la solución concreta que se quiere desarrollar. Las aplicaciones son prácticamente infinitas. A continuación, se describen unos ejemplos.

### **5.3.1. Frigorífico de casa**

Se conecta el frigorífico a Internet para comunicarse con el usuario a través del teléfono móvil. Tipos de aviso (dependerá de los sensores que tenga el frigorífico): un alimento va a caducar; bajada de temperatura; un alimento se está acabando; el consumo eléctrico en función del número de veces que se abre la puerta de la nevera.

### **5.3.2. Domótica**

Numerosos dispositivos M2M conectados a Internet. Usos: control por voz; control de los parámetros del agua de un acuario; sistema de alarma conectado a una central; sistema de seguridad; control del encendido y apagado de determinados aparatos a través del teléfono móvil.

### **5.3.3. Aplicaciones industriales**

Dispositivos y sensores conectados a la red permiten analizar datos y generar alarmas y mensajes que, o bien, son enviados a los usuarios para que tomen las acciones pertinentes o bien, se corrigen o se tratan dichas alarmas de forma automática. Podemos ver un claro ejemplo en el sector ganadero donde la geolocalización ayuda a los ganaderos a tener mayor control sobre sus animales.

# Capítulo 6

## Perspectiva general

Esta primera parte concluye con una perspectiva general de lo visto. El estilo de vida que llevamos hoy en día y la tendencia creciente de la demanda de energía eléctrica han sido resultado de la evolución que han tenido las tecnologías. Si a esto le sumamos el precio de la energía y la tendencia a subir que ha estado teniendo en los últimos años, empezamos a considerar la importancia de la eficiencia energética y de normas como la ISO 50001. Si bien es cierto que según los datos de la demanda anual de energía eléctrica en b.c. en Cantabria estamos con una tendencia decreciente, independientemente de los factores que puedan explicar esta tendencia, la eficiencia energética debe seguir trabajándose, ya que como hemos visto, se trata de una mejora continua. Cuando hablamos de eficiencia energética no sólo tratamos aspectos económicos sino también medioambientales, algo a tener en cuenta por ser un problema global que nos compete a todos. Como medidas que buscan esta eficiencia energética, la tecnología IoT es una alternativa que desde hace años está cogiendo bastante peso por saber adaptarse a un amplio abanico de escenarios, pudiendo favorecer la eficiencia energética en prácticamente cualquier lugar. Esta tecnología será la que usaremos para este proyecto.

## Parte II

### Sentando las bases del proyecto

# Capítulo 7

## Auditoría de las cargas eléctricas de la ETSIIT

Para un correcto análisis del consumo eléctrico se realiza la presente auditoría en la que se analizarán las cargas eléctricas de determinadas zonas de la ETSIIT.

### 7.1. Datos generales del edificio

TABLA 7.1. DATOS GENERALES DEL EDIFICIO.

Nombre	E.T.S de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación
Ubicación	Avda. de los Castros s/n. 39005, Santander (Cantabria)
Actividad	Enseñanza superior universitaria
Contacto	942 20 18 75 / 942 20 18 76 / etsiit@unican.es
Nº de plantas	10
Superficie útil	21.000 m <sup>2</sup>
Fecha de construcción	1996

Fuente: UNICAN

#### 7.1.1. Mapa del edificio

La ETSIIT cuenta con 10 plantas (9 más la planta cubierta) y cada planta está dividida en tres zonas (escalera A, B y C). En la **Figura 7.1**, se muestra el mapa de la escuela sin incluir la planta cubierta (lugar donde se encuentran equipos de aire acondicionado; antenas; sala de ascensores y otras instalaciones).

ESCALERA A		ESCALERA B		ESCALERA C	
2	Dirección				
1	Aulas 22 y 23. Aula de Informática 3 Biblioteca	1	Aulas de Informática 1, 2 y Usuarios Dpto. Ing. de Comunicaciones (Laboratorios)	1	Dpto. Ing. de Comunicaciones (Laboratorios)
0	Negociado. Conserjería. Delegación de Alumnos. Cafetería. Comedor Universitario	0	Aulas 05,06, 07 y 08	0	Aulas 01,02, 03 y 04
-1	Salón de Actos. Sala de Grados. Reprografía. Aulas E2, E3 y E4. Aula de Informática 4. Comedor Universitario.	-1	Aulas 15,16, 17 y 18	-1	Aulas 11,12, 13 y 14

-2	Dpto. Ing. Eléctrica y Energética (Laboratorios) Dpto. Transportes y Tecnología de Proyectos y Procesos (GIDAI) (Despachos) Dpto. Ing. Estructural y Mecánica (Despachos)	-2	Dpto. Tecnología Electrónica e Ingeniería de Sistemas y Automática (Secretaría y Despachos) Dpto. Ing. Eléctrica y Energética (Administración y Despachos)	-2	Dpto. Ingeniería Geográfica y Técnicas de Expresión Gráfica (Despachos y Aula de CAD) Dpto. Ing. Química y Biomolecular (Administración, Despachos y Sala de Ordenadores)
-3	Dpto. Transportes y Tecnología de Proyectos y Procesos (GIDAI - Despachos y Laboratorios) (Ing. de los Procesos de Fabricación) Dpto. Química e Ing. de Procesos y Recursos (Administración, Despachos y Sala de Reuniones) Dpto. Electrónica y Computadores	-3	Dpto. Tecnología Electrónica e Ingeniería de Sistemas y Automática (Despachos y Laboratorios) Dpto. Ing. Eléctrica y Energética (Despachos y Laboratorios)	-3	Dpto. Tecnología Electrónica e Ingeniería de Sistemas y Automática (Despachos y Laboratorios) Dpto. Química e Ing. de Procesos y Recursos (Administración, Despachos y Sala de Reuniones)
-4	Aula de Informática 5 Dpto. Ing. Eléctrica y Energética (Laboratorios) Dpto. Tecnología Electrónica e Ingeniería de Sistemas y Automática (Laboratorios) Dpto. Ing. Estructural y Mecánica (Laboratorios) Dpto. Transportes y Tecnología de Proyectos y Procesos (Construcciones Industriales)	-4	Dpto. Tecnología Electrónica e Ingeniería de Sistemas y Automática. (Despachos y Seminario) Dpto. Matemática Aplicada y Ciencias de la Computación (Administración y Despachos)	-4	Dpto. Ing. Química y Biomolecular Dpto. Tecnología Electrónica e Ingeniería de Sistemas y Automática (Despachos y Laboratorio) Dpto. Química e Ing. de Procesos y Recursos (Laboratorios y Taller)
		-5	Dpto. Ciencias de la Tierra y Física de la Materia Condensada (Laboratorios y Despachos) Dpto. Matemática Aplicada y Ciencias de la Computación (Despachos)	-5	Dpto. Ing. Química y Biomolecular (Laboratorios) Dpto. Química e Ing. de Procesos y Recursos (Despachos y Laboratorios)
		-6	Dpto. Química e Ing. de Procesos y Recursos (Laboratorios) Dpto. Ing. Química y Biomolecular	-6	Dpto. Química e Ing. de Procesos y Recursos (Despachos y Laboratorios) Dpto. Ing. Química y Biomolecular (Laboratorios)

Figura 7.1: Organización de espacios en la ETSIIT.

## 7.2. Descripción y análisis de los principales focos de consumo

Los principales focos de consumo de la universidad son los equipos de producción térmica e instalaciones de climatización y las cargas eléctricas. A continuación, veremos un breve resumen sobre los equipos de producción térmica e instalaciones de climatización para luego centrarnos en las cargas eléctricas.

### 7.2.1. Equipos de producción térmica e instalaciones de climatización

Como breve resumen sobre los equipos de producción térmica e instalaciones de climatización, la ETSIIT cuenta con:

- una sala de calderas (planta -4), con agua caliente como flujo calefactor y con radiador como elemento terminal;
- dos salas de climatización (planta 1 y -3), una da servicio a la biblioteca y la otra da servicio al salón de actos, la sala de grados y a las aulas escalonadas de la escalera A en la planta -1;
- sistemas de refrigeración de aire acondicionado (planta cubierta), dan servicio a las aulas, el comedor, la delegación de alumnos y laboratorios de química.

### 7.2.2. Iluminación

La ETSIIT, dependiendo de la zona a iluminar (aulas, despachos, pasillos, aseos, laboratorios...), dispone de varios tipos de iluminación. En las **Tablas** de la **7.2** a la **7.6**, se muestra el inventario de iluminación de la biblioteca, aulas y sus zonas comunes, y algunas plantas íntegramente.

TABLA 7.2. INVENTARIO DE ILUMINACIÓN, PLANTA 2.

Ubicación	Nº salas similares	Tipo Luminaria	Nº Luminarias	Tipo Lámpara	Nº lámpara / Luminaria	W / Lámpara	W / Luminaria	kW TOTAL
Sala Monografías y revistas 223A	1	Empotrada	86	Led	1	20	20	1,72
Sala Monografías y revistas 223A	1	Empotrada	6	Led	1	40	40	0,24
Sala 3-223B, 2-223C, 1-223D	3	Empotrada	4	Led	1	40	40	0,48
Hall Pasarela	1	Empotrada	8	FC	1	18	18	0,144
Pasillos	1	Suspendida	9	FT	2	58	116	1,044
Sala de Reuniones 212-216, despacho 213-214	4	Suspendida	2	FT	2	58	116	0,928
Despacho 215	1	Suspendida	1	FT	2	58	116	0,116
Aseo 202A-202B	2	Empotrada	3	Led	1	20	20	0,12
Cuarto 202	1	Empotrada	1	Led	1	20	20	0,02
Despacho 203-205	2	Suspendida	2	FT	2	58	116	0,464
Despacho 204	1	Suspendida	1	FT	2	58	116	0,116
Despacho 205	1	Suspendida	2	FT	2	58	116	0,232
Despacho 206	1	Suspendida	3	FT	2	58	116	0,348
Despacho 206A	1	Empotrada	3	FT	4	18	72	0,216
Sala de juntas	1	Empotrada	15	FC	2	18	36	0,54
<b>TOTAL</b>								<b>6,728</b>

FT: Fluorescente de tubo FC: Fluorescente compacto

TABLA 7.3. INVENTARIO DE ILUMINACIÓN, PLANTA 1.

Ubicación	Nº salas similares	Tipo Luminaria	Nº Luminarias	Tipo Lámpara	Nº lámpara / Luminaria	W / Lámpara	W / Luminaria	kW TOTAL
Sala de Básica	1	Suspendida	16	Led	2	35	70	1,12
Sala de Básica	1	Suspendida	2	Led	1	35	35	0,07
Sala de Básica	1	Empotrada	14	Led	1	20	20	0,28
Sala de Básica	1	Empotrada	36	Led	1	40	40	1,44
Despacho 117	1	Empotrada	4	Led	1	40	40	0,16
Hall Biblioteca	1	Empotrada	12	FC	1	18	18	0,216
Pasillos	1	Empotrada	12	FT	3	36	108	1,296
Pasillos	1	Empotrada	1	Led	1	20	20	0,02
Distribuidor	1	Empotrada	13	FC	2	18	36	0,468
Aula 3 Informática	1	Empotrada	6	FC	2	18	36	0,216
Aula 22	1	Empotrada	28	FC	2	18	36	1,008
Aula 22	1	Empotrada	11	FT	1	36	36	0,396
Aula 23	1	Empotrada	28	FC	2	18	36	1,008
Aula 23	1	Empotrada	8	FT	1	36	36	0,288
Sala Informática	1	Empotrada	5	FT	4	18	72	0,36
Sala Informática	1	Empotrada	1	FT	3	36	108	0,108
Aula Informática 1	1	Empotrada	12	FT	3	36	108	1,296
Aula Informática 2	1	Empotrada	6	FT	3	36	108	0,648
<b>TOTAL</b>								<b>10,398</b>

FT: Fluorescente de tubo FC: Fluorescente compacto

TABLA 7.4. INVENTARIO DE ILUMINACIÓN, PLANTA 0.

Ubicación	Nº salas similares	Tipo Luminaria	Nº Luminarias	Tipo Lámpara	Nº lámpara / Luminaria	W / Lámpara	W / Luminaria	kW TOTAL
Hall - pasillos	1	Empotrada	116	Led	1	20	20	2,32
Hall - pasillos	1	Adosado	4	FT	1	36	36	0,144
Aseo 004A, 004B	2	Empotrada	4	FC	1	18	18	0,144
Aseo 004A, 004B	2	Adosado	5	Led	1	10	10	0,1
Aseo 009A, 009B	2	Empotrada	7	Led	1	20	20	0,28
Aula 04, 05, 08	3	Empotrada	16	Led	1	40	40	1,92
Aula 07, 06	2	Empotrada	24	Led	1	40	40	1,92
Aula 03	1	Empotrada	30	Led	1	40	40	1,2
Aula 02	1	Empotrada	25	Led	1	40	40	1
Aula 01	1	Empotrada	15	Led	1	40	40	0,6
Delegación de alumnos, comedor universitario, sala multiusos	3	Empotrada	4	FT	3	36	108	1,296
Aseo 014A, 014B	2	Empotrada	5	Led	1	20	20	0,2
Administración	1	Suspendida	14	FT	2	58	116	1,624
<b>TOTAL</b>								<b>12,748</b>

FT: Fluorescente de tubo FC: Fluorescente compacto

TABLA 7.5. INVENTARIO DE ILUMINACIÓN, PLANTA -1.

Ubicación	Nº salas similares	Tipo Luminaria	Nº Luminarias	Tipo Lámpara	Nº lámpara / Luminaria	W / Lámpara	W / Luminaria	kW TOTAL
Aula 11	1	Empotrada	16	Led	1	40	40	0,64
Aula 12, 13, 16, 17	4	Empotrada	19	Led	1	40	40	3,04
Aula 14, 15	2	Empotrada	14	Led	1	40	40	1,12
Aula 18	1	Empotrada	9	Led	1	40	40	0,36
Aula E2	1	Adosada	9	FT	1	58	58	0,522
Aula E2	1	Adosada	42	FT	2	58	116	4,872
Aula E2	1	Adosada	28	FT	1	58	58	1,624
Aula E3	1	Adosada	24	FT	2	58	116	2,784
Aula E3	1	Adosada	10	FT	1	58	58	0,58
Aula E4	1	Empotrada	47	FT	3	36	108	5,076
Hall - Pasillos	1	Empotrada	25	Led	1	80	80	2
Hall - Pasillos	1	Empotrada	37	Led	1	20	20	0,74
Hall - Pasillos	1	Empotrada	6	FC	1	18	18	0,108
Hall - Pasillos	1	Empotrada	4	FT	1	36	36	0,144
Aseo S14 A, S14 B	2	Empotrada	4	FC	1	18	18	0,144
Aseo S19 A, S19 B	2	Adosado	5	Led	1	10	10	0,1
Reprografía	1	Empotrada	5	FT	3	36	108	0,54
Sala de control	1	Empotrada	2	FT	4	18	72	0,144
Salón de actos	1	Empotrada	90	FT	1	58	58	5,22
Salón de actos	1	Empotrada	8	FC	2	18	36	0,288
Sala de grados	1	Empotrada	15	FT	4	18	72	1,08
Aula Informática 4	1	Empotrada	3	FT	3	36	108	0,324
Aula Informática 4	1	Empotrada	6	Led	1	20	20	0,12
Comedor	1	Empotrada	3	FT	3	36	108	0,324
<b>TOTAL</b>								<b>31,894</b>

FT: Fluorescente de tubo FC: Fluorescente compacto

TABLA 7.6. INVENTARIO DE ILUMINACIÓN, PLANTA -4.

Ubicación	Nº salas similares	Tipo Luminaria	Nº Luminarias	Tipo Lámpara	Nº lámpara / Luminaria	W / Lámpara	W / Luminaria	kW TOTAL
Aula informática 5	1	Empotrada	26	FT	4	18	72	1,872
<b>TOTAL</b>								<b>1,872</b>

FT: Fluorescente de tubo FC: Fluorescente compacto

## Sistemas de control

Generalmente, el apagado y encendido se hace de forma manual; para las aulas de mayor capacidad, el apagado y encendido puede dirigirse a una o varias partes del aula y algunas zonas comunes funcionan con detector de presencia.

## Condiciones de funcionamiento

Dado que el sistema de control es manual y presencial, el funcionamiento de la iluminación de un espacio está relacionado con su ocupación, es decir, funcionan a demanda.

### 7.2.3. Equipos de ofimática

Este edificio cuenta con un parque de ordenadores muy elevado debido a sus aulas de informática, laboratorios y por tener como mínimo un ordenador por despacho y aula. En la **Tabla 7.7**, se muestra el inventario de ordenadores de las aulas a las que se ha tenido acceso y de algunos despachos, en dicha tabla no se incluyen los ordenadores de los laboratorios, ni del resto de despachos, pero se estima que el total supere los 500 ordenadores.

TABLA 7.7. INVENTARIO DE ORDENADORES.

UBICACIÓN	Nº DE ORDENADORES
Aula informática 1	54
Aula informática 2	24
Aula informática 3	17
Aula informática 4	19
Aula informática 5	46
AULAS	27
Biblioteca	25
Administración	6
Despachos de dirección	10
Salón de actos	1
Sala de grados	1
<b>TOTAL</b>	<b>230</b>

Un número tan significativo como el calculado tiene una gran importancia en el consumo eléctrico en caso de quedar encendidos o en stand-by. Por esta razón es importante mantener apagados (o hibernados) los ordenadores cuando no se usen.

#### 7.2.4. Otros equipos

En el edificio también podemos encontrar, proyectores (al menos uno por aula), fotocopiadoras, televisiones, microondas, neveras, ascensores, entre otros equipos.

### 7.3. Suministro eléctrico

La ETSIIT tiene un contrato para el suministro eléctrico que pertenece al mercado libre de alta tensión. Es un contrato con discriminación horaria, en la **Tabla 7.8**, se muestran las características.

TABLA 7.8. DATOS DEL SUMINISTRO.

<b>Mercado</b>	Libre de alta tensión
<b>Tensión (V)</b>	1kV-14kV
<b>Tarifa</b>	6.1 A
<b>Consumo anual (kWh) (2021)</b>	893.512
<b>Potencia contratada (kW)</b>	350—350—350—350—350—451
<b>Modo facturación</b>	6 periodos

# Capítulo 8

## Consumo eléctrico actual de la ETSIIT

Para el caso que nos compete revisaremos los analizadores situados en la ETSIIT. A continuación, describiremos el consumo de energía eléctrica de la ETSIIT de años anteriores hasta el año 2021 y nos centraremos en este último por tener los datos completos.

### 8.1. Consumo anual

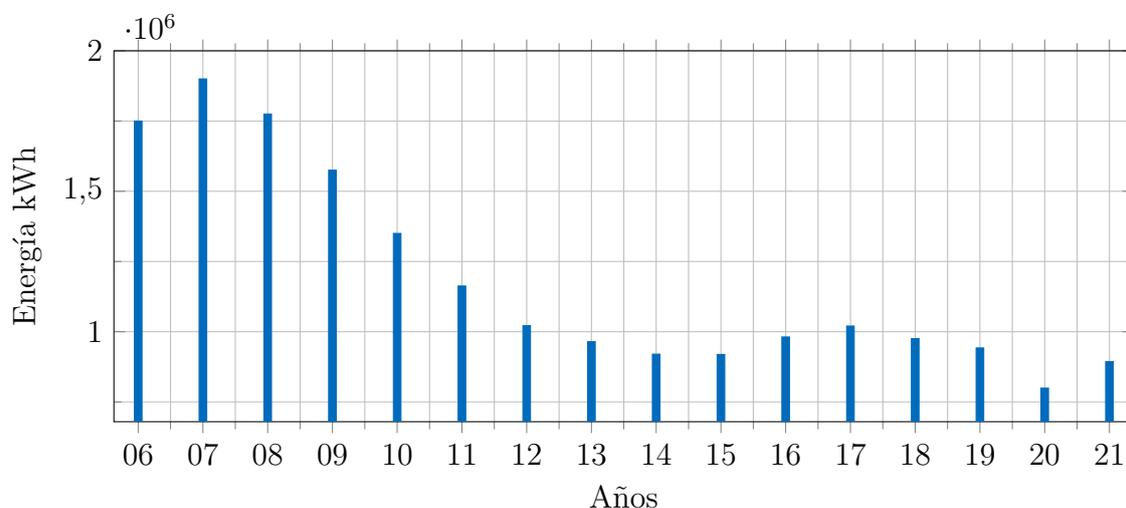


Figura 8.1: Consumo anual de energía eléctrica de la ETSIIT.

Desde hace años la Universidad de Cantabria lleva impulsando planes que promueven la sostenibilidad energética, de ahí que desde entonces los consumos energéticos anuales hayan caído notablemente. Proyectos como “Enefgy” y “Ecocampus Agenda 21” realizados en los periodos 2008-2012 y 2012-2016 respectivamente, han contribuido a esta reducción.

En la **Figura 8.1**, se puede apreciar la caída en el consumo de energía eléctrica que ha tenido la ETSIIT desde 2008 hasta mantenerse entorno a los  $10^6$  kWh de

consumo de energía eléctrica. El consumo luego creció ligeramente desde el año 2015 hasta el año 2017 y luego empezó a decrecer nuevamente hasta el año 2019. Los años siguientes se entienden como años peculiares por la COVID-19 que provocó un confinamiento y ciertas restricciones, lo que llevó a un descenso notable en la demanda, situándose cerca de los 800,000 kWh para el año 2020. Se espera que los próximos años la demanda de energía eléctrica de la ETSIIT vuelva a rondar los  $10^6$  kWh.

## 8.2. Consumo mensual

En la **Figura 8.2**, se aprecia el consumo mensual del año 2021. Como mencionamos anteriormente, este año al igual que el año 2020 representan años peculiares. De todas maneras, se muestra la gráfica para apreciar la variabilidad de la demanda con respecto a los meses, por ser algunos más demandantes (periodo académico) que otros (periodo de vacaciones).

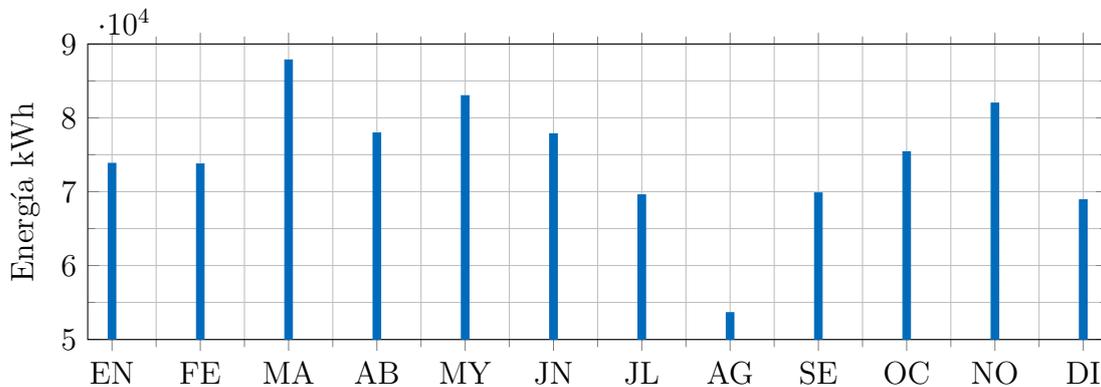
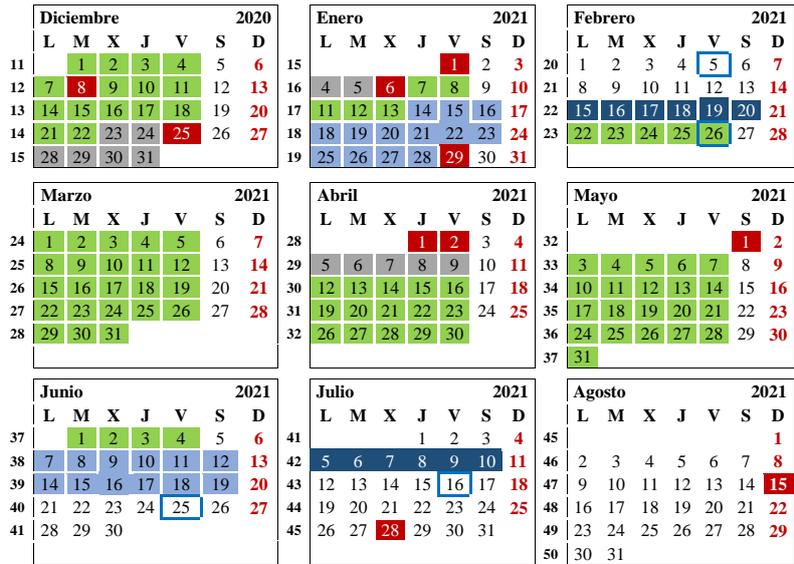


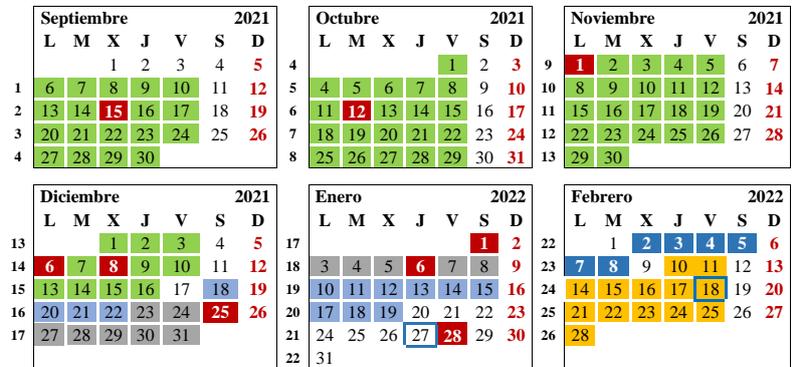
Figura 8.2: Consumo mensual del año 2021 de energía eléctrica de la ETSIIT.

## 8.3. Consumo diario

La demanda de la ETSIIT tiene una fuerte dependencia con el horario de clase. En la **Figura 8.4**, se representan los diagramas de caja del consumo de la energía eléctrica de la ETSIIT cada 15 minutos en diversos periodos del año 2021. Los periodos que hemos diferenciado son: lunes a jueves del periodo de clases; viernes del periodo de clases (por lo general día de tutorías y prácticas); lunes a viernes de la época de exámenes; sábado de época de exámenes; fines de semana del periodo de clases; periodo de no clases; domingos y vacaciones de Navidad, Semana Santa y festivos. Estos periodos se han obtenido de los calendarios académicos del curso 2020/21 y 2021/22, en la **Figura 8.3**, se puede apreciar dicho calendario.

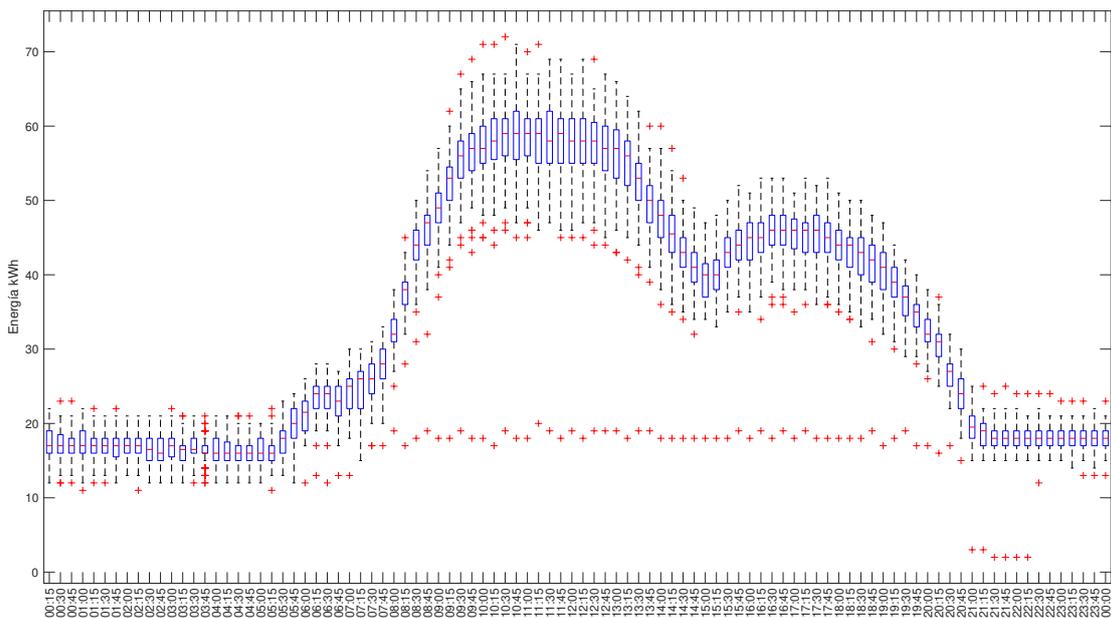


(a) Calendario académico del año 2020/21

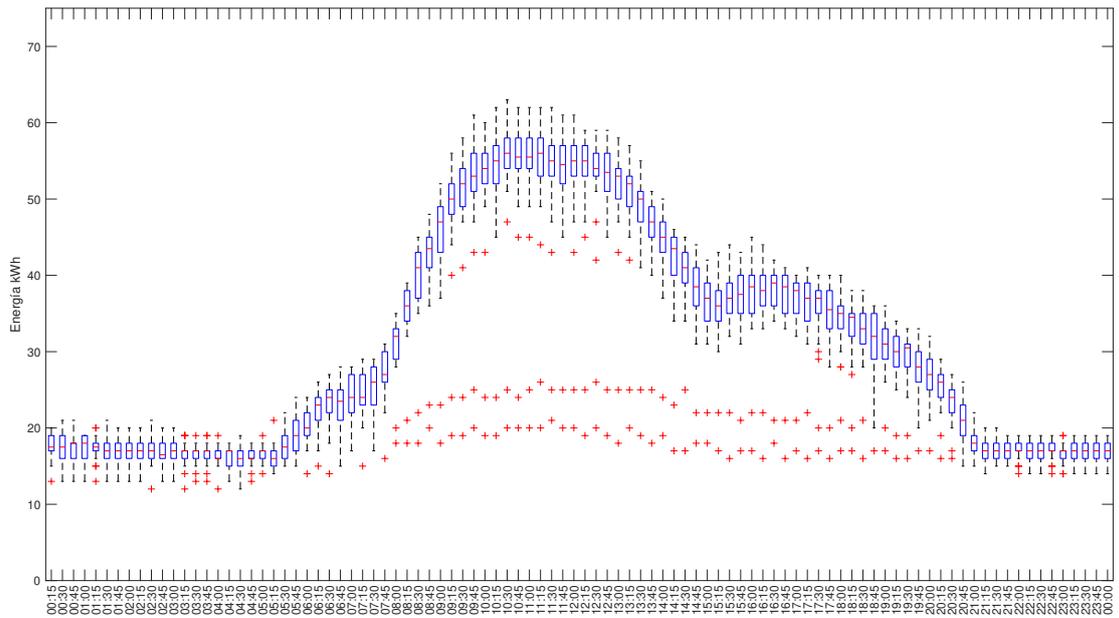


(b) Calendario académico del año 2021/22.

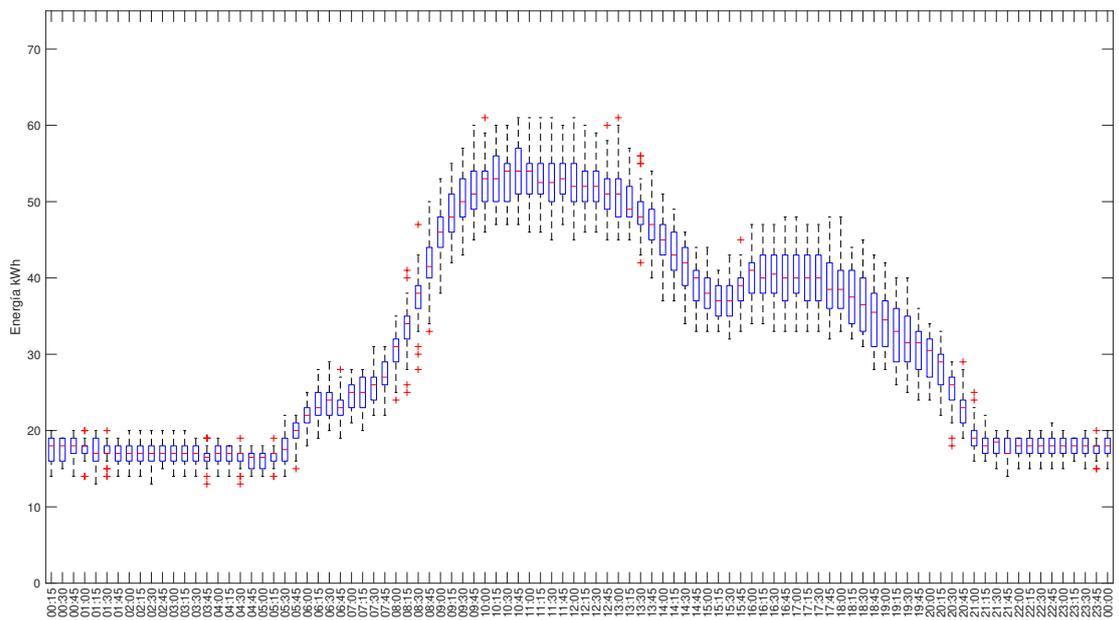
Figura 8.3: Calendario académico del año 2021.



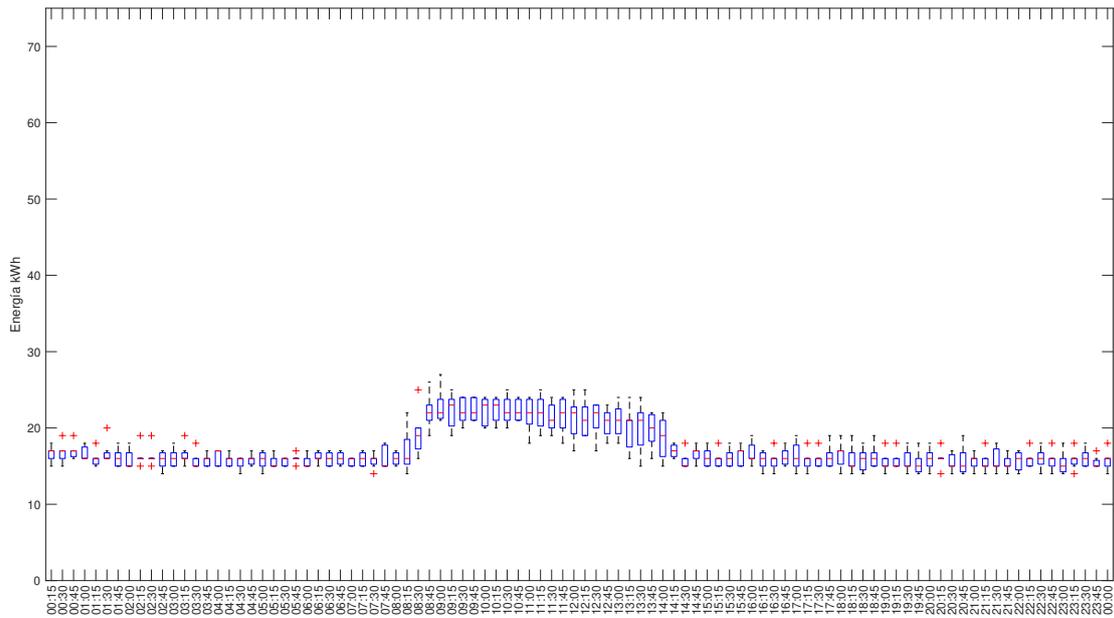
(a) Periodo de clases: Lunes a Jueves del 2021.



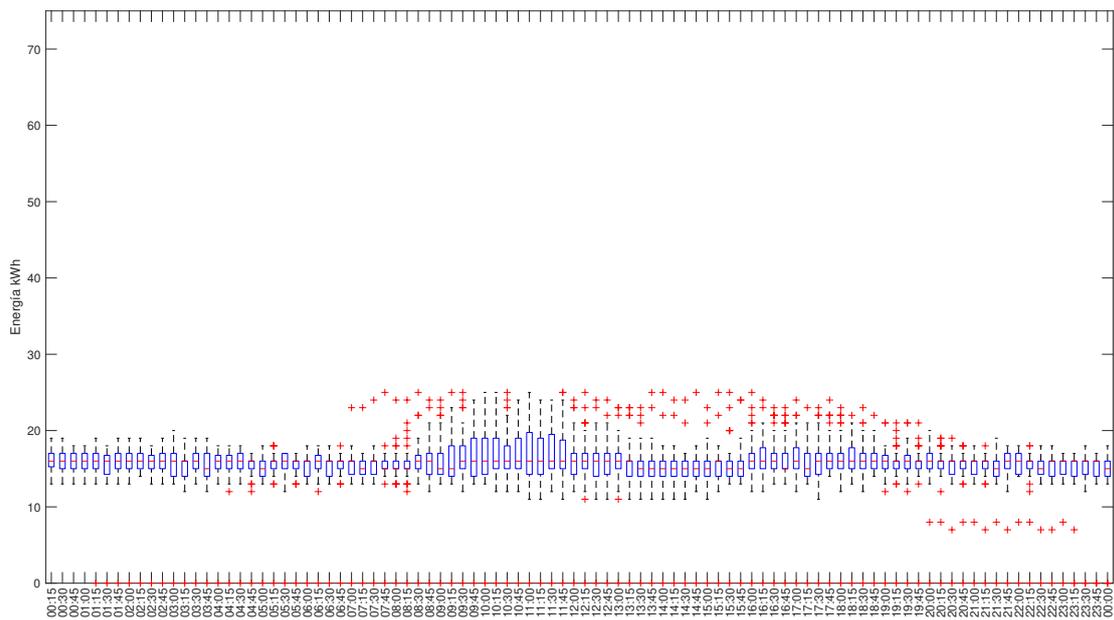
(b) Periodo de clases: Viernes del 2021.



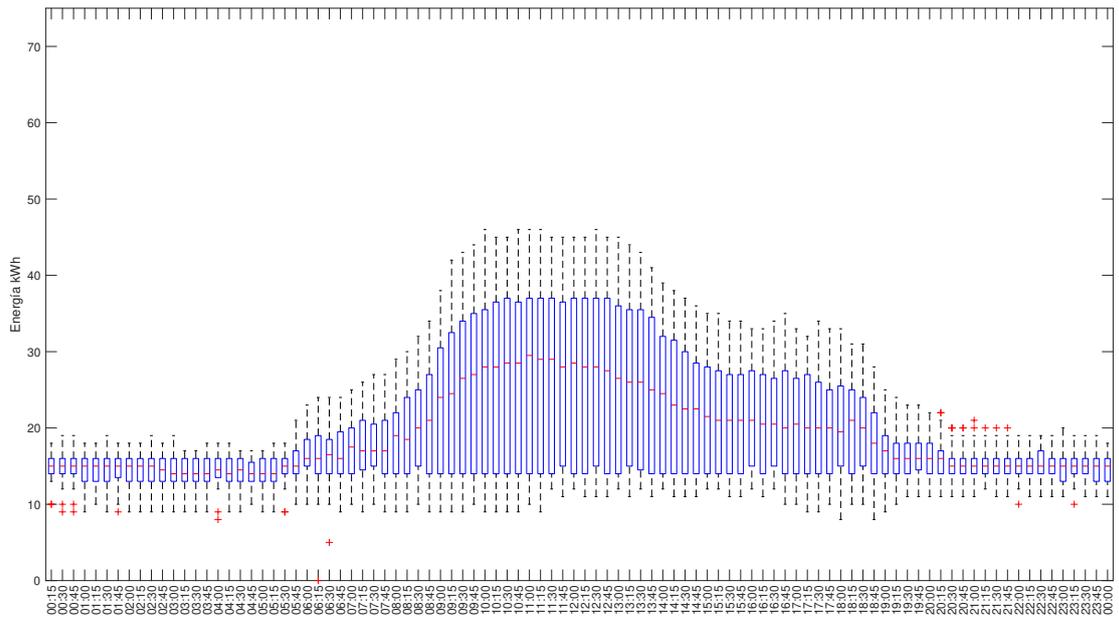
(c) Periodo de exámenes: Lunes a Viernes del 2021.



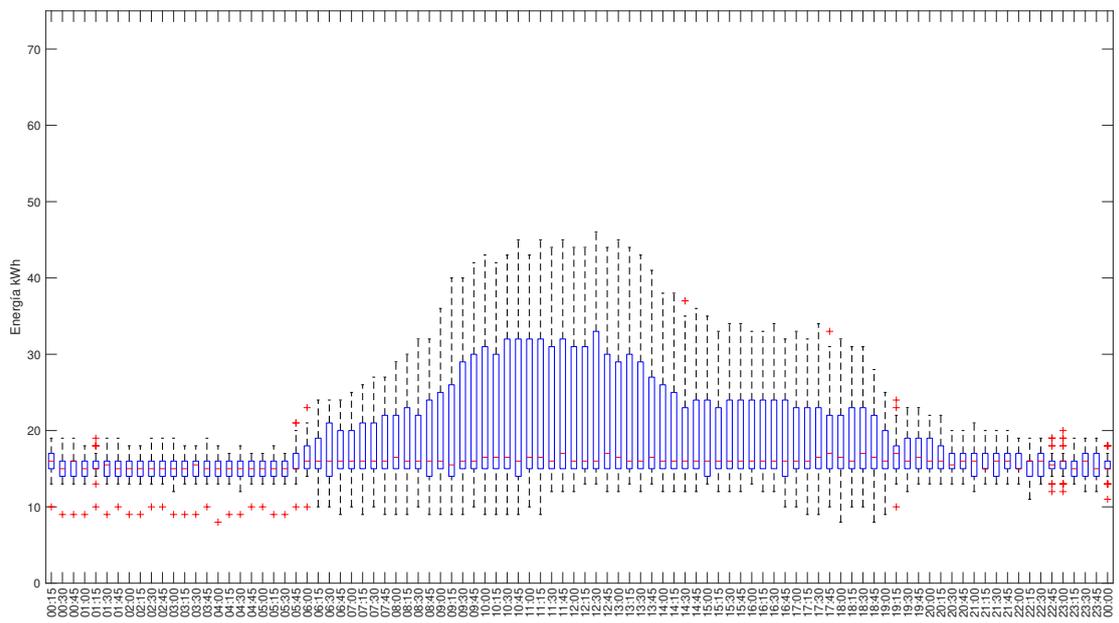
(d) Periodo de exámenes: Sábados del 2021.



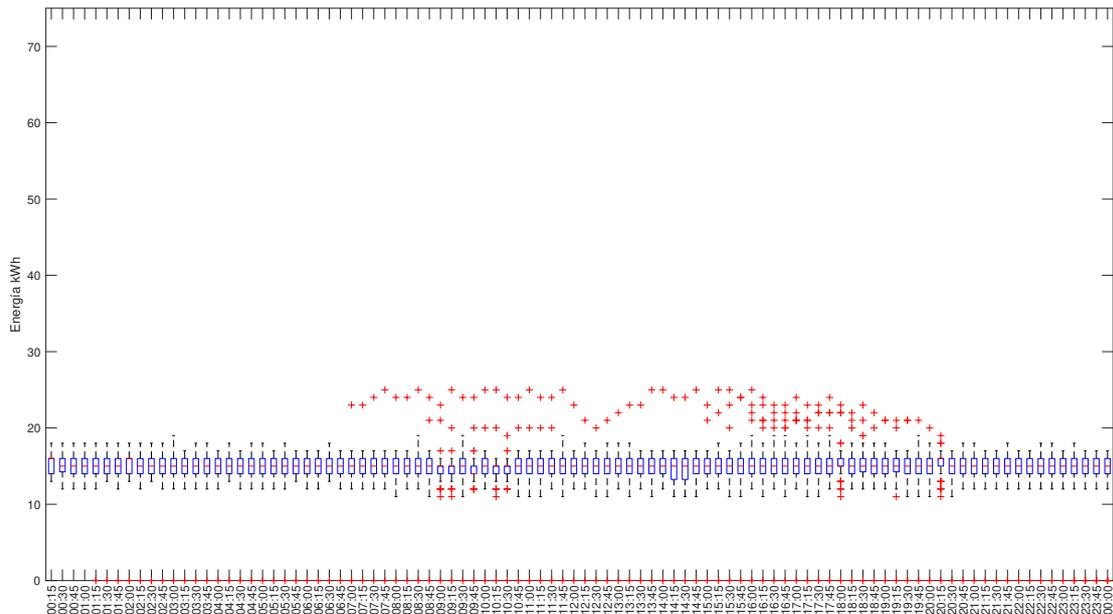
(e) Periodo de clases: Fines de Semana del 2021.



(f) Periodo de no clases del 2021.



(g) Festivos del 2021.



(h) Domingos del 2021.

Figura 8.4: Consumo diario de energía eléctrica de la ETSIIT cada 15 min.

En los lunes y jueves del periodo de clases (véase **Figura 8.4a**), se puede observar como la curva de consumo tiene una fuerte relación con el horario de clases. Cerca de las 8:00, hora cercana al inicio de clases, la curva de consumo empieza a crecer; sobre las 13:30, hora en la que acaban las clases, el consumo decrece; a las 15:00, hora cercana al inicio de clases por la tarde, la curva vuelve a crecer ligeramente y desde las 18:00 desciende hasta las 21:00, hora en la que el edificio cierra.

En los viernes del periodo de clases (véase **Figura 8.4b**), la curva es similar a la descrita anteriormente, salvo por el periodo de las tardes y los valores. En el caso de las tardes, a partir de las 15:00 aproximadamente, el crecimiento de la curva es mucho más sutil que en el periodo anterior y el descenso de la curva empieza una hora antes (a las 17:00). En este caso, los valores medios máximos y mínimos se reducen 5 kWh con respecto al periodo anterior.

En el caso de la época de exámenes de lunes a viernes (véase **Figura 8.4c**), las curvas y los valores son similares. No así en el caso de los sábados de época de exámenes (véase **Figura 8.4d**), cuya curva se parece a la curva del periodo de fines de semana.

Los fines de semana y los domingos (véanse **Figuras 8.4e y 8.4h**) suelen tener una curva plana, salvo por algunos outliers de algunos días concretos.

En el periodo de no clases (véase **Figura 8.4f**), se puede observar una curva en la que se entiende que no hay alumnos (por lo general), pero sí que puede haber personal docente, investigadores, trabajadores, etc.

En los días festivos, Navidad y Semana Santa (véase **Figura 8.4g**), días en los que el centro debería estar cerrado, es extraño como la curva puede tener valores máximos que pasen de los 40 kWh. Se puede entender que en el primer cuatrimestre del curso académico 2021-2022 al haber algunos festivos entre semana como el del 12 de octubre y 8 de diciembre se dejaron equipos encendidos para el día siguiente.

# Capítulo 9

## Análisis de las herramientas IoT

### 9.1. Introducción

Para explicar las herramientas IoT que vamos a analizar debemos distinguir entre los miniordenadores, las placas de desarrollo, los SoCs y los MCUs. Los MCUs son circuitos integrados programables con los que podemos trabajar de manera aislada; el SoC es un circuito integrado que encapsula otros circuitos integrados (CPUs, MCUs, núcleo DSP, módulos de memoria informática...), todavía no existe un estándar específico sobre qué tipo de circuitos debe contener, pero hoy en día todo procesador moderno es un SoC (AMD, Intel, Qualcomm...); las placas de desarrollo son circuitos impresos donde el MCU o SoC viene integrado y los miniordenadores son computadoras de una sola placa centrados en un solo microprocesador de tipo SoC que corren un SO [23], [24].

En la **Figura 9.1**, se ven representados ejemplos de los diferentes conceptos.

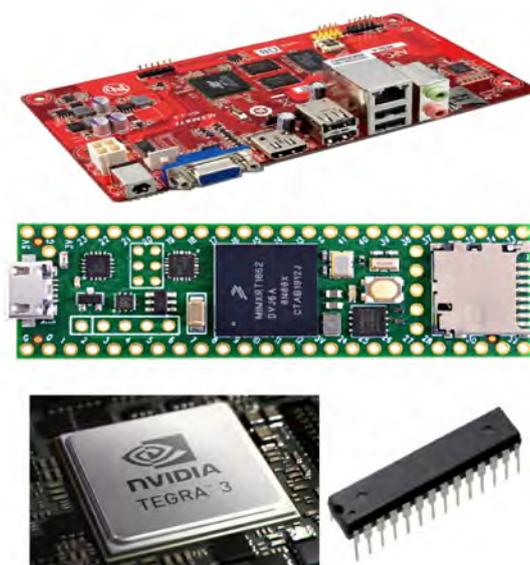


Figura 9.1: Representación de miniordenador, placa de desarrollo, SoC y microprocesador [25]-[28].

Entre los requisitos a considerar en una herramienta IoT se encuentran el bajo consumo y un tamaño reducido, por ello, los SoCs son cruciales en este tipo de dispositivos. Además, para poder ser una solución escalable han de tener un precio asequible.

### 9.1.1. Funcionamiento

Las herramientas IoT que vamos a analizar, Arduino, Raspberry Pi y ESP-32, hacen uso de MCUs o microprocesadores de tipo SoC, para poder leer entradas a través de sensores. Por ejemplo, un LDR para leer luz, un botón para leer la pulsación o un termistor para leer la temperatura, entre otros. Y, además, una vez leídas las entradas las pueden convertir en una salida a través de actuadores, por ejemplo, activar un motor, encender un LED, publicar algo online, almacenar estos datos en un sistema en la nube, entre otros. Para este proceso de leer entradas y convertirlas en una salida, previamente se ha de enviar al MCU o SoC un conjunto de instrucciones en un lenguaje de programación aceptado por éste.

A modo resumen, las partes importantes de una herramienta IoT son: el SoC, los sensores y una plataforma que se encargará de gestionar la información proveniente de los sensores.

El proceso es similar en sendos dispositivos:

1. Se programa el código en un ordenador.
2. Se añaden los periféricos de E/S a la placa de desarrollo.
3. Se conecta el dispositivo al ordenador (en caso de la Raspberry Pi puede ser a su vez el propio ordenador).
4. Se transfiere el código al MCU o SoC.
5. Se ejecuta.

### 9.1.2. Comunicación

En la comunicación no próxima hablaríamos de comunicación a través de una red Wi-Fi que, aunque admite una tasa de transferencia alta, tiene un consumo alto y un bajo alcance. Otras alternativas serían, una red móvil (3G, 4G, 5G o la futura 6G) en la que el alcance sería mayor y el consumo menor, la red Sigfox (gran cobertura en Estados Unidos y Europa) o LoRa.

Con respecto al idioma que hablan los dispositivos IoT, éstos pueden variar en función de su antigüedad y en función del fabricante. Por ello, IBM propuso la creación de un protocolo abierto y estandarizado denominado MQTT que permitiera la comunicación entre todo tipo de dispositivos.

## MQTT

MQTT es el protocolo estándar de OASIS para la mensajería IoT que diseñó originalmente IBM en el año 1999 para redes TCP/IP. Se basa en el transporte de mensajería de publicación/suscripción extremadamente ligero para telemetría

M2M en entornos de bajo ancho de banda. En la **Figura 9.2**, se puede apreciar su arquitectura.

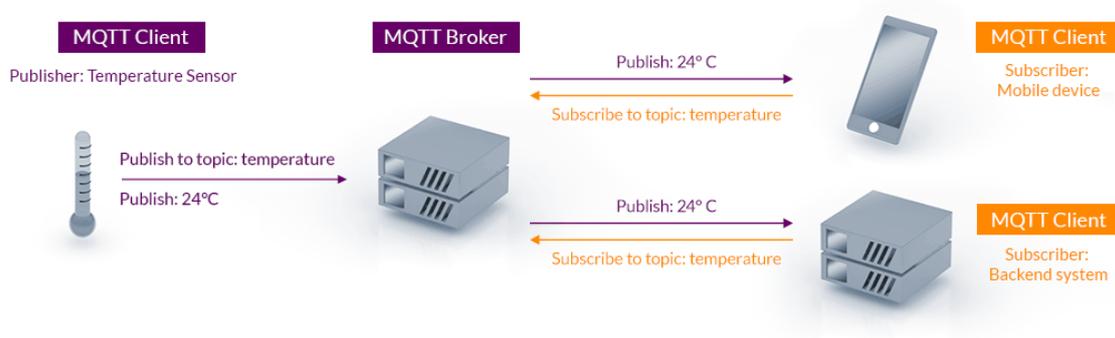


Figura 9.2: Arquitectura de publicación/suscripción de MQTT [29].

Características de MQTT:

- Los clientes MQTT son muy pequeños y requieren recursos mínimos.
- Permite una comunicación bidireccional con la nube.
- Puede escalar para conectarse con millones de dispositivos IoT.
- Tiene 3 niveles de QoS,
  - $QoS_0$ , el mensaje se entrega como máximo una vez (Best Effort);
  - $QoS_1$ , el mensaje se entrega al menos una vez;
  - $QoS_2$ , el mensaje se entrega exactamente una vez (seguro, pero lento);
- Tiene seguridad habilitada mediante el puerto 8883, cifrado de mensajes mediante TLS y protocolos de autenticación.

Conceptos de MQTT:

- **Broker**: servidor que distribuye la información de un topic a los clientes suscritos y servidor donde también se publican con respecto a un topic los mensajes de los clientes.
- **Cliente**: dispositivo conectado al broker para publicar o suscribirse a un topic.
- **Topic**: tema del mensaje. Los clientes se suscriben, publican o hacen ambas cosas con respecto a un topic.
- **Publicar**: enviar mensajes a un topic.
- **Suscribirse**: voluntad de recibir mensajes con respecto a un topic. Cualquier mensaje publicado en un topic es distribuido a sus suscriptores. Si se desea, se puede cancelar la suscripción a un topic.

La estructura de un paquete estándar MQTT está formado por una cabecera fija, una cabecera variable opcional y un payload variable opcional (véase la **Figura 9.3**),

- la cabecera fija ocupa de 2 a 5 bytes, 1 byte fijo de encabezado de control, de 1 a 4 bytes de longitud restante, de los cuales se emplean los 7 primeros bits, el último es de continuidad;
- la cabecera variable opcional, contiene información adicional como puede ser el nombre del tema, ocupa tantos bytes como requieran, su longitud, el nombre del tema y 2 bytes al final que son el ID del paquete;
- el payload variable opcional ocupa tantos bytes como requiera el contenido del

mensaje.

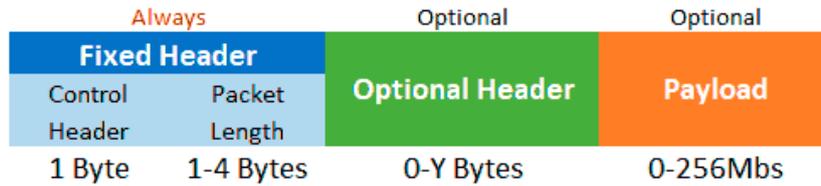


Figura 9.3: Estructura de un paquete estándar MQTT [30].

En la siguiente tabla, se muestran los mensajes que utiliza MQTT:

TABLA 9.1. MENSAJES MQTT

Paquete de control	Cabecera opcional	Payload
CONNECT	Requerido	Requerido
CONNACK	-	-
PUBLISH	Requerido	Optional
PUBACK	Requerido	-
PUBREC	Requerido	-
PUBREL	Requerido	-
PUBCOMP	Requerido	-
SUBSCRIBE	Requerido	Requerido
SUBACK	Requerido	Requerido
UNSUBSCRIBE	Requerido	Requerido
UNSUBACK	Requerido	Requerido
PINGREQ	-	-
PINGRESP	-	-
DISCONNECT	-	-

Fuente: [31]

Aunque HTTP también es otra opción viable para la comunicación IoT, si tenemos como prioridades el tiempo de respuesta, el rendimiento, la energía de la batería y el uso de ancho de banda, MQTT es nuestra opción, es el protocolo más adecuado para el desarrollo IoT.

Hoy en día el protocolo MQTT es utilizado en varias industrias, como la automotriz, la manufactura, las telecomunicaciones, el petróleo y el gas, etc.

## 9.2. Dispositivos IoT

### 9.2.1. Raspberry Pi

La Raspberry Pi es una serie de miniordenadores de placa reducida de bajo costo centrados en un solo microprocesador de tipo SoC. Se desarrolló en el Reino Unido por la Raspberry Pi Foundation con el objetivo de hacer llegar a todo el mundo la informática y la creación digital. Cabe destacar que desde 2016 Raspberry





Figura 9.5: Raspberry Pi 3 model B+.

## GPIO

Los pines GPIO son un elemento poderoso. Cualquier pin GPIO se puede asignar (en el software) como un pin de entrada o salida. Esto nos da la posibilidad de ser creativos con el uso que le queramos dar. Los voltajes con los que pueden trabajar estos pines son, 0 (tierra, pines no configurables), 3.3 (pines de uso general) y 5 V (solo hay dos pines). Entendiendo los voltajes, un pin GPIO asignado como salida tiene como valor alto 3.3 V y como valor bajo 0 V y un pin GPIO asignado como entrada puede leer como valor alto hasta 3.3 V y como valor bajo 0 V. Es necesario tener cuidado con el voltaje, un voltaje superior a 3.3 V podría destruir el bloque GPIO dentro del SoC. En la **Figura 9.6**, se aprecia una representación de los pines GPIO en un miniordenador Raspberry Pi [35].

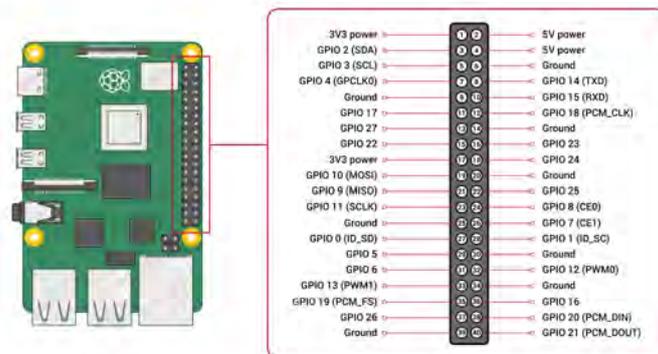


Figura 9.6: Representación de los pines GPIO en un miniordenador Raspberry Pi.

Esta característica también está presente tanto en Arduino como en ESP32 y está prácticamente presente en todo tipo de placas de desarrollo.

## Software

Para la programación de la placa Raspberry Pi Pico los lenguajes que se utilizan son MicroPython o C/C++. Para poder programar el microcontrolador es necesario

instalar previamente en la placa el fichero UF2 que te proporciona la propia página de Raspberry Pi [34].

Los miniordenadores principalmente corren SO GNU/Linux. El SO oficial es una versión adaptada de Debian denominada Raspberry Pi OS (anteriormente llamado Raspbian). También permite usar otros SOs como una versión de Windows 10. Estos miniordenadores promueven principalmente el aprendizaje del lenguaje de programación Python, con el que también puedes controlar los GPIO [36].

Los IDE desde los que se puede trabajar programando en ambos tipos de dispositivos son Thonny (incluido en Raspbian) principalmente, pero existen otros como Geany, BlueJ o Lazarus [37].

## Por qué Raspberry Pi

Al ser miniordenadores en su mayoría, las Raspberry Pi cuenta con un potencial desde el principio con el que no cuentan el resto de las placas, entre sus ventajas se encuentran:

1. **Economía:** tienen un precio bajo.
2. **SO:** cuentan con un SO y con todas las ventajas que trae consigo.
3. **Pines GPIO:** además de un miniordenador también puede ser usado para proyectos de robótica gracias a sus pines GPIO.

### 9.2.2. Arduino

Arduino es una plataforma electrónica de código abierto basada en hardware y software de fácil uso. Nació en el Instituto de Diseño de Interacción Ivrea como una herramienta fácil para la creación rápida de prototipos dirigida a estudiantes sin experiencia en electrónica y programación [38].

#### Hardware

El hardware de Arduino se basa en placas de desarrollo de un solo microcontrolador o SoC. Arduino tiene diferentes familias de placas debido a la diversidad de proyectos y a la diversidad de usuarios, éstas son: Familia Nano, Familia MKR, Familia Clásica.

La Familia Nano son un conjunto de placas de tamaño reducido repletas de funciones. Los modelos 33 BLE Sense y RP2040 Connect que aparecen en la **Figura 9.7**, cuentan con un conjunto de sensores integrados, como sensores de temperatura/humedad, presión, gestos, micrófono y más.

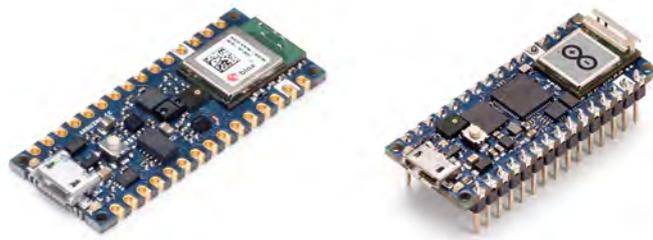


Figura 9.7: Arduino Nano 33 BLE Sense y Arduino Nano RP2040.

La Familia MKR son una serie de placas, protectores y soportes que pueden ser combinados sin usar circuitos adicionales. Las placas están basadas en el MCU de bajo consumo SAMD21 de 32 bits Cortex-M0 y están equipadas con un chip criptográfico para mantener una comunicación segura. Cada placa está equipada con un módulo de radio (excepto MKR Zero), que permite la comunicación Wi-Fi, Bluetooth, LoRa, Sigfox, NB-IoT. Los protectores y soportes amplían las funciones de la placa ofreciendo sensores ambientales, GPS, Ethernet, control de motores y matriz RGB. Esta familia de Arduino está pensada principalmente para aplicaciones IoT. En la **Figura 9.8**, vemos un ejemplo de montaje para Arduino MKR.



Figura 9.8: Montaje de Arduino MKR con protectores y soporte [39], [40].

La Familia Clásica cuenta con las placas Arduino UNO (**Figura 9.9**), Leonardo y Micro, entre otras. Se consideran la columna vertebral del proyecto Arduino por haber sido un éxito durante muchos años [41].



Figura 9.9: Arduino UNO Rev3 SMD.

## Software

El entorno de trabajo es el Software Arduino IDE (basado en Processing) y su lenguaje de programación se basa en Wiring, se trata de una versión «simplificada» del lenguaje C/C++. Los modelos Nano también pueden programarse en MicroPython y admiten Machine Learning.

## Por qué Arduino

Arduino ha sabido adaptarse al tener un amplio abanico de usuario (niños, profesores, estudiantes, artistas, programadores, profesionales, aficionados interesados...) y, por lo tanto, cuentan con una serie de ventajas entre las que se encuentran:

1. **Economía:** más económicas en comparación con otras plataformas de microcontroladores.
2. **Multiplataforma:** disponible en Windows, Mac y Linux. La mayoría de las plataformas de microcontroladores están limitadas a Windows.
3. **Entorno de programación simple y claro:** tanto para principiantes como para usuarios avanzados.
4. **Software extensible y de código abierto:** disponible para que los programadores experimentados puedan seguir desarrollando el software. El lenguaje puede enriquecerse a través de bibliotecas C++, y las personas que quieran conocer los detalles técnicos pueden dar el salto al lenguaje de programación AVR C en el que se basa Arduino.
5. **Hardware extensible y de código abierto:** los planos de las placas se publican bajo una licencia Creative Commons disponible para diseñadores de circuitos que quieran hacer su propia versión de la placa, ampliándola y mejorándola.

### 9.2.3. ESP32

ESP32 es una serie de SoCs de bajo costo y de bajo consumo energético creado por la empresa Espressif Systems. Esta nueva familia es la sucesora del conocido ESP8266, un SoC integrado con conexión Wi-Fi y compatible con el protocolo TCP/IP para dar conectividad a cualquier SoC.

## Hardware

La familia ESP32 se basa en el microprocesador Tensilica Xtensa LX6 de 32 bits (de uno o dos núcleos) que trabaja a una frecuencia de operación que va desde los 160 hasta los 240 MHz y soporta conectividad inalámbrica, Wi-Fi 802.11 b/g/n y Bluetooth v4.2 BR/EDR y BLE [23].

ESP32 se puede encontrar en cuatro diferentes formatos:

1. SoC, por ejemplo:
  - ESP32-D0WDQ6
  - ESP32-D0WD

- ESP32-D2WD
  - ESP32-S0WD
2. System in Package (SiP), por ejemplo:
    - ESP32-PICO-D4
  3. Módulos PCB, por ejemplo:
    - ESP-WROOM-03
    - ESP32-WROOM-32
    - ESP32-WROOM-32E
    - ESP32-WROOM-32D
  4. Placas de desarrollo, por ejemplo:
    - ESP\_Module\_Testboard
    - ESP32\_Demo Board\_V2
    - ESP32-DevKitC
    - ESP-WROVER-KIT
    - ESP32-PICO-KIT

Los módulos PCB y las placas de desarrollo también son fabricadas por otras empresas, además de Espressif System. Una placa de desarrollo incluye un módulo PCB o SiP que a su vez incluye un SoC ESP32. En la **Figura 9.10**, se aprecia la placa de desarrollo ESP32-DevKitC-32E, junto a su módulo, y éste junto a su SoC.

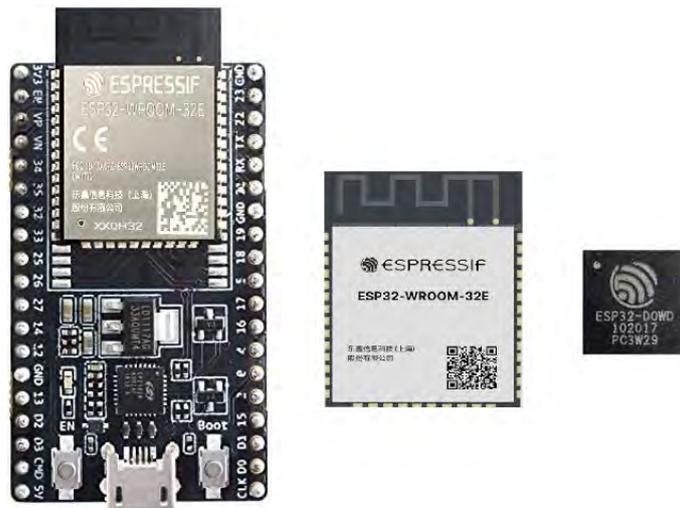


Figura 9.10: ESP32-DevKitC-32E, ESP32-WROOM-32E y ESP32-D0WD-V3 [42]-[44].

Entre las características hardware que posee el ESP32, cabe destacar, entre otros, sus pines GPIO, su modo Deep Sleep y su aceleración criptográfica.

## Software

Entre los lenguajes de programación y los IDEs que pueden ser utilizados para la programación de los ESP32, se encuentran:

- Visual Studio Code con la extensión oficial de Espressif Integrated Development Framework (ESP-IDF);
- Arduino IDE con el ESP32 Arduino Core;

- MicroPython, implementación sencilla de Python 3 orientada a MCUs;
- Espruino, SDK de JavaScript y firmware que emula de cerca a Node.js;
- Lenguaje de programación, Lua;
- Mongoose OS, framework de desarrollo compatible con microcontroladores, se programa en JavaScript o C (plataforma recomendada por Espressif Systems, AWS IoT y Google Cloud IoT);
- Lenguaje de programación, mruby;
- Zerynth, implementación software de Python para IoT y microcontroladores.

## Por qué ESP32

A diferencia de Arduino o Raspberry Pi, la familia ESP32 no está tan orientada a la enseñanza o aprendizaje de programación en placas de desarrollo, sino que está orientada directamente a su aplicabilidad en entornos IoT, lo que la hace ser una elección determinante si se trata de buscar una solución directa y elaborada. Entre las ventajas, podemos mencionar:

1. **Economía:** tienen un precio más asequible que las anteriores.
2. **Energía:** son de bajo consumo. Con el modo sueño profundo sólo circulan 10  $\mu\text{A}$  y mientras, puede seguir realizando ciertas operaciones.
3. **Conectividad:** Wi-Fi y Bluetooth sin comprometer el consumo energético.
4. **Frecuencia de operación:** alta para ser una placa de desarrollo, hasta los 240 MHz.

### 9.2.4. Conclusión

Analizadas las herramientas IoT, trabajaremos con la familia ESP32 para la realización de este proyecto debido a su enfoque directo con el mundo IoT, su increíble bajo consumo en su modo sueño profundo, su enfoque en ámbitos más profesionales y su bajo coste. En la **Tabla 9.2**, se aprecia la comparativa entre las distintas herramientas IoT mencionadas (para la comparativa se han escogido las herramientas que se consideran más acordes para este proyecto).

TABLA 9.2. COMPARATIVA DE LAS HERRAMIENTAS IOT.

	Raspberry Pi 4 Model B		Arduino Nano RP2040 Connect		ESP32 Node MCU Dev Kit C	
MCU o SoC	BCM2711		RP 2040		Tensilica LX6	Xtensa
Frecuencia de Reloj	1.5 GHz		133 MHz		240 MHz	
Conectividad	Wi-Fi	802.11 b/g/n/ac	Wi-Fi	802.11 b/g/n	Wi-Fi	802.11 b/g/n
	Bluetooth	5.0 con BLE	Bluetooth	4.2 con BLE	Bluetooth	4.2 con BLE
Pines GPIO	40		20		32	

<b>Energía</b>	<b>Voltaje de funcionamiento</b>	3.3 V	<b>Voltaje de funcionamiento</b>	3.3 V	<b>Voltaje de funcionamiento</b>	3.3 V
	<b>Fuente</b>	5V/3A vía USB-C	<b>Corriente CC por pin E/S</b>	12 mA	<b>Corriente de funcionamiento</b>	mín. 500 mA
	<b>Fuente</b>	5V/3A vía cabezal GPIO	<b>Voltaje de alimentación</b>	4-20 V	<b>Voltaje de alimentación</b>	5 V
<b>Memoria</b>	<b>Tarjeta micro SD externa</b>	hasta 64 GB	<b>Flash</b>	16 MB	<b>Flash</b>	4 MiB
	<b>SDRAM LPDDR4</b>	1,2, 4 y 8 GB	<b>SRAM</b>	264 KB	<b>SRAM</b>	512 KB
<b>Comunicación</b>	UART, I2C, SPI		UART, I2C, SPI		UART, I2C, SPI, I2S, CAN	
<b>Dimensiones</b>	<b>Peso</b>	45 g	<b>Peso</b>	6 g	<b>Peso</b>	10 g
	<b>Ancho</b>	56 mm	<b>Ancho</b>	18 mm	<b>Ancho</b>	28 mm
	<b>Largo</b>	85 mm	<b>Largo</b>	45 mm	<b>Largo</b>	56 mm
<b>Precio</b>	43,95 €- 92,26 €		26,40 €		11,99 €	

Cabe mencionar que tanto el módulo ESP32-WROOM-32 como el SoC ESP32-D0WDQ6 de la placa ESP32 vista en la anterior comparativa son, según la propia empresa Espressif, productos hardware NRND (No Recomendados para Nuevos Diseños). NRND es un estado de marketing que se asigna a un producto cuando existen productos más nuevos que presentan una funcionalidad mejorada, abordan problemas de obsolescencia o reducen el costo de producción, y también puede asignarse este estado cuando el producto en cuestión tiene una disminución en la demanda. Espressif aclara que el estado NRND no afecta el compromiso de longevidad para su producto. Para el caso de la serie ESP32 el compromiso de longevidad es de 12 años a partir del 1 de enero de 2016.

### 9.3. Plataformas en la nube IoT

La conectividad IoT es la columna vertebral de cualquier aplicación IoT y las plataformas IoT son el software donde los dispositivos IoT pueden conectarse para comunicarse y enviar información para ser analizada. Es decir, gracias a las plataformas IoT se genera una red para la comunicación y la obtención de información. Toda aplicación IoT se resume en la conexión de los dispositivos con la plataforma en la nube, estos dispositivos, conocidos como nodos IoT, son los encargados de recopilar los datos pertinentes y las plataformas en la nube las encargadas de almacenarlos para analizarlos y convertirlos en información útil, se trata de tecnologías de aprendizaje y análisis de datos como el Machine Learning. Además, las plataformas en la nube proporcionan un lugar al cual poder acceder para ver los datos desde cualquier punto con conexión a Internet.

A continuación, se mostrarán las razones por las que se ha optado por la plataforma en la nube y seguidamente se presentarán las plataformas Arduino IoT Cloud, ThingsBoard y ThingSpeak.

## **Time-to-market más rápido**

En caso de optar por una plataforma IoT on-premise sería necesario tener en cuenta el tiempo que llevan las actualizaciones de la infraestructura de red, el análisis de capacidades del sistema, así como también considerar los costes de mantenimiento. En cambio, las plataformas en la nube IoT ofrecen un despliegue sencillo y rápido, además de tener un coste y mantenimiento inferior.

## **Integración y movilidad de datos**

La cantidad, velocidad y volumen de los datos puede llegar a comprometer las instalaciones on-premise y más si los datos comienzan a crecer. La plataforma en la nube nos ayuda con las tareas de almacenamiento, procesado y filtrado.

## **Seguridad y fiabilidad**

Si bien es cierto que todavía hay quien duda de la seguridad de la nube, hoy en día prácticamente todos los proveedores de soluciones en la nube cuentan con profesionales de ciberseguridad para garantizar la seguridad y el rendimiento de sus servidores, redes y dispositivos IoT.

## **Gestión del ciclo de vida de dispositivos**

El registro, la actualización y el diagnóstico remoto de dispositivos se logra con un tiempo mínimo, y con unos costes operacionales y de soporte reducidos. Esto permite la conexión de más dispositivos sin una preocupación excesiva con respecto a seguridad, control y gestión. Así, la nube permite una visión panorámica completa de la infraestructura de dispositivos.

## **Analítica y Computación en el Edge**

La combinación de la analítica y la Computación en el Edge (o en el borde) en una solución cloud proporciona beneficios en prácticamente cualquier entorno. No se trata de cuántos datos se pueden llegar a almacenar, sino de cómo adquirirlos, analizarlos y procesarlos para poder sacar su máximo valor eficientemente. Con respecto a este tema, surge la tecnología de Computación en el Edge donde no se tienen que centralizar todos los datos, los datos pueden ser procesados en el mismo lugar en donde se crean, o en su defecto, en un lugar cercano. Según la plataforma Barbara IoT, dependiendo de la cercanía al Edge tenemos la siguiente clasificación: micro-edge (p. ej.: propio dispositivo IoT), far-edge (p. ej.: concentradores de datos, gateways IoT...), fog-computing (p. ej.: torres de comunicaciones). Con la Computación en el Edge se logra una reducción de la sobrecarga en la infraestructura, la eliminación de latencias innecesarias, la mitigación de riesgos de seguridad y la soberanía de los datos. Esto permite la evaluación constante de los datos a tiempo real en los propios equipos, algo a considerar en la mayoría de los procesos industriales.

### 9.3.1. Arduino IoT Cloud

La plataforma de Arduino permite a cualquiera crear, implementar y monitorear proyectos IoT con una interfaz fácil de usar y una solución todo-en-uno para la configuración, la escritura de código, la carga y la visualización. Las principales características de esta plataforma son:

- **Monitoreo de datos:** facilidad para monitorear los valores del dispositivo a través de un panel.
- **Sincronización de variables:** permite sincronizar variables entre dispositivos, lo que permite la comunicación entre dispositivos con una codificación mínima.
- **Programación de eventos:** permite programar trabajos para que se enciendan o apaguen durante un período de tiempo específico.
- **Cargas Over The Air (OTA):** permite cargar el código en dispositivos que no estén conectados al ordenador.
- **Webhooks:** permite integrar el proyecto con otro servicio, como If This Then That (IFTTT).
- **Soporte de Alexa:** permite controlar por voz el proyecto con la integración de Amazon Alexa.
- **Uso compartido del panel:** permite compartir los datos con otras personas.
- **Comunicación:** soporta conexión vía Wi-Fi, LoRaWAN y redes móviles.
- **Seguridad:** el modelo de seguridad de Arduino IoT Cloud se basa en tres elementos: una librería de código abierto llamada ArduinoBearSSL, un elemento hardware de seguridad y un certificado de dispositivo que aprovisiona la autenticación del cliente TLS.

El hardware compatible con esta plataforma se aprecia en la **Tabla 9.3**. Como podemos observar, las placas de desarrollo ESP32 también se incluyen.

TABLA 9.3. HARDWARE COMPATIBLE CON ARDUINO IOT CLOUD.

Wi-Fi	LoRaWAN	GSM/NB-IoT
MKR 1000 WiFi	MKR WAN 1300	MKR GSM 1400
MKR WiFi 1010	MKR WAN 1310	MKR NB 1500
Nano RP2040 Connect		
Nano 33 IoT		
Potenta H7		
Potenta H7 Lite Connected		
Nicla Vision		
ESP32/ESP8266		

### 9.3.2. ThingsBoard

Se trata de una plataforma IoT de código abierto para la recopilación de datos, el procesamiento, la visualización y la gestión de dispositivos. Las principales características de esta plataforma son:

- **Aprovisionar y administrar dispositivos y activos:** permite la provisión, el monitoreo y el control de las entidades IoT de manera segura utilizando APIs enriquecidas del lado del servidor. Define las relaciones entre los dispositivos, activos, clientes o cualquier otra entidad.
- **Recopilación y visualización de datos:** recopila y almacena datos de manera escalable y tolerante a fallos para que nunca se pierdan los datos. Permite la visualización de los datos a tiempo real a través de widgets integrados o personalizados y paneles flexibles, y compartir los paneles con los clientes.
- **Procesamiento y reacción:** permite definir cadenas de reglas complejas para procesar los datos de los dispositivos. Permite generar alertas sobre eventos entrantes, actualizaciones de atributos, inactividad de dispositivos y acciones del usuario.
- **Microservicios:** permite construir un clúster Thingsboard para obtener la máxima escalabilidad y tolerancia a fallas con la arquitectura de microservicios. Thingsboard también admite implementaciones on-premise.
- **Seguridad:** admite el cifrado de transporte para los protocolos MQTT y HTTP y también la autenticación de dispositivos y la gestión de credenciales de dispositivos.

El hardware compatible con esta plataforma depende de si cumple con una de las opciones de conectividad que ofrece. En la **Figura 9.11**, se aprecia el diagrama de ThingsBoard, una descripción visual de las opciones de conectividad existentes.

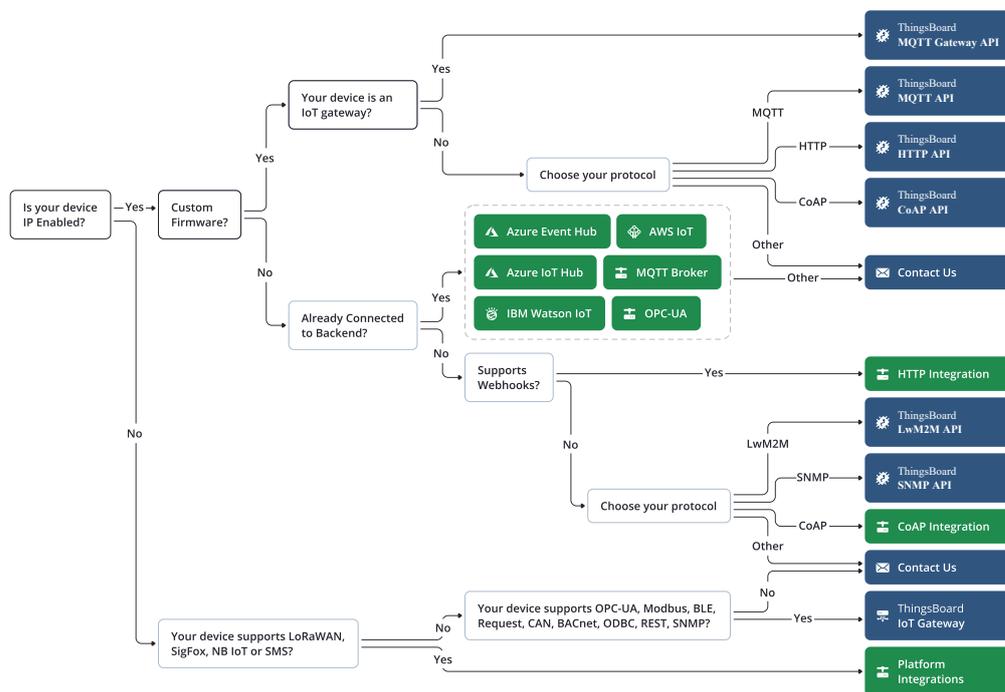


Figura 9.11: Diagrama de conectividad de ThingsBoard.

### 9.3.3. ThingSpeak

Es una plataforma de análisis de IoT que permite agregar, visualizar y analizar flujos de datos en tiempo real en la nube. Permite enviar datos a ThingSpeak desde tus dispositivos, crear una visualización instantánea de datos en tiempo real y enviar alertas. Las principales características de esta plataforma son:

- **Canales:** permite recolectar datos en canales privados o públicos.
- **Varias maneras de escribir datos en los canales:** a través de llamadas HTTP desde la API REST, el protocolo MQTT y la función thingSpeakWrite de MATLAB.
- **Aplicaciones de análisis y visualización de MATLAB:** permite explorar y ver los datos de su canal en estas aplicaciones. La aplicación de análisis de MATLAB permite preparar, transformar, filtrar y analizar datos, como calcular la humedad promedio o eliminar datos atípicos de un canal.
- **Programación de eventos:** cuenta con una aplicación de control de tiempo que funciona con otras aplicaciones ThingSpeak como MATLAB Analysis, ThingHTTP, ThingTweet o TalkBack, para llevar a cabo una acción en un momento determinado o en un horario regular.
- **Alertas:** permite la monitorización y acción sobre canales inactivos usando las aplicaciones ThingSpeak como React, MATLAB Analysis, ThingHTTP, ThingTweet o TalkBack.

Entre el hardware compatible con esta plataforma podemos encontrar los equipos desarrollados por compañías como Arduino, Particle, Espressif y Raspberry Pi.

Se ha optado por la plataforma ThingSpeak por las principales características mencionadas. Su vinculación con MATLAB la hace un herramienta potente y el registro o inicio, por ser alumno de la Universidad de Cantabria, es el mismo que el que se hace con MATLAB. Además, durante el presente curso académico se llevó a cabo el taller Pop-Machina “Creación de un medidor de CO<sub>2</sub> para interiores” en donde también optaron por esta plataforma IoT para llevar a cabo el proyecto.

## Parte III

# Pruebas y resultados

# Capítulo 10

## Implementación del hardware y software IoT

En los diagramas de caja vistos en el consumo diario de la ETSIIT, la curva diaria de demanda, aunque dependa del horario de clases, hay horas en las que esa dependencia no se cumple, como son las horas que se comprenden entre el final de las clases por la mañana y el inicio de las clases por la tarde, obteniendo unos valores de consumo superiores a los esperados. Es cierto que en ese periodo todavía puede haber estudiantes, docentes, trabajadores, que estén consumiendo energía en el edificio. Por ejemplo, algunos estudiantes se quedan a comer y, por lo tanto, pueden llegar a usar el microondas, otros pueden ir a la biblioteca, cargar el ordenador, etc. Pero habría que ver si esos consumos justifican los valores que aparecen en la curva de demanda en esos horarios. En los diagramas también vimos que en el horario en el que el centro se encuentra cerrado existe un consumo cuya media está entre los 15 y los 18 kWh, este consumo refleja el consumo mínimo o basal y en él se ven reflejados los consumos de la centralita de emergencia, las luces de emergencia, el control de los ascensores, el control de las calderas, etc. Sin embargo, este consumo debería tener un valor fijo, o al menos, con las menores desviaciones posibles y, en algunos casos, se pudo apreciar como se registraron valores máximos superiores a los 20 kWh y valores mínimos cercanos a los 11 kWh. En esta parte se buscará medir el aforo de los espacios para posteriormente entender el consumo en función del aforo y ver si existen descuidos como los vistos en el capítulo de **Estilo de Vida**.

Para esta parte trabajaremos con la placa de desarrollo ESP32 NodeMCU DevKitC-32 de la empresa AZDelivery que está montada con el módulo ESP32-WROOM-32 y cuyo SoC es el ESP32-D0WDQ6, la placa ESP32 D1 Mini (una versión de la placa anterior) y la placa ESP32-WROVER CAM de la empresa Freenove que está montada con el módulo ESP32-WROVER-E y cuyo SoC es el ESP32-D0WDR2-V3. Utilizaremos Arduino IDE con el ESP32 Arduino Core para la programación del código, por lo que tendremos que añadir en el Arduino IDE, en Archivo→Preferencias, la URL del ESP32 para poder trabajar con sus placas, la URL es [https://dl.espressif.com/dl/package\\_esp32\\_index.json](https://dl.espressif.com/dl/package_esp32_index.json), también será necesario añadir las librerías correspondientes al ESP32 según el caso.

## 10.1. ThingSpeak

En esta parte nos crearíamos una cuenta en ThingSpeak, pero como tenemos la cuenta de MATLAB de la universidad no haría falta crearnos una cuenta nueva. Ingresamos en ThingSpeak y creamos un nuevo canal para subir nuestros datos, ponemos el nombre, la descripción, los campos y los demás campos podemos dejarlos como están (véase la **Figura 10.1**). Una vez tenemos nuestro canal creado, pasamos a añadir nuestros dispositivos MQTT, para ello, en la barra de navegación de ThingSpeak, en el apartado Devices, clicamos en MQTT y creamos nuestros nuevos dispositivos MQTT (véase la **Figura 10.2**). Al acabar de crear nuestros dispositivos MQTT, tendremos unas credenciales que utilizaremos más adelante para autenticarnos y comunicarnos con el broker ThingSpeak mediante el protocolo MQTT Secure.



### Email

edison.pacheco@alumnos.unican.es

No account? Create one!

(<https://www.mathworks.com/mwaccount/register>)

By signing in, you agree to our privacy policy.

(<https://www.mathworks.com/company/aboutus/policies>)

(a) Iniciamos sesión.

### My Channels

New Channel (/channels/new)

Search by tag



(b) Creamos un nuevo canal.

### New Channel

Name

Description

Field 1

Field 2

Field 3

Field 4

Field 5

Field 6

Field 7

Field 8

Metadata

(c) Rellenamos los campos.

Name

Description

Field 1

Field 2

Field 3

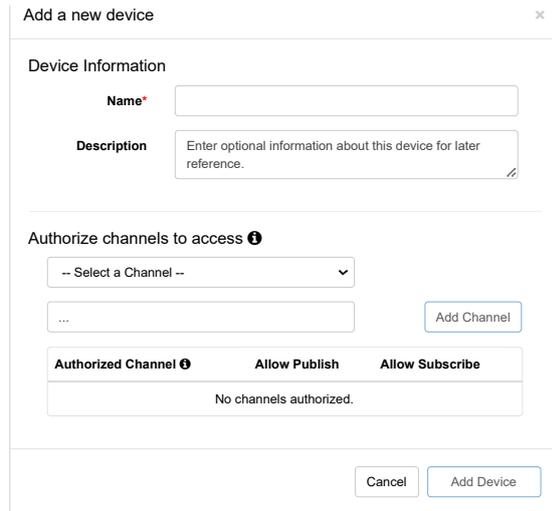
(d) Rellamos los campos.

Figura 10.1: Configuración de un nuevo canal en ThingSpeak.

# MQTT Devices

Add a new device

(a) Creamos nuevo dispositivo MQTT.



(b) Rellenamos los campos.

## MQTT Credentials

Use these MQTT credentials to publish and subscribe to ThingSpeak channels. [Learn More](https://www.mathworks.com/help/thingspeak/mqtt-basics.html) (<https://www.mathworks.com/help/thingspeak/mqtt-basics.html>)



(c) Obtenemos las credenciales.

Figura 10.2: Configuración de dispositivo MQTT en ThingSpeak.

## 10.2. Método de sensores ultrasonidos

### 10.2.1. Planteamiento

El planteamiento que sigue este método se muestra en la **Figura 10.3**. El funcionamiento del sensor HC-SR04 es el siguiente: la patilla Vcc, es por la cual se alimenta el sensor a 5 V; la patilla TRIG de trigger, es por la cual se envía una señal de disparo con una duración de 10  $\mu$ S para comenzar una nueva medida; la patilla ECHO, es por la cual el sensor recibe la señal de disparo de regreso (teniendo en cuenta la velocidad del sonido y el tiempo de ida y vuelta que tarda la señal de disparo, se halla la distancia a la que se encuentra el objeto,  $d = v \times t$ ) y la patilla GND, es tierra. Estos sensores tienen un ángulo de medición inferior a  $30^\circ$  y su ángulo efectivo es inferior a  $15^\circ$ . Por lo que el planteamiento del siguiente cuenta-personas, se basa en la detección de una medida inferior a la habitual, devolviendo

“True” en tal caso y detectando una entrada o una salida en función del orden de los “Trues”.



Figura 10.3: Funcionamiento del cuentapersonas mediante sensores HCSR04.

## 10.2.2. Implementación

Para poder trabajar con los sensores debemos tener en cuenta dos cosas, la primera es que el voltaje de funcionamiento del sensor HC-SR04 es de 5 V y el voltaje de funcionamiento de los pines GPIO de la placa es de 3.3 V. Por ello, se realiza un divisor de tensión a la salida del pin ECHO para recibir en la placa como máximo 3.3 V (véase la **Figura 10.4**). El pin TRIG del sensor recibe 3.3 V de la placa, aunque su voltaje debería ser 5 V, el sensor lo detecta como un valor alto por lo que no se ha llevado a cabo ninguna modificación con respecto a ese pin.

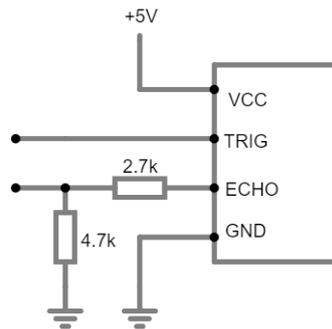


Figura 10.4: Divisor de tensión a la salida del pin ECHO.

En la **Figura 10.5**, se muestran las conexiones entre los sensores y la placa ESP32, así como las resistencias a la salida del pin ECHO del sensor. El pseudocódigo de esta solución se muestra a continuación:

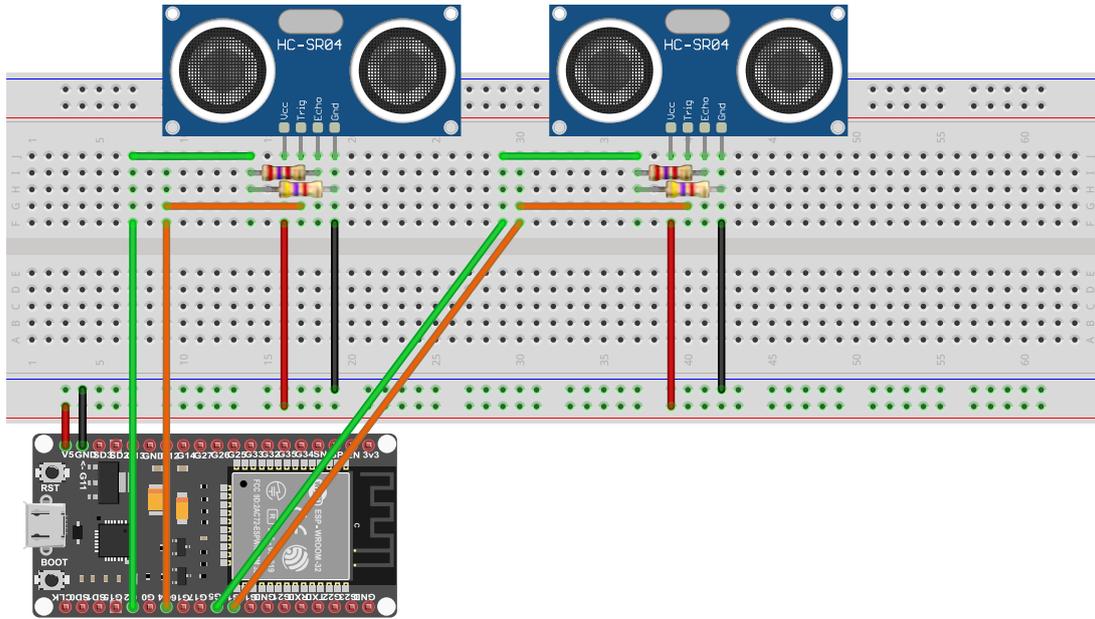
```
function loop contar_personas
//entrada
  if sensor1()==true //pasa primer sensor
    while (1) //espera al segundo sensor
      if sensor2()==true //pasa el segundo sensor, es decir, entra
        while (1)
          if sensores()==false //entró
            personas++
            return
//salida
  if sensor2()==true //pasa segundo sensor
    while (1) //espera al primer sensor
      if sensor1()==true //pasa por el primer sensor, es decir, sale
        while (1)
```

```

        if sensores()==false //salió
            personas--
            return

bool sensorN()
    return distance < 50

```



fritzing

Figura 10.5: Conexión de la placa ESP32 y los sensores HC-SR04.

Para esta propuesta se ha utilizado la placa ESP32 NodeMCU DevKitC-32.

## 10.3. Método BLE

### 10.3.1. Planteamiento

Con la llegada del Bluetooth 4.0 llegó el BLE (Bluetooth Low Energy) e hizo que dispositivos más pequeños y menos potentes lo utilizaran gracias a su bajo consumo. Estos dispositivos se conocen como Beacons o Balizas en español. La integración Bluetooth se volvió cada vez más popular, teléfonos móviles, altavoces, cascos, accesorios para PC, coches, wearables... Lo que hizo que comenzáramos a dejar encendida la conexión Bluetooth de nuestro teléfono móvil prácticamente todo el tiempo y, por ende, resultar ser una fuente fiable a la hora detectar a una persona. Sin embargo, aunque cualquier smartphone desde Android 5.0 en adelante con un chip Bluetooth 4.0 o superior sea capaz de comportarse como una baliza gracias a BLE, por defecto no lo hace por no ser una baliza como tal, y detectarlo resulta complicado. Cabe mencionar que la seguridad de Bluetooth todavía es mejorable y

por ello todavía hay quienes recomiendan deshabilitar el Bluetooth cuando no se esté usando [45].

Según el estudio desarrollado por investigadores de la UPV (Universitat Politècnica de València), la tecnología Bluetooth es la mejor opción para detectar posibles casos de contagio por COVID-19, superando a otras tecnologías como el GPS, redes celulares, o el Wi-Fi. Esto es debido a su capacidad para detectar dispositivos Bluetooth en un rango de 2 o 3 metros [46].

La idea es simple, una señal fuerte indica mayor proximidad, una señal débil, menor proximidad. Para realizar el cálculo de la distancia se tiene en cuenta la potencia del transmisor a un metro (varía según el dispositivo) y la función exponencial que sigue la energía de las ondas de radio en función de la distancia. La ecuación es  $RSSI = -10n \log_{10} d + P_{tx}$ , donde  $P_{tx}$  es la potencia de transmisión a un metro; RSSI (Received Signal Strength Indicator) es la intensidad de la señal recibida;  $n$  es la constante de transmisión de la señal, indica la facilidad con la que la señal pasa por el aire y  $d$  es la distancia del nodo transmisor al nodo receptor. Esta ecuación funciona, pero existen otras que estiman mejor la distancia como las funciones de potencia utilizando una técnica de ajuste de curvas [47]. La ecuación que se utiliza es la siguiente,  $d = \begin{cases} R^{10} & \text{si } R \leq 1 \\ C1 + C2 \cdot R^{C3} & \text{si } R > 1 \end{cases}$ , siendo  $R = \frac{RSSI}{P_{tx}}$  y las Cs las constantes a obtener utilizando técnicas de ajustes de curvas mediante pruebas de medición. Esta última ecuación funciona a distancias cortas de unos pocos metros. Por ejemplo a una distancia de un metro en condiciones ideales se puede estimar una distancia de  $1 \pm 0.5$  metros. Cuanto mayor sea la distancia más error habrá, por ejemplo, si te encuentras a 10 metros, no será posible decir con exactitud cuán lejos estás, pero al menos se podrá saber que estás a más de 8 metros. Cabe mencionar que esta técnica halla la distancia en una dimensión, por lo que no es posible hallar la distancia bidimensional.

Si bien es cierto que la tecnología Bluetooth puede medir la distancia entre dispositivos en función de la intensidad de señal recibida, esta intensidad puede verse afectada por muchos factores. A continuación, se presentan factores que complican la medición:

### Hardware del teléfono

- **Patrones de antenas no esféricas:** el envío y la recepción de señales no funciona igual en todas las direcciones. Cada antena es diferente.
- **Sensor RSSI:** la precisión del sensor depende de todo tipo de factores de ingeniería, como el cuidado de los diseñadores o si decidieron copiar un modelo que funcionaba en otros sensores sin ajustarlo a las diferencias del nuevo hardware.
- **Rotación de canales Bluetooth:** BLE utiliza tres canales diferentes para detectar dispositivos, cada dispositivo rota entre esas frecuencias a un ritmo diferente que va desde una fracción de segundo hasta 10 segundos. Debido a que la antena está sintonizada para la detección de picos en una sola frecuencia, el RSSI medido variará unos pocos dB según el canal en el que se encuentre.
- **Carcasa del teléfono:** en especial si es de metal, pero también una funda puesta por el usuario puede afectar la RSSI. Si bien es cierto que las fundas más

típicas hechas de polímeros suelen tener un efecto menor, cualquier accesorio de metal al lado de la antena puede afectar la RSSI.

### Factores medioambientales

- **Ruido de radio:** el espectro de radio que utiliza la tecnología Bluetooth también es el mismo que utiliza la tecnología Wi-Fi y otras tecnologías de consumo, por lo que este espacio suele estar congestionado. El ruido de radio puede afectar la medición de RSSI, cuanto más distancia haya más efecto tendrá el ruido de radio. Cuando las señales de Bluetooth caen por debajo de los -100 dBm, alcanzan lo que se denomina “nivel de ruido” (el receptor ya no puede distinguir los 1s y 0s que se transmiten del ruido de fondo).
- **Obstáculos:** todo obstáculo (pared, mueble, estante, planta, el cuerpo humano y otros objetos) absorbe o refleja energía de radio hasta cierto punto. Siempre que haya obstáculos entre el transmisor y el receptor, el nivel de la señal descenderá en relación con lo que hubiera sido con una línea de visión despejada. Todo dependerá del material del obstáculo y de la capacidad de las ondas de radio para encontrar una forma de sortearlo.
- **Reflejos:** particularmente los objetos de metal tienden a reflejar las ondas de radio. Esto puede hacer que las señales se amplifiquen si llega energía de radio adicional al receptor debido a los reflejos.

### Factores humanos

- **Cuerpo humano:** como hemos visto, el cuerpo humano es un obstáculo. Cualquier multitud atenuará las señales, cuanto más densa sea la multitud mayor atenuación habrá.
- **Bolsillo y cartera:** si una persona tiene un teléfono en un bolsillo, la señal de radio en el lado opuesto será más débil que en el lado donde se encuentra el teléfono. Un bolso tiene efectos más complejos por los materiales y su contenido, por lo que afectará más en la calidad de la señal RSSI.

### 10.3.2. Implementación

A la hora de implementar esta propuesta de análisis de dispositivos Bluetooth del entorno, nos encontramos con una serie de complicaciones como el no recibir el nivel de potencia de transmisión de alguno de los dispositivos (ni la del transmisor ni la referenciada a un metro). La función “haveTXPower” (de la librería BLE de Neil Kolban) regresaba “False” en tales casos (véase la **Figura 10.6**).

```

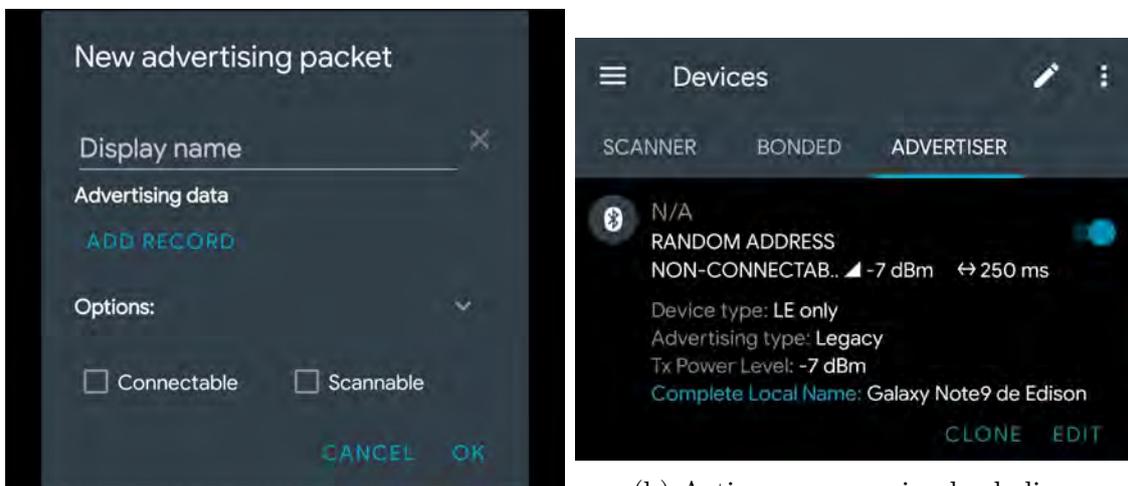
Dispositivo BLE: Name: , Address: 70:2a:d5:59:87:9b, manufacturer data:
75004204018060702ad559879b722ad559879a01570000000000 ¿Hay potencia de
transmisión? False
Dispositivo BLE: Name: , Address: 29:53:84:d9:d5:cd, manufacturer data:
0600010920029792f0d95e5162b4fbdeb566200b069ca6d69ab5e551a0 ¿Hay potencia de
transmisión? False
Dispositivo BLE: Name: LYWSD02, Address: e7:2e:01:70:9c:70, serviceUUID:
0000181a-0000-1000-8000-00805f9b34fb, serviceUUID:
0000fef5-0000-1000-8000-00805f9b34fb ¿Hay potencia de transmisión? False
Dispositivos encontrados: 3

```

Figura 10.6: Resultados del análisis de dispositivos BLE.

Además, los dispositivos escaneados sólo mostraban balizas, éstos son, ordenadores, Smart TVs, relojes... pero no smartphones. En la figura anterior, el primer dispositivo hace referencia a una Smart TV Samsung, el segundo dispositivo a un ordenador portátil DELL y el tercer dispositivo a un reloj de pared inteligente.

Por el momento, con Bluetooth, no es posible detectar smartphones a no ser que éstos se pongan en modo visibles (algo momentáneo) o a no ser que se instale en ellos una aplicación como nRF Connect y configurarlos como baliza para que manden paquetes de aviso (advertisement packet) y así puedan ser escaneados y detectados (véase la **Figura 10.7**). Esto último se debe a que, como vimos, desde Android 5.0 en adelante cualquier smartphone con Bluetooth 4.0 o superior es capaz de comportarse como una baliza, pero por defecto no lo hace. Detectar smartphones con el Bluetooth del ESP32 es algo que todavía no es posible (de la manera en la que lo hace con las balizas), pero se está trabajando en ello.



(a) Creamos un Advertiser.

(b) Activamos para simular baliza.

```

Dispositivo BLE: Name: Galaxy Note9 de Edison, Address: 52:d5:97:26:02:d3,
txPower: -7
¿Hay potencia de transmisión? True
Dispositivos encontrados: 4

```

(c) Actualización de resultados del análisis de dispositivos BLE.

Figura 10.7: Configuración de smartphone como baliza y detección.

Si en un futuro, entre los dispositivos Bluetooth que se popularizan se encuentran los relojes inteligentes, se podría empezar a ver esta herramienta como un controlador de aforo con ciertas limitaciones.

Esto con respecto a contar número de personas en un espacio (una persona, un smartphone), pero si los ordenadores que hay en los departamentos son relativamente nuevos, se podría usar el ESP32 para ver qué dispositivos BLE (ordenadores, TV...) están encendidos o en stand-by, ya que en las pruebas realizadas, el ESP32 detectó la Smart TV Samsung en stand-by y el ordenador DELL en bloqueo (en suspensión y en hibernación no lo detectó). Además, se puede identificar la marca de los dispositivo BLE gracias los datos de manufacturación, sus cuatro primeros dígitos hacen referencia a la marca, por ejemplo, los 7500 hacen referencia a Samsung y los 0600 hacen referencia a Microsoft. Todo estos datos se pueden obtener de la página oficial de Bluetooth <https://www.bluetooth.com/specifications/assigned-numbers/company-identifiers/>.

Para esta propuesta se ha utilizado la placa ESP32 D1 Mini. Los códigos de programación utilizados se encuentran en los ejemplos que trae la librería ESP32.

## 10.4. Método cámara

### 10.4.1. Planteamiento

Para esta propuesta se utilizará la placa ESP32-WROVER CAM que incluye una cámara con la que poder grabar o hacer fotos. En este caso buscaremos hacer fotos cada cierto tiempo, leer en MATLAB la foto capturada y analizarla para ver el número de personas que hay en la imagen.

ThingSpeak tiene una opción de pago para subir imágenes a su plataforma, pero en esta ocasión, para probar el funcionamiento de esta propuesta, se sustituirá el canal dedicado a imágenes de ThingSpeak por nuestro servidor local, lugar donde se subirán las fotos y desde donde MATLAB leerá la foto. Si bien es cierto que la plataforma ThingSpeak incluye MATLAB, ésta no incluye las técnicas de Machine Learning ni Deep Learning para el reconocimiento de patrones, por lo que el análisis de imágenes se deberá llevar a cabo en un ordenador en el que se haya instalado MATLAB con todas sus aplicaciones y funcionalidades.

### Reconocimiento de patrones

MATLAB puede detectar objetos gracias al reconocimiento de patrones. Este proceso consiste en clasificar datos de entrada en objetos, clases o categorías, siguiendo sus características principales o elementos constantes.

MATLAB dispone de técnicas de Machine Learning y Deep Learning para el reconocimiento de patrones. Con respecto al Machine Learning, se preparan los datos, se extraen manualmente las características para establecer las diferentes clases presentes en los datos y se entrena un modelo de Machine Learning para clasificar objetos nuevos. Las técnicas más utilizadas de Machine Learning para la detección

de objetos incluyen características de canales agregados (ACF), clasificación con SVM mediante características de histogramas de gradientes orientados (HOG) y el algoritmo Viola-Jones. Todos estos métodos están disponibles en MATLAB y los veremos en la parte de implementación. Con respecto al Deep Learning, se preparan los datos, se entrena la red neuronal profunda y se prueba el modelo entrenado con datos nuevos. Los modelos más utilizados de Deep Learning incluyen R-CNN y YOLO v2, que también están disponibles en MATLAB.

Lo que diferencia al Machine Learning del Deep Learning es que los modelos de Deep Learning requieren un conjunto de datos de entrenamiento de mayor tamaño y más tiempo de entrenamiento, en cambio, los modelos de Machine Learning pueden ser entrenados con un conjunto de datos más pequeño (a cambio tienen una menor precisión con respecto a un modelo de Deep Learning) y suelen ser más fáciles de interpretar y depurar si no funcionan según lo esperado.

En el reconocimiento de patrones existen dos métodos de clasificación, supervisada y no supervisada. El método de clasificación supervisada aplica algoritmos de aprendizaje supervisado a los datos de entrada, para establecer correspondencias entre los datos de entrenamiento etiquetados manualmente y los resultados deseados. En nuestro caso utilizaremos las técnicas de reconocimiento de patrones supervisado para la detección de objetos, en este caso, personas. El método de clasificación no supervisada intenta encontrar estructuras ocultas en datos no etiquetados con técnicas de segmentación o agrupación en clusters, por ejemplo se puede usar para la detección de objetos en movimiento en un vídeo.

Aunque el uso que le daremos al reconocimiento de patrones sea para la detección de objetos, este proceso tiene aplicación en otros campos como el procesamiento de datos de radar, el reconocimiento de voz, la clasificación de texto y mucho más.

## 10.4.2. Implementación

Para hacer fotos con la ESP32-WROVER CAM es necesario saber qué pines de la placa son los utilizados específicamente por la cámara, en el ejemplo “Camera-WebServer” que traen las librerías de ESP32 se muestran los pines utilizados por varios modelos entre los cuales también se encuentra el nuestro.

Las librerías “esp\_camera.h”, “SPIFFS.h”, “FS.h”, “WiFi.h” y “ESPAsyncWebServer.h” son necesarias para la implementación de este código. En la librería “esp\_camera.h”, al principio, se detalla un ejemplo de código para configurar la cámara y tenerla lista. Por ejemplo, se detalla, el formato del píxel, en nuestro caso JPEG; el tamaño de la foto, en nuestro caso UXGA (1600x1200); la calidad, va del 0 al 63, siendo el 0 la mayor calidad y el 63 la peor, en nuestro caso la hemos puesto en 10; la ubicación del buffer de la foto capturada, en nuestro caso se ubicará en la PSRAM (RAM Pseudoestática) para que pueda ser viable la resolución y el formato del píxel puestos anteriormente, después se inicia la cámara y se configuran, si se desea, los parámetros anteriores u otros parámetros, como el brillo, el contraste, la saturación, etc. Con las librerías “SPIFFS.h” (del inglés Serial Peripheral Interface Flash File System) y “FS.h” podremos escribir la foto capturada en el SPIFFS para posteriormente enviarla a nuestro servidor local. Para ello, simplemente al inicio del programa será necesario montar el SPIFFS. Las librerías que quedan, “WiFi.h” y

“ESPAsyncWebServer.h”, son para conectarse a Internet y crear nuestro servidor local.

A la hora de ejecutar el programa se nos indica la dirección de nuestro servidor local donde se subirán nuestras capturas. En una de las pruebas que hice, la dirección fue 192.168.43.184. Seguidamente, en MATLAB, para leer la imagen capturada se ejecuta el siguiente comando:

```
I=webread('http://192.168.43.184/');
```

A continuación, se mostrarán los siguientes métodos que tiene MATLAB para la detección de personas a través del reconocimiento de patrones. En este caso se analizarán las fotos capturadas por nuestra placa en el hall de la ETSIIT.

### peopleDetectorACF

Este método detecta personas usando características de canales agregados (ACF).

```
detector = peopleDetectorACF('name'); % Nombre del modelo de clasificación ACF  
'inria-100x41' (default) | 'caltech-50x21'  
[bboxes,scores] = detect(detector,I);
```

En este caso estamos utilizando modelos entrenados previamente. Los resultados se aprecian en las siguientes figuras.



Figura 10.8: Resultados de peopleDetectorACF con el modelo “inria-100x41”.



Figura 10.9: Resultados de peopleDetectorACF con el modelo “caltech-50x21”.

## vision.PeopleDetector

Este método detecta personas erguidas mediante características de histogramas de gradientes orientados (HOG).

```
peopleDetector = vision.PeopleDetector('name'); % Nombre del modelo de
clasificación ACF --> 'UprightPeople_128x64' (default) | 'UprightPeople_96x48'
[bboxes,scores] = peopleDetector(I);
```

En este caso también estamos utilizando modelos entrenados previamente. Los resultado se aprecian en las siguientes figuras.





Figura 10.10: Resultados de `vision.PeopleDetector` con el modelo “UprightPeople\_128x64”.



Figura 10.11: Resultados de `vision.PeopleDetector` con el modelo “UprightPeople\_96x48”.

### `vision.CascadeObjectDetector`

Este método detecta personas usando el algoritmo Viola-Jones. Aunque en nuestro caso utilicemos la detección “UpperBody” también existen otros tipos de detección (cara, ojos, boca, nariz...).

```
bodyDetector = vision.CascadeObjectDetector('UpperBody');
[boxes,scores] = detect(detector,I);
```

En este caso, utilizando el modelo “UpperBody”, obtenemos los resultados que se aprecian en la siguiente figura.



Figura 10.12: Resultados del algoritmo Viola-Jones con el modelo “UpperBody”.

## OpenCV

OpenCV significa Open Computer Vision (Visión Artificial Abierta), y se puede instalar su librería en MATLAB para el reconocimiento de objetos. Para utilizar OpenCV, se instalará MexOpenCV y la librería OpenCV. Se trata de una librería gratuita de alto rendimiento y puede ser utilizada también en Python o Java. Los pasos que se han seguido para la instalación de OpenCV se encuentran en el vídeo subido por la UPV a YouTube titulado “Instalación de OpenCV en Matlab || UPV”.

Una vez instalado OpenCV se escribe el siguiente código:

```
import clib.opencv.*;
import vision.opencv.util.*;
trainedModel = 'haarcascade_mcs_upperbody.xml'; %También está
'haarcascade_frontalface_alt.xml'
cascadeClassify = cv.CascadeClassifier();
cascadeClassify.load(trainedModel);
scaleFactor = 1.2;
boxes = cascadeClassify.detect(I);
```

Al igual que en el método anterior también hay otros modelos de detección, pero para nuestro caso utilizaremos el modelo “haarcascade\_mcs\_upperbody.xml”. Los resultado se aprecian en la siguiente figura.



Figura 10.13: Resultados de OpenCV con el modelo “haarcascade\_mcs\_upperbody.xml”.

## Entrenamiento

Como hemos visto, la detección de personas con los modelos ya entrenados, en algunos casos pueden dar resultados falsos, más gente o menos gente de la que hay y en otros casos pueden aproximarse al valor real. Por ello, se propone crear nuestro propio modelo de entrenamiento para obtener resultados más acertados.

En primer lugar, será necesario realizar un número significativo de fotos (en los modelos entrenados de MATLAB se ha visto que se han utilizado 41 imágenes para la creación del modelo para la detección de señales de STOP). Una vez realizadas las fotos, abriremos la aplicación Image Labeler, se encuentra en la sección Image Processing and Computer Vision. Importamos nuestras imágenes al espacio de trabajo y empezamos a poner cuadros sobre las personas que se encuentren en la imagen. Opcionalmente podemos añadir una etiqueta, en nuestro caso hemos puesto la etiqueta “Person” (véase la **Figura 10.14**). Cuando hemos acabado de poner cuadros a nuestras imágenes, guardamos la sesión y exportamos a un archivo “.mat” los cuadros y las etiquetas. Empezamos a escribir el siguiente código en MATLAB:

```
load('personstrain.mat'); %Se crea un objeto gTruth donde se encuentran nuestras
imágenes, cuadros y etiquetas del archivo .mat exportado
[imds,blds]= objectDetectorTrainingData(gTruth); %Se crea un almacén de imágenes
y un almacén de cuadros
```

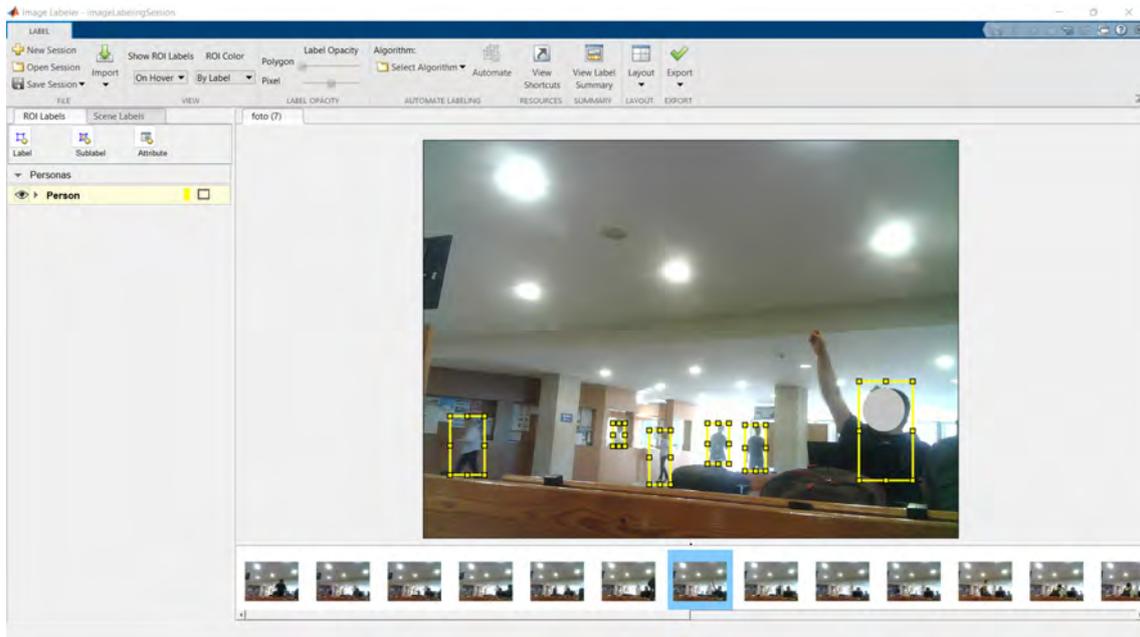


Figura 10.14: Aplicación Image Labeler.

## Entrenamiento ACF

En el caso del entrenamiento ACF, insertamos las siguientes líneas:

```
ds = combine(imds,blds); %Se combinan ambos almacenes
detector = trainACFObjectDetector(ds,NegativeSamplesFactor=2); %Se inicia el
proceso de entrenamiento
[bboxes,scores]= detect(detector,I);
```

En la siguiente figura, se pueden apreciar los resultados de nuestro modelo supervisado. Como podemos ver, un entrenamiento de unas pocas imágenes ya da unos resultados dignos, por lo que cuantos más datos tengamos, mejor podremos entrenar al sistema y, por ende, mejores resultados obtener.



Figura 10.15: Resultados del entrenamiento ACF.

## Entrenamiento Viola-Jones

En el caso del entrenamiento Viola-Jones, además de insertar las siguientes líneas, será necesario añadir una carpeta con fotos en donde no aparezca ninguna persona:

```

positiveInstances = combine(imds,blds); %se combinan ambos almacenes como en el
entrenamiento ACF
negativeFolder = fullfile('C:\Users\Edison\Documents\MATLAB\camAI',
'ningunapersona'); %carpeta de fotos sin personas: 'ningunapersona'
negativeImages = imageDatastore(negativeFolder);
trainCascadeObjectDetector('name.xml', ... %se inicia el proceso de
entrenamiento
%name.xml, hace referencia al nombre del modelo de entrenamiento que vamos a
crear
    positiveInstances,negativeImages, ...
    FalseAlarmRate=0.01, ...
    NumCascadeStages=5, ...
    FeatureType='HOG'); %Tipo de características, 'Haar'| 'LBP' | 'HOG' (default)
detector = vision.CascadeObjectDetector('name.xml');
bbox = step(detector,I);

```

En la siguiente figura, se pueden apreciar los resultados de nuestro modelo supervisado. En este caso, los resultados no son tan buenos, pero con más imágenes, tanto de personas como de ausencia de ellas, los resultados mejorarían significativamente.

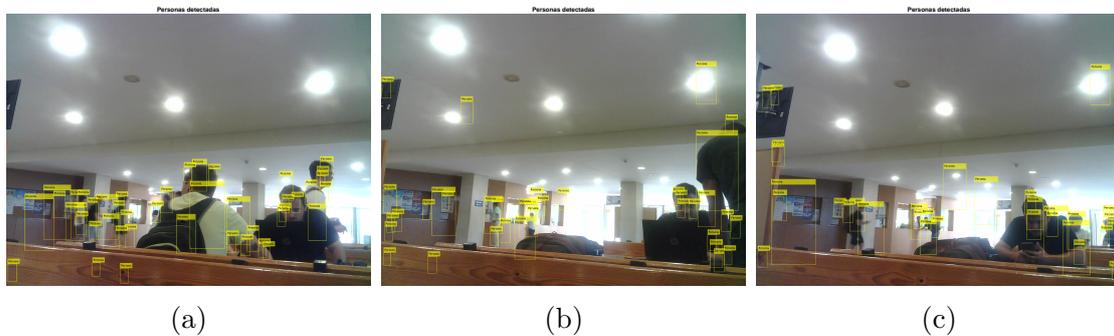


Figura 10.16: Resultados del entrenamiento Viola-Jones.

## 10.5. Comunicación MQTT

Para la comunicación con ThingSpeak se ha optado por la comunicación mediante el protocolo MQTT Secure en el puerto 8883. Para ellos se necesitará la librería “PubSubClient.h”.

Primeramente, la red Wi-Fi de la Universidad no es igual que la red Wi-Fi de casa, se trata de una red Wi-Fi Institucional, por lo que la conexión a Internet de nuestros dispositivos IoT en la ETSIIT toma un camino distinto al habitual. Para poder llevar a cabo esa conexión, será necesario, para la autenticación, añadir la librería “esp-wpa2.h”, donde utilizaremos unos comandos de dicha librería para conectarnos con; nuestro usuario, que como se explica en la propia página del Servicio de Informática de la Universidad deberá ser el usuario corto, ejemplo: “xyz01@alumnos.unican.es” y nuestra contraseña, los certificados los dejamos sin especificar. Posteriormente nos conectamos a la red de Eduroam y ya tendremos acceso a Internet.

Una vez que tenemos acceso a Internet, se pasa a configurar el cliente MQTT. Como vamos a comunicarnos a través del MQTT Secure será necesario sustituir la

librería “WiFi.h” por la de “WiFiClienSecure.h”, ésta tiene una función de autenticación para conectarnos con el broker MQTT del ThingSpeak. En esta función se insertará el certificado digital raíz CA global (DigiCert Global Root CA) de la propia página de ThingSpeak que se puede descargar en formato PEM a través del navegador de Firefox. En la configuración del cliente MQTT, se indicará el puerto del servidor en el 8883 y en el broker MQTT se pondrá la siguiente dirección “mqtt3.thingspeak.com”. Posteriormente, se asignará el tamaño del búfer interno para enviar/recibir mensajes que deberá ser lo suficientemente grande para contener el paquete MQTT entero, por defecto se asigna un tamaño de 256 bytes que para la mayoría de casos es suficiente. Por último, se conecta el cliente MQTT al broker con las credenciales que adquirimos al añadir nuestro dispositivo en la página de ThingSpeak. Una vez conectado, podremos publicar los datos que vayamos obteniendo de los ESP32.

## 10.6. Sueño profundo y Dual Core

Las placas ESP32 que estamos utilizando son todas Dual Core por lo que soportan la multitarea. Según la página de MullOverThing, el ESP32 es capaz de manejar hasta 33 tareas de 8000 palabras de tamaño de pila.

En nuestro caso, utilizaremos la multitarea para llevar a cabo, en segundo plano y con una prioridad inferior, el código con el que se publicará en ThingSpeak, y en primer plano, con una prioridad mayor, el código principal de nuestro ESP32.

Además, se puede, en la tarea secundaria de publicación o en otra tarea que añadamos, poner en hora nuestro ESP32. Para ello será necesario añadir la librería “ESP32Time”; indicar el servidor NTP al que nos vamos a conectar para recibir la hora, en nuestro caso será “pool.ntp.org”; añadir la hora de España, GMT +1 e indicar si estamos en horario de invierno o verano, en nuestro caso será horario de verano. Una vez puesto en hora nuestro ESP32, podremos habilitar el sueño profundo durante un tiempo determinado ya que durante el sueño profundo lo único que sigue activo en el ESP32 de manera fija es el RTC. Por ejemplo, si el edificio de la ETSIIT cierra a las 21:00 y abre a las 7:30, podemos decir al ESP32 que a las 21 comience el sueño profundo con una duración de 10 horas, es decir que se mantenga en sueño profundo hasta las 7:00 del siguiente día, hora en la que se volverá a iniciar para seguir su comportamiento habitual de recogida de datos.

## 10.7. Comparativa entre placas

Las tres placas utilizadas en este proyecto tienen características similares y todas ellas podrían haber llevado a cabo los diferentes planteamientos propuestos, sin embargo, se exceptúan las placas en las que no viene integrada la cámara ya que éstas no podrían llevar a cabo su planteamiento. El planteamiento de sensores ultrasonidos puede ser llevado a cabo por cualquier placa ya que los pines GPIO que se utilizan en total son 4 y, aunque la placa ESP32-WROVER CAM tenga muchos de sus pines conectados a la cámara, sigue teniendo 6 de ellos libres (2, 13, 14, 15, 33 y 32), también decir que los pines de la cámara pueden utilizarse siempre en cuando

no se utilice la cámara. El segundo planteamiento, al tratarse de la detección de dispositivos Bluetooth, cualquier placa lo puede llevar a cabo ya que todas las ESP32 cuentan con dicha conectividad. Por último, el planteamiento de la cámara solo puede ser realizado por la ESP32-WROVER CAM al venir incorporada en ella el módulo de cámara OV2640. Con respecto a la programación de las placas, se sigue el mismo proceso en sendas, sólo, a la hora de cargar el programa en la placa, se ha de asignar la placa correspondiente. En la siguiente tabla, se muestran algunas de las características que diferencian a las placas entre sí y en la siguiente figura, se pueden apreciar las placas.

TABLA 10.1. COMPARATIVA DE LAS PLACAS ESP32.

	ESP32 NodeMCU DevKitC-32		ESP32 D1 Mini		ESP32-WROVER CAM	
<b>Empresa</b>	AZDelivery		AZDelivery		Freenove	
<b>SoC</b>	ESP32-D0WDQ6		ESP32-D0WDQ6		ESP32-D0WDR2-V3	
<b>Módulo PCB</b>	ESP32-WROOM-32		ESP32-WROOM-32		ESP32-WROVER-E	
<b>Core</b>	Dual Core		Dual Core		Dual Core	
<b>PSRAM</b>	No		No		Sí (2 MB)	
<b>Pines GPIO</b>	32		32		28	
<b>Memoria</b>	<b>Flash</b>	4 MiB	<b>Flash</b>	4 MiB	<b>Flash</b>	4 MiB
	<b>SRAM</b>	512 KB	<b>SRAM</b>	520 KB	<b>SRAM</b>	8 MB
<b>Dimensiones</b>	<b>Peso</b>	10 g	<b>Peso</b>	12 g	<b>Peso</b>	10 g
	<b>Ancho</b>	28 mm	<b>Ancho</b>	31.5 mm	<b>Ancho</b>	28 mm
	<b>Largo</b>	56 mm	<b>Largo</b>	39 mm	<b>Largo</b>	58 mm
<b>Precio</b>	11,99 €		9,99 €		18,95 €	

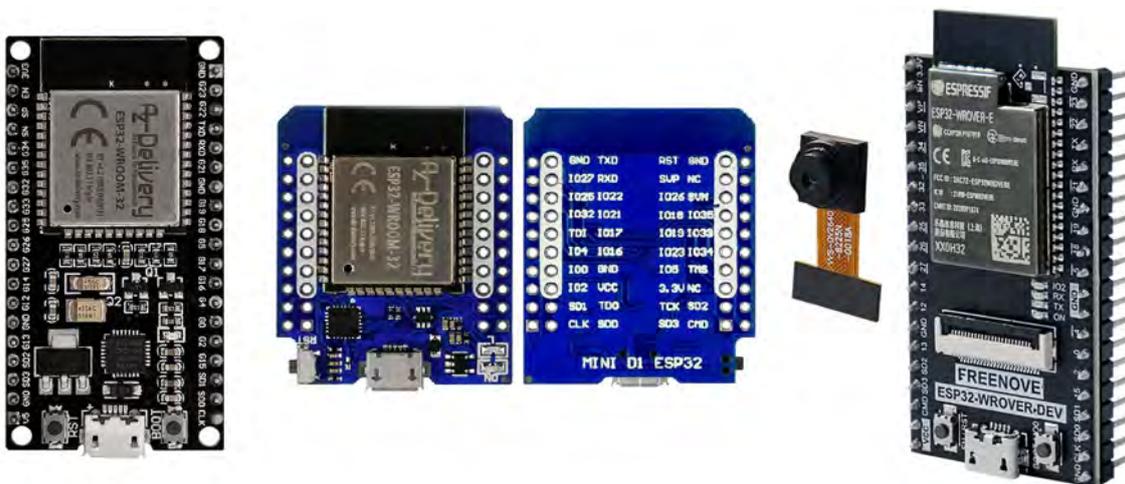


Figura 10.17: ESP32 NodeMCU, ESP32 D1 Mini, ESP32-WROVER CAM.

# Capítulo 11

## Gestión de la Energía

Estos planteamientos han sido pensados originalmente para llevarse a cabo en partes concretas del edificio que dispongan de analizadores para detectar los consumos de dichos espacios. Por ejemplo, una parte concreta del edificio podría ser la que abarca el analizador de la planta -1 de la escalera B, conformada por aulas en las que se imparte únicamente clase teórica y cuyo equipamiento se basa en un ordenador de mesa y uno o dos proyectores..

La idea es analizar, entender y gestionar las distintas partes del edificio para poder llevar a cabo nuestras propuestas a todo el edificio, porque aunque haya patrones comunes de iluminación, climatización, seguridad y accesibilidad de los espacios, el consumo variará en función del aula, por haber aulas más grandes que otras, aulas donde sólo se imparte clase teórica, aulas con ordenadores, laboratorios, etc. Además, también influirá el aislamiento térmico, la ubicación, así como los equipos instalados (el número y la calidad de los mismos en cuanto a eficiencia). En las siguientes figuras, se puede apreciar el diagrama de cajas del consumo por cada hora de determinados analizadores de red en el periodo de clases del 2021. Podemos ver como los valores difieren por lo mencionado antes, exceptuando los analizadores de la escalera B de la planta 0 y -1 que tienen unos valores similares por ser plantas en las que se encuentran básicamente aulas con una estructura y equipamiento parecidos y cuyo horario de uso suele ser similar de lunes a jueves (se exceptúa el viernes por ser un día por lo general dedicado a las tutorías).

En el caso de querer hacer un diagrama similar para el resto de analizadores, sería necesario tener en cuenta el horario de uso de los espacios que se analizan ya que incluso entre semana el horario podría variar.

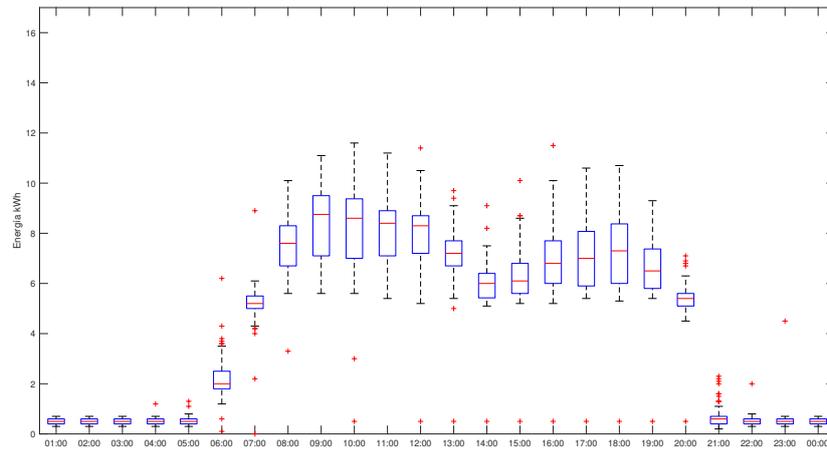


Figura 11.1: Analizador de la escalera A, planta 1.

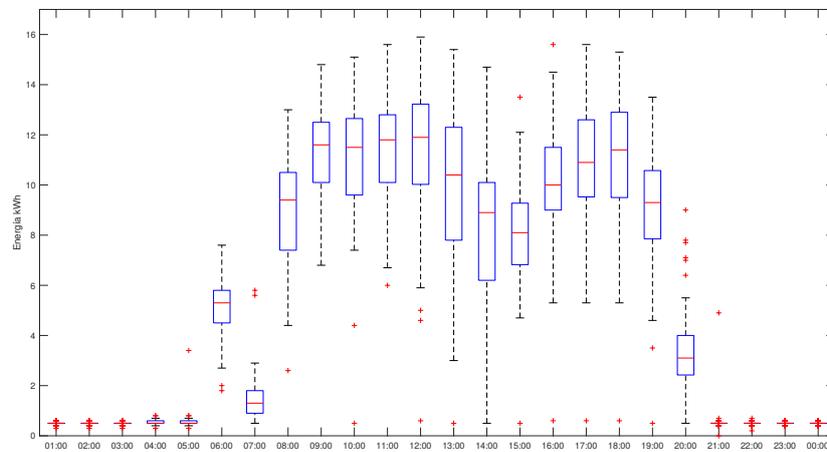


Figura 11.2: Analizador de la escalera A, planta -1.

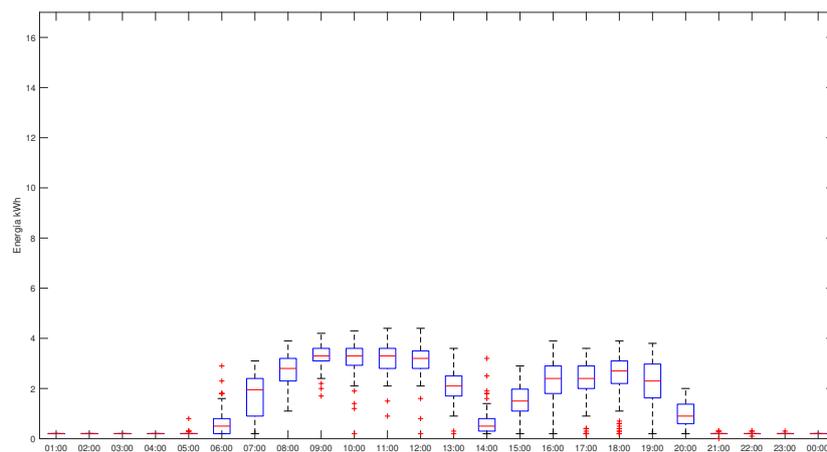


Figura 11.3: Analizador de la escalera B, planta 0.

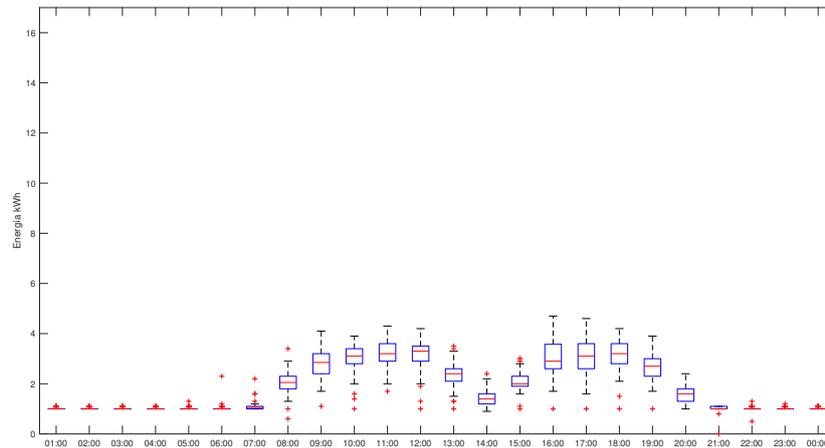


Figura 11.4: Analizador de la escalera B, planta -1.

Con la recopilación de datos a través de las metodologías propuestas para medir el aforo en un espacio, los datos de los analizadores y el horario de uso de dichos espacios, se puede evaluar si se está haciendo un consumo responsable. Por el momento, este planteamiento no toma acción en tiempo real, es decir, nosotros podemos tener acceso en tiempo real a los datos que miden el aforo en un espacio, pero no podemos tener acceso en tiempo real a los datos de los analizadores. Por ello, se evaluarán los consumos con los datos previamente obtenidos de los sensores para entender si ese consumo es justificado o no. Se espera que esa detección se realice en un tiempo considerable para, en caso de tratarse de un consumo no justificado por el aforo, advertir, a la persona o personas responsables, de un comportamiento no deseado en el consumo para que así pueda o puedan tomar las medidas pertinentes, o en su defecto, explicar los motivos de dicho comportamiento.

## Parte IV

### Conclusiones y líneas futuras

# Capítulo 12

## Conclusiones

### 12.1. IoT

En mi opinión, las tecnologías IoT van a mantener una evolución exponencial. Y aunque los campos de aplicación IoT sean verdaderamente amplios, en el campo de la gestión energética van a ser determinantes si no lo están siendo ya.

### 12.2. Uso de la energía

El cambio climático ya es un hecho y es necesario que todos tomemos consciencia de la situación para unir fuerzas hacia una misma dirección.

Como hemos visto, la gestión de la energía (al menos en este proyecto) llega hasta cierto punto. Mientras los sensores detecten que hay alguien en el aula, quedará bajo la responsabilidad de la persona que se encuentra en dicha aula el hacer un uso responsable de la energía. Por esta razón, es necesario seguir realizando charlas divulgativas acerca del ahorro energético y del uso responsable. Es necesario pensar como comunidad y no como individuo aislado, ya que dejar un aula encendida puede no repercutir en el incremento final del consumo, pero dejar todas sí, y quien dice aulas, dice despachos, ordenadores, proyectores, etc. Es la unión de todos lo que hace tangible un verdadero cambio.

Puedo ver como trabajos como el realizado junto a otros relacionados con las EERR, empezarán a hacerse más presentes debido al objetivo principal: reducir drásticamente las emisiones de dióxido de carbono para continuar con la transformación del sistema energético actual.

### 12.3. Inventario de las cargas eléctricas

En este trabajo se ha realizado un inventario de las cargas eléctricas de la ETSIIT de zonas determinadas. Sin embargo, muchas zonas han quedado sin ser analizadas. Departamentos de investigación, laboratorios, despachos, no han sido revisados en este trabajo debido a la falta de acceso, y simbolizan una parte importante en el

consumo de energía eléctrica de la ETSIIT. En los diagramas de caja del consumo diario vistos, en una hora punta se pueden consumir unos 240 kWh y el total del inventario de iluminación realizado ronda los 64 kW, es decir, suponiendo que todas las luminarias estén encendidas durante una hora, estaríamos hablando de algo más de un cuarto del consumo en hora punta. El otro 75 % del consumo debe ser llevado a cabo por ordenadores, otras zonas de iluminación, pero sobre todo, por equipos de zonas que no se han podido ver en este trabajo y que serían fundamentales para poder entender los usos significativos de la energía de la ETSIIT.

# Capítulo 13

## Líneas a futuro

### 13.1. Hábitos de consumo

Como vimos en la parte del contexto, un cambio en los hábitos de consumo energético puede suponer un ahorro potencial de aproximadamente un 19 % ( $\pm 5\%$ ) en nuestra factura energética.

#### 13.1.1. Horario de la ETSIIT

Como actuación propuesta a futuro, se plantea cerrar la ETSIIT una hora antes del cierre habitual. Como vimos en los diagramas de caja del analizador general, a partir de las 9 p. m. el consumo de la ETSIIT refleja su consumo basal hasta las 8 a. m. del siguiente día y, en caso de cerrar una hora antes el edificio, se espera que ese consumo empiece a verse reflejado a partir de las 8 p. m. Lo que supondría una media de casi 100 kWh de ahorro por día de clase. Por lo que, multiplicando  $100 \text{ kWh} \times \text{Precio del kWh que paga la ETSIIT} \times \text{Días de Clase}$ , tendríamos el ahorro en euros y podríamos plantearnos si este cambio podría ser viable, ya que cerrar una hora antes el edificio conllevaría a ajustes en los horarios de clase, evitar que asignaturas se solapen, cuadrar horario de otras carreras, etc.

#### 13.1.2. Adquisición de nuevos equipos

En el Área de Tecnologías Energéticas del Berkeley Lab realizaron mediciones del consumo de muchos equipos en stand-by. En la siguiente tabla, se muestran algunos de los equipos.

TABLA 13.1. CONSUMO DE ENERGÍA EN STAND-BY.

Modo	Media (W)	Mín. (W)	Máx. (W)
<b>Ordenador de escritorio</b>			
On, inactivo	73.97	27.5	180.83
Off	2.84	0	9.21
Sleep	21.13	1.1	83.3

Ordenador portátil			
On, cargado	29.48	14.95	73.1
On, cargando	44.28	27.38	66.9
Off	8.9	0.47	50
Sólo conectado	4.42	0.15	26.4
Sleep	15.77	0.82	54.8
Impresora láser			
Off	1.58	0	4.5
On	131.07	1.7	481.9
Hornos microondas			
Puerta cerrada	3.08	1.4	4.9
Puerta abierta	25.79	1.6	39
Cocinando	1433	966.2	1723

Fuente: Standby Power Berkeley Lab

Como vimos en la parte del contexto, el número de equipos que utilizan electricidad está en aumento, por lo que es sumamente importante que el modo espera o stand-by de los equipos que se vayan a adquirir en un futuro no consuman energía o, en su defecto, consuman muy poco. En caso de mantener equipos antiguos, enchufar cuando se requiera y desenchufar tras su uso sigue siendo una opción, siempre y cuando sea accesible hacerlo.

## 13.2. Implementación del hardware y software IoT

### 13.2.1. Método BLE original

Como vimos en la parte de Bluetooth, hubo ciertas complicaciones para detectar smartphones y para, en caso de haberlos detectado, hallar sus distancias debido a la falta de datos. En esta sección se hablará de una propuesta de solución a futuro para determinar el aforo de un espacio según la distancia de los dispositivos Bluetooth si se consiguieran obtener los datos necesarios.

1. Obtener los valores RSSI para distintas distancias y las Potencias de Transmisión a un metro.
2. Obtener el ratio (dividir RSSI entre la potencia).
3. Hallar con MATLAB la curva exponencial que relaciona las distancias y el ratio aplicando ajuste de curvas por mínimos cuadrados. Para ello, utilizar los siguientes comandos:

```
R=[...]; %los ratios obtenidos experimentalmente
d=[...]; %las distancias obtenidas experimentalmente
fun = @(c,R) c(1)+c(2)*(R.^c(3));
cguess = [0,1,2];
[c,fminres]= lsqcurvefit(fun,cguess,R,d)
```

Halladas las constantes C, el programa para controlar el aforo busca, para cada nuevo dispositivo, obtener su valor de potencia de transmisión a un metro, obtener la RSSI, hallar el ratio y aplicar la fórmula con las constantes obtenidas para estimar la distancia a la que se encuentra el dispositivo. Teniendo en cuenta la distancia obtenida, entenderemos si la persona se encuentra dentro del espacio a analizar o fuera de él para contabilizarla o no.

### 13.2.2. Método BLE alternativo

Como vimos con el método BLE, encontramos una manera de saber los dispositivos, como ordenadores portátiles o smart TVs, que estaban encendidos o en stand-by. En años anteriores, la Universidad rastreó las IPs de los ordenadores del centro que estaban mandando tráfico a horas inusuales, como en el periodo de la madrugada. La explicación de dejar un ordenador encendido entre semana, cosa que no pasaba durante el fin de semana, era que, al ser, en algunos casos, ordenadores antiguos, requerían de más tiempo de encendido y, como entre semana el ordenador se iba a seguir usando decidían dejarlo encendido a diferencia del fin de semana que lo apagaban porque no lo iban a usar hasta el próximo lunes. En esta ocasión, podríamos cambiar el método de rastrear IPs, por el de detectar los ordenadores a través del sensor Bluetooth. Si ha habido una actualización de los ordenadores y éstos usan memorias de estado sólido (es decir, son más rápidos y más eficientes), podríamos ver si hoy en día el comportamiento visto en años anteriores ha cesado, o si por el contrario, se mantiene igual.

### 13.3. Gestión de la Energía

Como vimos en el capítulo de la gestión de la energía, los analizadores de red, dependiendo de la zona, tienen unos valores característicos. En los diagramas de caja vistos en dicho capítulo se habló de la energía eléctrica que midieron esos analizadores, pero no de los espacios exactos que analizaban. De momento, saber qué analizadores miden qué, es algo que nadie sabe a ciencia exacta. Por ejemplo, el analizador de red de la escalera B, planta -1, podría medir el consumo de las aulas 15, 16, 17 y 18, las luminarias del pasillo que comprende la escalera B y las luminarias de los baños de la escalera B, pero es sólo una hipótesis, no es algo que se sepa con exactitud. En la siguiente tabla, se muestra el inventario de iluminación de los espacios mencionados de la escalera B.

TABLA 13.2. INVENTARIO DE ILUMINACIÓN, ESC. B, PL. -1.

Ubicación	Nº salas similares	Tipo Luminaria	Nº Luminarias	Tipo Lámpara	Nº lámpara / Luminaria	W / Lámpara	W / Luminaria	kW TOTAL
Aula 16, 17	2	Empotrada	19	Led	1	40	40	1,52
Aula 15	1	Empotrada	14	Led	1	40	40	0,56
Aula 18	1	Empotrada	9	Led	1	40	40	0,36
Hall - Pasillos	1	Empotrada	19	Led	1	20	20	0,38
Hall - Pasillos	1	Empotrada	6	FC	1	18	18	0,108
Hall - Pasillos	1	Empotrada	2	FT	1	36	36	0,072
Aseo S19 A, S19 B	2	Empotrada	4	FC	1	18	18	0,144

<b>TOTAL</b>	<b>3,144</b>
--------------	--------------

FT: Fluorescente de tubo    FC: Fluorescente compacto

Como vemos, el total no llega a los 4 kW, valor visto en el diagrama de cajas del analizador de la escalera B, planta -1 (si dividimos entre una hora su consumo), en el horario en el que se impartían clases, sin embargo, aquí no estamos contando los equipos que podrían estar utilizándose en dicho momento, como podrían ser ordenadores, proyectores o algún otro más, y tampoco tenemos la certeza de saber si dicho analizador está analizando las cargas vistas u otras más. Un ejercicio a futuro podría ser encender todas las cargas e ir apagando el general del contador de cada zona para ver qué cargas se apagan y así saber las cargas que está analizando cada contador. Así, sabiendo las cargas que analiza, podríamos simular un gemelo digital para tener una estimación del consumo que se llevará a cabo y mejorar nuestro sistema de gestión energético.

# Bibliografía y Referencias

- [1] Wikipedia. “Ley de Moore.” (2022), [En línea]. Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Ley\\_de\\_Moore](https://es.wikipedia.org/wiki/Ley_de_Moore) (Acceso: 22-07-2022).
- [2] J. L. Casarín. “Las tecnologías exponenciales y su impacto innovador.” (2020), [En línea]. Disponible en: <https://www.eleconomista.com.mx/opinion/Las-tecnologias-exponenciales-y-su-impacto-innovador-20200408-0037.html> (Acceso: 22-07-2022).
- [3] E. Ventura. “Reducir el consumo de energía en casa.” (2019), [En línea]. Disponible en: <https://www.lavanguardia.com/vida/junior-report/20190422/461727886828/consumo-ahorro-energia-eficiencia-hogar.html> (Acceso: 22-07-2022).
- [4] E. ingenio. “La vida antes de tus electrodomésticos.” (2019), [En línea]. Disponible en: <https://www.elingenio.es/la-vida-antes-de-tus-electrodomesticos/> (Acceso: 22-07-2022).
- [5] Frigicoll. “Gama marrón, blanca, gris y PAE de electrodomésticos: ¿Qué son?” (2019), [En línea]. Disponible en: <https://www.frigicoll.es/blog/gama-marron-blanca-gris-y-pae-de-electrodomesticos-que-son/> (Acceso: 22-07-2022).
- [6] A. B. Alonso-Conde, J. Rojo-Suárez y J. Á. Zúñiga-Vicente, “Uso de dispositivos móviles en las aulas de la universidad y rendimiento académico: revisión de la literatura y nueva evidencia en España,” *Dialnet*, pp. 13-15, 2021.
- [7] Enefgy. “PROGRAMA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA.” (2009), [En línea]. Disponible en: <https://web.unican.es/unidades/ecocampus/Documents/Programa%5C%20Eficiencia%5C%20Energ%5C%C3%5C%A9tica%5C%20ENEFGY.pdf> (Acceso: 24-07-2022).
- [8] B. Dahlbom, H. Greer, C. Egmond y R. Jonkers, *Cambiando los hábitos de consumo energético. Directrices para programas dirigidos al cambio de comportamiento*, 2009.
- [9] O. Ecocampus. “Energía.” (2013), [En línea]. Disponible en: <https://web.unican.es/unidades/ecocampus/gestion-ambiental/energia> (Acceso: 26-07-2022).
- [10] E. País. “El mundo consumirá un 30 % más de energía en 2040 y se aleja de cumplir el Acuerdo de París.” (2017), [En línea]. Disponible en: [https://elpais.com/economia/2017/11/14/actualidad/1510661591\\_352717.html](https://elpais.com/economia/2017/11/14/actualidad/1510661591_352717.html) (Acceso: 24-07-2022).

- [11] R. y empresas eléctricas. “Proyecto INDEL, ATLAS de la demanda eléctrica española.” (1988), [En línea]. Disponible en: [https://www.ree.es/sites/default/files/downloadable/atlas\\_indel\\_ree.pdf](https://www.ree.es/sites/default/files/downloadable/atlas_indel_ree.pdf) (Acceso: 24-07-2022).
- [12] J. Moral y J. Vicéns, *UN MODELO DE PREVISIÓN DE LA DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA: THOR II*, 2003.
- [13] REE. “Demanda eléctrica y actividad económica: ¿Cambio de paradigma?” (2019), [En línea]. Disponible en: [https://www.ree.es/sites/default/files/downloadable/demanda-electrica-actividad-economica\\_0.pdf](https://www.ree.es/sites/default/files/downloadable/demanda-electrica-actividad-economica_0.pdf) (Acceso: 24-07-2022).
- [14] —, “INFORME DEL SISTEMA ELÉCTRICO.” (1995-2021), [En línea]. Disponible en: <https://www.ree.es/es/datos/publicaciones/informe-anual-sistema> (Acceso: 25-07-2022).
- [15] Endesa. “Las claves para entender por qué se dispara el precio de la energía.” (2022), [En línea]. Disponible en: <https://www.endesa.com/es/la-carra-e/sector-energetico/claves-para-entender-subida-precio-luz#:~:text=Esto%5C%20ocurre%5C%20porque%5C%20las%5C%20compa%5C%3%5C%B1%5C%3%5C%ADas,marca%5C%20ahora%5C%20el%5C%20mercado%5C%20diario.> (Acceso: 25-07-2022).
- [16] V. L. Esplá. “El preocupante aviso de la Agencia Internacional de la Energía: el precio de la luz no bajará como mínimo hasta 2025.” (2022), [En línea]. Disponible en: [https://www.antena3.com/noticias/economia/preocupante-aviso-agencia-internacional-energia-precio-luz-bajara-como-minimo-2025\\_2022070562c45e2e03d1fb0001f40d27.html#:~:text=Est%5C%3%5C%A1%5C%20por%5C%20encima%5C%20de%5C%20lo,la%5C%20bonificaci%5C%3%5C%B3n%5C%20de%5C%2020%5C%20c%5C%3%5C%A9ntimos.](https://www.antena3.com/noticias/economia/preocupante-aviso-agencia-internacional-energia-precio-luz-bajara-como-minimo-2025_2022070562c45e2e03d1fb0001f40d27.html#:~:text=Est%5C%3%5C%A1%5C%20por%5C%20encima%5C%20de%5C%20lo,la%5C%20bonificaci%5C%3%5C%B3n%5C%20de%5C%2020%5C%20c%5C%3%5C%A9ntimos.) (Acceso: 25-07-2022).
- [17] REE. “El sistema eléctrico español. Sistema eléctrico 2021.” (2022), [En línea]. Disponible en: [https://www.sistemaelectrico-ree.es/sites/default/files/2022-07/InformeSistemaElectrico\\_2021.pdf](https://www.sistemaelectrico-ree.es/sites/default/files/2022-07/InformeSistemaElectrico_2021.pdf) (Acceso: 25-07-2022).
- [18] E. OMIE. “Los días con el precio del MWh (‘pool’) más caros desde 1998.” (2022), [En línea]. Disponible en: <https://www.epdata.es/dias-precio-mwh-mas-caros-1998/ce52fcd3-3593-4a86-b315-3706212f38ff> (Acceso: 25-07-2022).
- [19] MIBGAS. “INFORME ANUAL DEL MERCADO ORGANIZADO DE GAS.” (2021), [En línea]. Disponible en: [https://www.mibgas.es/sites/default/files/mibgas\\_informe\\_anual\\_2021.pdf](https://www.mibgas.es/sites/default/files/mibgas_informe_anual_2021.pdf) (Acceso: 25-07-2022).
- [20] A. Romero, “LA EFICIENCIA ENERGÉTICA COMO INSTRUMENTO DE AHORRO,” *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (España)*, vol. 105, n.º 1, pp. 151-152, 2011.
- [21] EIA. “The value of urgent action on energy efficiency.” (2022), [En línea]. Disponible en: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/6ed712b4-32a3-4934-9050-d97a83a45a80/Thevalueofurgentaction-7thAnnualGlobalConferenceonEnergyEfficiency.pdf> (Acceso: 26-07-2022).

- [22] J. M. García Sánchez, *La nueva Norma de Gestión de la Energía: ISO 50001:2018. El futuro de la energía*. 2018.
- [23] L. del Valle Hernández. “ESP8266 todo lo que necesitas saber del módulo WiFi para Arduino.” (2016), [En línea]. Disponible en: <https://programarfacil.com/podcast/esp8266-wifi-coste-arduino/> (Acceso: 27-06-2022).
- [24] J. Satyabatra. “DIFERENCIA ENTRE MCU Y SOC, traducido por Acervo Lima.” (), [En línea]. Disponible en: <https://es.acervolima.com/diferencia-entre-mcu-y-soc/> (Acceso: 27-06-2022).
- [25] R. Concepción. “El microcontrolador. Un componente poderoso.” (2020), [En línea]. Disponible en: <https://www.rjconcepcion.com/podcast/el-microcontrolador-un-componente-poderoso/> (Acceso: 27-06-2022).
- [26] C. Smith. “How it Works: Systems on a Chip (SoC).” (2012), [En línea]. Disponible en: <https://www.androidauthority.com/how-it-works-systems-on-a-chip-soc-93587/> (Acceso: 27-06-2022).
- [27] (), [En línea]. Disponible en: <https://www.robotshop.com/us/es/placa-desarrollo-microcontrolador-usb-teeny-41-sin-pines.html> (Acceso: 27-06-2022).
- [28] B. Espaciadora. “Miniordenadores ¿Qué son y para qué sirven?” (2013), [En línea]. Disponible en: <https://bcninfoservices.wordpress.com/2013/04/25/miniordenadores-que-son-y-para-que-sirven/> (Acceso: 27-06-2022).
- [29] MQTT. “MQTT: The Standard for IoT Messaging.” (2022), [En línea]. Disponible en: <https://mqtt.org/getting-started/> (Acceso: 07-09-2022).
- [30] L. Llamas. “¿QUÉ ES MQTT? SU IMPORTANCIA COMO PROTOCOLO IOT.” (2019), [En línea]. Disponible en: <https://www.luisllamas.es/que-es-mqtt-su-importancia-como-protocolo-iot/> (Acceso: 07-09-2022).
- [31] Steve. “Understanding the MQTT Protocol Packet Structure.” (2021), [En línea]. Disponible en: <http://www.steves-internet-guide.com/mqtt-protocol-messages-overview/> (Acceso: 07-09-2022).
- [32] J. Pastor. “La Raspberry Pi Pico es un microcontrolador de 4 dólares con sorpresa: un SoC propio diseñado por la Raspberry Pi Foundation.” (2021), [En línea]. Disponible en: <https://www.xataka.com/accesorios/raspberry-pi-pico-microcontrolador-4-dolares-sorpresa-soc-propio-disenado-raspberry-pi-foundation> (Acceso: 29-06-2022).
- [33] A. Allan. “Raspberry Pi Pico and Pico W.” (2022), [En línea]. Disponible en: <https://www.raspberrypi.com/documentation/microcontrollers/raspberry-pi-pico.html> (Acceso: 29-06-2022).
- [34] R. Pi. “Getting started with Raspberry Pi Pico.” (2022), [En línea]. Disponible en: <https://datasheets.raspberrypi.com/pico/getting-started-with-pico.pdf> (Acceso: 29-06-2022).
- [35] A. A. y Andrew Scheller. “GPIO and the 40-pin Header.” (2022), [En línea]. Disponible en: <https://www.raspberrypi.com/documentation/computers/os.html#gpio-and-the-40-pin-header> (Acceso: 29-06-2022).
- [36] R. P. Foundation. “Raspberry Pi Foundation.” (2022), [En línea]. Disponible en: <https://www.raspberrypi.org/> (Acceso: 29-06-2022).

- [37] “5 grandes IDE de Raspberry Pi para programadores y estudiantes.” (2021), [En línea]. Disponible en: <https://tecnoloco.istocks.club/5-grandes-ide-de-raspberry-pi-para-programadores-y-estudiantes/2021-04-29/> (Acceso: 29-06-2022).
- [38] Arduino. “What is Arduino?” (2018), [En línea]. Disponible en: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction> (Acceso: 27-06-2022).
- [39] —, “Connect boards, shields, and carriers.” (2022), [En línea]. Disponible en: <https://support.arduino.cc/hc/en-us/articles/4410110093586-Connect-boards-shields-and-carriers> (Acceso: 29-06-2022).
- [40] L. Aljundi. “MKR IoT Carrier Cheat Sheet.” (2022), [En línea]. Disponible en: <https://docs.arduino.cc/tutorials/mkr-iot-carrier/mkr-iot-carrier-01-technical-reference> (Acceso: 29-06-2022).
- [41] Arduino. “Arduino Hardware.” (2022), [En línea]. Disponible en: <https://www.arduino.cc/en/hardware> (Acceso: 27-06-2022).
- [42] (), [En línea]. Disponible en: <https://www.amazon.es/Espressif-ESP32-DevKitC-32E-Placa-de-Desarrollo/dp/B087TP5471> (Acceso: 05-07-2022).
- [43] E. Systems. “ESP32-WROOM-32E ESP32-WROOM-32UE Datasheet.” (2022), [En línea]. Disponible en: [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32e\\_esp32-wroom-32ue\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32e_esp32-wroom-32ue_datasheet_en.pdf) (Acceso: 05-07-2022).
- [44] (), [En línea]. Disponible en: <https://www.mouser.es/ProductDetail/Espressif-Systems/ESP32-D0WD-V3?qs=GBLS12AkirsI7kXw8ZPing%5C%3D%5C%3D> (Acceso: 05-07-2022).
- [45] J. Jiménez. “Por qué no debes mantener el Bluetooth encendido.” (2022), [En línea]. Disponible en: <https://www.redeszone.net/tutoriales/seguridad/problema-bluetooth-encendido/> (Acceso: 30-08-2022).
- [46] UPV. “La tecnología Bluetooth, la mejor aliada para ayudar a detectar posibles casos de COVID-19 mediante el rastreo de móviles.” (2020), [En línea]. Disponible en: <https://ruvid.org/wordpress/?p=55682> (Acceso: 30-08-2022).
- [47] Y. Wang, X. Yang, Y. Zhao e Y. Liu, *Bluetooth positioning using RSSI and triangulation methods*, 2013.
- [48] E. B. Lab. “STANDBY/ON.” (2015), [En línea]. Disponible en: <https://standby.lbl.gov/data/summary-table/> (Acceso: 08-09-2022).
- [49] MATLAB. “Reconocimiento de patrones (Pattern Recognition).” (2022), [En línea]. Disponible en: <https://es.mathworks.com/discovery/pattern-recognition.html> (Acceso: 08-09-2022).
- [50] D. G. Y. Tech. “How Far Can You Go?” (2020), [En línea]. Disponible en: <http://www.davidgyoungtech.com/2020/05/15/how-far-can-you-go?p=55682> (Acceso: 30-08-2022).
- [51] Linkener. “Software de gestión energética.” (2020), [En línea]. Disponible en: <https://linkener.com/software-de-gestion-energetica> (Acceso: 26-08-2022).

- [52] Seinon. “Ahorra tiempo en tu gestión eficiente de la energía.” (2014), [En línea]. Disponible en: <https://seinon.org/> (Acceso: 26-08-2022).
- [53] S. Electric. “Soluciones de gestión de la energía para edificios.” (2021), [En línea]. Disponible en: <https://www.se.com/es/es/work/solutions/power-management/> (Acceso: 26-08-2022).
- [54] iGromi. “El Software de Eficiencia Energetica N°1 en Latam.” (2021), [En línea]. Disponible en: <https://igromi.com/software-de-eficiencia-energetica/> (Acceso: 26-08-2022).
- [55] SMARKIA. “Sistema de Gestión Energética ISO 50001.” (2013), [En línea]. Disponible en: <https://www.smarkia.com/es/soluciones/smarkia50001/beneficios> (Acceso: 26-08-2022).
- [56] P. Data. “Por qué una plataforma cloud IoT es la mejor estrategia para tu negocio.” (2020), [En línea]. Disponible en: <https://www.pickdata.net/es/noticias/plataforma-cloud-iot-mejor-estrategia-tu-negocio> (Acceso: 02-08-2022).
- [57] D. Purón. “IoT Edge Computing, Nodos Edge y casos de uso en el sector Industrial.” (2021), [En línea]. Disponible en: <https://barbaraiot.com/blog/iot-edge-computing-nodos-edge/> (Acceso: 02-08-2022).
- [58] B. IoT. “Plataformas IoT: que son y cómo pueden beneficiar a tu empresa.” (2021), [En línea]. Disponible en: <https://barbaraiot.com/blog/plataformas-iot-que-son-y-como-pueden-beneficiar-a-tu-empresa/#:~:text=%5C%C2%5C%BFQu%5C%C3%5C%A9%5C%20son%5C%20las%5C%20plataformas%5C%20IoT,comunicarse%5C%20y%5C%20crear%5C%20informaci%5C%C3%5C%B3n%5C%20valiosa.> (Acceso: 02-08-2022).
- [59] M. Gracias. “IoT - Internet Of Things.” (2013), [En línea]. Disponible en: <https://www2.deloitte.com/es/es/pages/technology/articles/IoT-internet-of-things.html> (Acceso: 22-07-2022).
- [60] IDAE. “ESTRATEGIA DE AHORRO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN ESPAÑA 2004-2012.” (2004), [En línea]. Disponible en: [https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_Estrategia\\_de\\_Ahorro\\_y\\_Eficiencia\\_Energetica\\_en\\_Espana\\_2004\\_2012\\_Plan\\_de\\_Accion\\_2008\\_2012\\_b7b7f346.pdf](https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Estrategia_de_Ahorro_y_Eficiencia_Energetica_en_Espana_2004_2012_Plan_de_Accion_2008_2012_b7b7f346.pdf) (Acceso: 18-07-2022).
- [61] —, “ESTRATEGIA DE AHORRO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN ESPAÑA 2011-2020.” (2011), [En línea]. Disponible en: [https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_11905\\_PAEE\\_2011\\_2020.\\_A2011\\_A\\_a1e6383b.pdf](https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_11905_PAEE_2011_2020._A2011_A_a1e6383b.pdf) (Acceso: 18-07-2022).
- [62] Wiring. “Wiring.” (2016), [En línea]. Disponible en: <http://wiring.org.co/> (Acceso: 29-06-2022).
- [63] L. del Valle Hernández. “Processing, Wiring y Arduino.” (2016), [En línea]. Disponible en: <https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/processing-wiring-arduino/> (Acceso: 29-06-2022).
- [64] ESP32. “the INTERNET of THINGS with ESP32.” (2016), [En línea]. Disponible en: <http://esp32.net/> (Acceso: 29-06-2022).