

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA  
DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA  
SANTIAGO - CHILE



“EXPERIENCIAS DE LABORATORIO PARA ALUMNOS DE  
PREGRADO UTILIZANDO SENSORES INALÁMBRICOS  
BAJO EL CONTEXTO DE IOT”

HÉCTOR MANUEL LABRAÑA ROJAS

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL EN INFORMÁTICA

Profesora Guía: Erika Rosas Olivos  
Profesora Correferente: Cecilia Reyes Covarrubias

Octubre - 2022

*Dedicado a mi madre,*

***Berta Rojas,***

*mis hermanas,*

***María Labraña & Mavi,***

*Y para toda la comunidad informática de la Universidad Técnica Federico Santa María.*

## AGRADECIMIENTOS

En el ejercicio del autor y su papel en blanco es mi anhelo expresar lo complicado del proceso, sin embargo, veo mucho más valioso poder utilizar este apartado para denotar gratitud.

En primer lugar, me gustaría agradecer a mi familia por su sempiterno apoyo durante todos estos años de estudio. Por confiar en mí y motivarme en los momentos de dificultad. Por enseñarme lo realmente importante. Mi esfuerzo y dedicación siempre ha sido en su honor y espero poder seguir construyendo alegrías que generen resiliencia en nuestras vidas.

Mi más sincera gratitud para la Doctora Erika Rosas, ante todo, considero muy importante mencionar que este proyecto de memoria no habría existido sin su admirable deseo de mejora continua. En usted veo reflejado la esperanza de la docencia empática, aquella que en muchos momentos me motivó a seguir adelante. Espero que nuestra comunidad informática sepa valorar los importantes aportes que usted ha logrado durante todos estos años.

De la misma manera, agradezco a los estudiantes que han participado en el proceso de implementación de las experiencias prácticas de laboratorio, por haber dedicado tiempo y esfuerzo valioso para la correcta validación de este proyecto de memoria. En ustedes pude observar el espíritu Sansano de superación, prolijidad y pensamiento crítico. Espero que el contenido práctico adquirido haya aportado positivamente en su formación profesional y que de alguna manera, este proyecto sirva como motivación para el desarrollo de futuros aportes en nuestra comunidad informática.

Finalmente, pero no menos importante, me gustaría agradecer a todas aquellas personas que han sido motivación y ejemplo a seguir durante toda mi vida. Por su intermedio, he intentado comprender la relevancia del esfuerzo e integridad personal. Espero algún día poder ser digno de orgullo y respeto de la misma manera que ustedes lo son para mí.

*“Veo, que cuando el amor de Dios se apodera del corazón, hace que el amor humano se transforme, se divinice, por decirlo así” (S.T.A).*

## RESUMEN

**Resumen**— Con el fin de contrarrestar la ausencia de experiencias prácticas de laboratorio bajo el contexto IoT en asignaturas TIC del Departamento de Informática de la Universidad Técnica Federico Santa María, se diseñan, implementan y validan tres experiencias prácticas de laboratorio con temática IoT. Para lograr lo anterior, se construye un marco de trabajo considerando conocimiento experto para el aseguramiento de la calidad, lo cual se tradujo en diez principios de diseño para las experiencias de laboratorio. Los resultados obtenidos después de la fase de implementación respaldan las experiencias de laboratorio diseñadas, en detalle, más de la mitad de los estudiantes que participaron en la puesta en marcha han otorgado el máximo nivel de conformidad con el contenido de aprendizaje adquirido, las instrucciones proporcionadas y el cumplimiento de los objetivos de cada experiencia. Además, se obtuvo una mediana de calificaciones de al menos 94 puntos sobre 100 entre todas las experiencias implementadas. Las experiencias prácticas de laboratorio bajo el contexto IoT, permitirá fortalecer el proceso de aprendizaje de las nuevas generaciones que cursen asignaturas TIC.

**Palabras Clave**— *Experiencias prácticas de laboratorio, Internet de las cosas, IoT, Sensores inalámbricos, Tecnologías de la información y comunicación.*

## ABSTRACT

**Abstract**— In order to counteract the absence of practical laboratory experiences under the IoT context in ICT subjects of the Department of Informatics of the Federico Santa María Technical University, three practical laboratory experiences with IoT themes are designed, implemented and validated. To achieve this, a framework is built considering expert knowledge for quality assurance, which translated into ten design principles for laboratory experiences. The results obtained after the implementation phase support the laboratory experiences designed, in detail, more than half of the students who participated in the start-up have awarded the highest level of conformity with the learning content acquired, the instructions provided and the compliance of the objectives of each experience. In addition, a median score of at least 94 points over 100 was obtained among all the experiences implemented. The practical laboratory experiences under the IoT context, will improve the learning process of the new generations that study ICT subjects.

**Keywords**— *Practical laboratory experiences, Internet of Things, IoT, Wireless Sensors, Information and Communication Technologies.*

## GLOSARIO

UTFSM: Universidad Técnica Federico Santa María.

IoT: *Internet of Things*.

TIC: Tecnologías de la Información y Comunicación.

RFID: *Radio frequency identification*.

MIT: *Massachusetts Institute of Technology*.

COVID-19: *Coronavirus disease 2019*.

KPI: *Key performance indicator*.

IP: *Internet protocol*.

TI: Tecnologías de la información.

GHz: Gigahertzios.

WIFI: *Wireless fidelity*.

HTTP: Protocolo de transferencia de Hipertexto.

REST: Transferencia de Estado Representacional.

URI: *Uniform resource identifier*.

MQTT: *Message Queue Telemetry Transport*.

CoAP: *Constrained Application Protocol*.

CHIP: *Circuito Integrado utilizado para crear soluciones electrónicas programables*.

Hardware: *Conjunto de partes físicas de un sistema computacional*.

CNA: *Comisión Nacional de Acreditación*.

IEEE: *Institute of Electrical and Electronics Engineers*.

OID: *Object Identifier*.

EPC: *Electronic Product Code*.

UUID: *Universal Unique Identifiers*.

LPWAN: *Low Power Wide Area Network*.

LoRa: *Long Range*.

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

|   |           |
|---|-----------|
| RESUMEN . . . . .   | IV        |
| ABSTRACT . . . . .  | IV        |
| GLOSARIO . . . . .  | V         |
| ÍNDICE DE FIGURAS . . . . .                                       | IX        |
| ÍNDICE DE TABLAS . . . . .  | X         |
| <b>CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN . . . . .</b>                         | <b>1</b>  |
| 1.1 ANTECEDENTES, MOTIVACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA . . . . . | 1         |
| 1.1.1 ORIGEN DEL PROBLEMA . . . . .                               | 1         |
| 1.1.2 CAUSAS . . . . .  | 1         |
| 1.1.3 CONSECUENCIAS . . . . .                                     | 3         |
| 1.1.4 FUNDAMENTOS PARA EL APRENDIZAJE SOBRE IOT . . . . .         | 5         |
| 1.1.5 MOTIVACIÓN . . . . .  | 6         |
| 1.2 SOLUCIÓN PROPUESTA . . . . .                                  | 8         |
| 1.3 OBJETIVOS . . . . .   | 8         |
| 1.3.1 OBJETIVO GENERAL . . . . .                                  | 8         |
| 1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS . . . . .                             | 8         |
| 1.4 METODOLOGÍA DE TRABAJO Y HERRAMIENTAS UTILIZADAS . . . . .    | 9         |
| 1.4.1 METODOLOGÍA DE TRABAJO . . . . .                            | 9         |
| 1.4.2 HERRAMIENTAS UTILIZADAS . . . . .                           | 10        |
| 1.5 ALCANCES Y ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO . . . . .               | 10        |
| 1.5.1 ALCANCES . . . . .  | 10        |
| 1.5.2 ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO . . . . .                        | 11        |
| <b>CAPÍTULO 2: MARCO CONCEPTUAL . . . . .</b>                     | <b>12</b> |
| 2.1 IoT: INTERNET DE LAS COSAS . . . . .                          | 12        |
| 2.1.1 PILARES FUNCIONALES . . . . .                               | 13        |
| 2.1.2 DESAFÍOS . . . . .  | 15        |
| 2.1.3 ARQUITECTURA . . . . .                                      | 17        |
| 2.1.4 PROTOCOLOS CAPA DE TRANSPORTE . . . . .                     | 19        |
| 2.1.5 PROTOCOLOS CAPA DE APLICACIÓN . . . . .                     | 21        |
| 2.2 SENSORES INALÁMBRICOS . . . . .                               | 22        |
| 2.2.1 PLACAS DE DESARROLLO . . . . .                              | 23        |
| 2.2.2 ARDUINO NANO 33 BLE SENSE . . . . .                         | 23        |
| 2.2.3 ARDUINO NANO 33 IOT . . . . .                               | 26        |
| <b>CAPÍTULO 3: PROPUESTA DE SOLUCIÓN . . . . .</b>                | <b>27</b> |
| 3.1 FUNDAMENTOS . . . . .   | 27        |

|  |   |           |
|--|---|-----------|
| 3.2  | MARCO DE TRABAJO . . . . .                                      | 28        |
| 3.2.1  | CNA . . . . .   | 28        |
| 3.2.2  | MODELO EDUCATIVO USM . . . . .                                  | 30        |
| 3.2.3  | MÉTODO DE EVALUACIÓN . . . . .                                  | 31        |
| 3.2.4  | RESULTADOS DE APRENDIZAJE . . . . .                             | 32        |
| 3.2.5  | PRINCIPIOS DE DISEÑO PARA EXPERIENCIAS DE LABORATORIO IOT . . . | 33        |
| 3.3  | HARDWARE PARA EXPERIENCIAS DE LABORATORIO IOT . . . . .         | 35        |
| 3.4  | EXPERIENCIA N°1: ONBOARDING IOT . . . . .                       | 35        |
| 3.4.1  | INTRODUCCIÓN . . . . .  | 36        |
| 3.4.2  | OBJETIVOS . . . . .   | 36        |
| 3.4.3  | MATERIALES Y PLATAFORMAS . . . . .                              | 37        |
| 3.4.4  | EJERCICIO N°1: CONFIGURACIÓN . . . . .                          | 37        |
| 3.4.5  | EJERCICIO N°2: PRIMEROS PASOS . . . . .                         | 38        |
| 3.4.6  | EJERCICIO N°3: TEMPERATURA & HUMEDAD . . . . .                  | 39        |
| 3.4.7  | EJERCICIO N°4: ACELERÓMETRO Y GIROSCOPIO . . . . .              | 39        |
| 3.4.8  | EJERCICIO N°5: PROXIMIDAD Y DETECCIÓN DE GESTOS . . . . .       | 40        |
| 3.4.9  | EJERCICIO N°6: PRESIÓN BAROMÉTRICA . . . . .                    | 41        |
| 3.4.10   | RÚBRICA . . . . .   | 41        |
| 3.5  | EXPERIENCIA N°2: BLE . . . . .                                  | 43        |
| 3.5.1  | INTRODUCCIÓN . . . . .  | 43        |
| 3.5.2  | OBJETIVOS . . . . .   | 44        |
| 3.5.3  | MATERIALES Y PLATAFORMAS . . . . .                              | 44        |
| 3.5.4  | EJERCICIO N°1: CONFIGURACIÓN . . . . .                          | 45        |
| 3.5.5  | EJERCICIO N°2: PRIMEROS PASOS . . . . .                         | 45        |
| 3.5.6  | EJERCICIO N°3: CAPTURANDO DATOS . . . . .                       | 46        |
| 3.5.7  | EJERCICIO N°4: DETECTANDO FRAMES . . . . .                      | 47        |
| 3.5.8  | EJERCICIO N°5: TASA DE TRANSFERENCIA EN BLE . . . . .           | 47        |
| 3.5.9  | RÚBRICA . . . . .   | 48        |
| 3.6  | EXPERIENCIA N°3: DEEP LEARNING & IOT . . . . .                  | 49        |
| 3.6.1  | INTRODUCCIÓN . . . . .  | 50        |
| 3.6.2  | OBJETIVOS . . . . .   | 50        |
| 3.6.3  | MATERIALES Y PLATAFORMAS . . . . .                              | 51        |
| 3.6.4  | EJERCICIO N°1: CONFIGURACIÓN . . . . .                          | 51        |
| 3.6.5  | EJERCICIO N°2: PRIMEROS PASOS . . . . .                         | 52        |
| 3.6.6  | EJERCICIO N°3: RECONOCIMIENTO DE GESTOS . . . . .               | 53        |
| 3.6.7  | EJERCICIO N°4: DETECCIÓN INTELIGENTE DE COLORES . . . . .       | 53        |
| 3.6.8  | EJERCICIO N°5: DETECCIÓN INTELIGENTE DE VOZ . . . . .           | 54        |
| 3.6.9  | RÚBRICA . . . . .   | 55        |
| <b>CAPÍTULO 4: VALIDACIÓN DE LA SOLUCIÓN . . . . .</b> |   | <b>57</b> |
| 4.1  | CRITERIOS DE VALIDACIÓN . . . . .                               | 57        |
| 4.1.1  | ACTIVIDADES PRINCIPALES . . . . .                               | 57        |
| 4.1.2  | ENTORNO DE EXPERIMENTACIÓN . . . . .                            | 58        |
| 4.1.3  | PARTICIPANTES OBJETIVO . . . . .                                | 59        |

|   |  |        |
|---|--|--------|
| 4.1.4   | RESULTADOS MÍNIMOS ESPERADOS . . . . .                           | 59     |
| 4.2   | IMPLEMENTACIÓN EXPERIENCIA N°1: ONBOARDING IOT . . . . .         | 60     |
| 4.2.1   | PROTOCOLO DE APLICACIÓN . . . . .                                | 60     |
| 4.2.2   | RESULTADOS . . . . .   | 61     |
| 4.2.3   | ENCUESTA DE SALIDA . . . . .                                     | 62     |
| 4.2.4   | OBSERVACIONES . . . . .  | 64     |
| 4.3   | IMPLEMENTACIÓN EXPERIENCIA N°2: BLE . . . . .                    | 66     |
| 4.3.1   | PROTOCOLO DE APLICACIÓN . . . . .                                | 66     |
| 4.3.2   | RESULTADOS . . . . .   | 67     |
| 4.3.3   | ENCUESTA DE SALIDA . . . . .                                     | 68     |
| 4.3.4   | OBSERVACIONES . . . . .  | 70     |
| 4.4   | IMPLEMENTACIÓN EXPERIENCIA N°3: DEEP LEARNING & IOT . . . . .    | 72     |
| 4.4.1   | PROTOCOLO DE APLICACIÓN . . . . .                                | 72     |
| 4.4.2   | RESULTADOS . . . . .   | 73     |
| 4.4.3   | ENCUESTA DE SALIDA . . . . .                                     | 74     |
| 4.4.4   | OBSERVACIONES . . . . .  | 76     |
| 4.5   | CORRECCIÓN DE FEEDBACK . . . . .                                 | 77     |
| 4.5.1   | MEJORAS PARA EXPERIENCIA N°1: ONBOARDING IOT . . . . .           | 78     |
| 4.5.2   | MEJORAS PARA EXPERIENCIA N°2: BLE . . . . .                      | 79     |
| 4.5.3   | MEJORAS PARA EXPERIENCIA N°3: DEEP LEARNING & IOT . . . . .      | 80     |
| <br><b>CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES . . . . .</b>   |  | <br>81 |
| 5.1   | ASPECTOS GENERALES . . . . .                                     | 81     |
| 5.2   | CONCLUSIONES SOBRE EL MARCO DE TRABAJO . . . . .                 | 83     |
| 5.3   | CONCLUSIONES SOBRE EL CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS . . . . .    | 84     |
| 5.4   | CONCLUSIONES SOBRE LA VALIDEZ DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA . . . . . | 85     |
| 5.5   | ESCALABILIDAD DE LA SOLUCIÓN . . . . .                           | 87     |
| 5.6   | TRABAJO FUTURO . . . . .   | 87     |
| <br><b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS . . . . .</b> |  | <br>88 |
| <br><b>ANEXOS . . . . .</b>                     |  | <br>91 |

# ÍNDICE DE FIGURAS

|    |   |    |
|----|---|----|
| 1  | Árbol del problema. . . . .   | 4  |
| 2  | Tendencias en el área de Internet of Things (IoT). . . . .                      | 5  |
| 3  | Treemap Encuesta Inicial. . . . .   | 6  |
| 4  | Scatter Plot Encuesta Inicial. . . . .  | 7  |
| 5  | Pilares IoT. . . . .  | 15 |
| 6  | Arquitecturas IoT de 3 y 5 capas. . . . .                                       | 18 |
| 7  | Stack de protocolos IoT . . . . .   | 22 |
| 8  | Sensores Arduino Nano 33 BLE Sense . . . . .                                    | 25 |
| 9  | Placas de desarrollo compatibles para el diseño de experiencias IoT. . . . .    | 26 |
| 10 | Imágenes Implementación Experiencia N°1: OnBoarding IoT. . . . .                | 62 |
| 11 | [Parte 1 de 2] Encuesta de Salida Experiencia N°1: OnBoarding IoT. . . . .      | 63 |
| 12 | [Parte 2 de 2] Encuesta de Salida Experiencia N°1: OnBoarding IoT. . . . .      | 64 |
| 13 | Imágenes Implementación Experiencia N°2: BLE. . . . .                           | 68 |
| 14 | [Parte 1 de 2] Encuesta de Salida Experiencia N°2: BLE. . . . .                 | 69 |
| 15 | [Parte 2 de 2] Encuesta de Salida Experiencia N°2: BLE. . . . .                 | 70 |
| 16 | Imágenes Implementación Experiencia N°3: Deep Learning & IoT. . . . .           | 74 |
| 17 | [Parte 1 de 2] Encuesta de Salida Experiencia N°3: Deep Learning & IoT. . . . . | 75 |
| 18 | [Parte 2 de 2] Encuesta de Salida Experiencia N°3: Deep Learning & IoT. . . . . | 76 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|    |   |    |
|----|---|----|
| 1  | Especificaciones Técnicas Arduino Nano 33 BLE Sense. . . . .                      | 24 |
| 2  | Aportes de CNA para el marco de trabajo. . . . .                                  | 29 |
| 3  | Aportes del modelo educativo USM para el marco de trabajo. . . . .                | 31 |
| 4  | Escala de evaluación para experiencias prácticas de laboratorio. . . . .          | 32 |
| 5  | Principios de diseño para el marco de trabajo. . . . .                            | 34 |
| 6  | Factores adaptativos para rúbrica OnBoarding IoT. . . . .                         | 42 |
| 7  | Factores adaptativos para rúbrica BLE. . . . .                                    | 49 |
| 8  | Factores adaptativos para rúbrica <i>Deep Learning &amp; IoT</i> . . . . .        | 56 |
| 9  | Protocolo de aplicación para experiencia OnBoarding IoT. . . . .                  | 61 |
| 10 | Protocolo de aplicación para experiencia BLE. . . . .                             | 67 |
| 11 | Protocolo de aplicación para experiencia <i>Deep Learning &amp; IoT</i> . . . . . | 73 |
| 12 | Mejoras realizadas para experiencia OnBoarding IoT. . . . .                       | 78 |
| 13 | Mejoras realizadas para experiencia BLE. . . . .                                  | 79 |
| 14 | Mejoras realizadas para experiencia <i>Deep Learning &amp; IoT</i> . . . . .      | 80 |
| 15 | Índice para enunciados y rúbricas . . . . .                                       | 91 |

# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. ANTECEDENTES, MOTIVACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La actividad experimental es un aspecto clave en el proceso de enseñanza y aprendizaje, tanto por los numerosos fundamentos teóricos que esta actividad puede aportar, como también el desarrollo de habilidades y destrezas que estimulan el pensamiento crítico de los involucrados.

El modelo educativo [UTFSM, 2016] de la Universidad Técnica Federico Santa María, en adelante UTFSM, reconoce la importancia de experiencias prácticas de laboratorio como “áreas de experimentación y demostración práctica que son necesarias para entender el ejercicio de la profesión”. En este contexto, nace la necesidad de mejora continua y replanteamiento de los resultados de aprendizaje con el fin de poder actualizar los contenidos temáticos hacia nuevas tendencias del área.

#### 1.1.1. ORIGEN DEL PROBLEMA

El Departamento de Informática de la UTFSM, posee asignaturas comunes entre las distintas carreras ofertadas y que además, se encuentran repartidas en diferentes campus dentro de Chile. En particular, las asignaturas comunes relacionadas al área de Infraestructura TIC se ha logrado identificar un déficit de experiencias prácticas de laboratorio que son necesarias para contribuir de la mejor forma al perfil de egreso descrito en el programa de cada asignatura.

#### 1.1.2. CAUSAS

Dentro de las principales causas que originan la falta de experiencias de laboratorio en asignaturas TIC se pueden mencionar:

#### I ACTUALIZACIÓN CONSTANTE DE RESULTADOS DE APRENDIZAJE

La *Ley de Moore*<sup>1</sup> expone que la cantidad de transistores presentes en un *chip* se duplica en un período aproximado de dos años; esto favorece al diseño de infraestructura TIC en dispositivos cada vez más pequeños y junto con ello, la posibilidad de aparición de nuevas tecnologías, nuevos campos de estudio y nuevas demandas de la industria en el perfil de egreso de sus nuevos colaboradores.

---

<sup>1</sup><https://www.intel.la/content/www/xl/es/history/museum-gordon-moore-law.html>

Los planes de estudio que imparten asignaturas TIC tienen el complejo desafío de actualizar sus resultados de aprendizaje en el corto plazo y de forma constante, lo que muchas veces se dificulta por las políticas internas de la institución de educación, generando una necesidad de mejora del proceso enseñanza-aprendizaje. Las experiencias prácticas de laboratorio son una alternativa de alto impacto en el proceso de mitigar las brechas existentes entre las nuevas demandas en el perfil de egreso y la dificultad de actualizar constantemente los resultados de aprendizaje.

## II FALTA DE HARDWARE PARA IMPLEMENTACIÓN DE NUEVAS EXPERIENCIAS

En un contexto de recursos limitados, la posibilidad de adquirir *hardware* de uso exclusivo o *ad hoc* para el estudio práctico de nuevas tecnologías posee limitantes claves que retrasan o anulan el proceso de implementación; por un lado, se observa que gran parte de los esfuerzos se encuentran destinados para la adquisición de *hardware* de uso múltiple o aquel que satisface las necesidades de la mayor parte de las asignaturas impartidas. Del mismo modo, el alto riesgo que involucra la compra de *hardware* de uso exclusivo o de baja demanda provoca que se necesite respaldar la futura adquisición con casos de éxito concretos y estudios de potenciales beneficios. El desarrollo de experiencias prácticas de laboratorio que utilizan materiales exclusivos o de baja demanda, pueden ser potenciales casos concretos de éxito y servir como motivación para la adquisición de *hardware* de innovación.

## III ESPACIOS DISPONIBLES PARA IMPLEMENTACIÓN DE EXPERIENCIAS PRÁCTICAS

En la actualidad (2021-2), el campus San Joaquín de la UTFSM no posee espacios exclusivos para la implementación de experiencias prácticas de laboratorio con enfoque en tecnologías TIC, lo que obliga a tener que realizar laboratorios prácticos en ambientes de múltiple uso y con previa reserva. Esta situación impide poder planificar con antelación la cantidad de experiencias a implementar y las fechas de experimentación, por lo que muchas veces los docentes se ven obligados a implementar actividades prácticas remotas y bajo el uso de simuladores, afectando negativamente a la experiencia de aprendizaje. El diseño de experiencias prácticas de laboratorio que reduzcan el impacto de la infraestructura en el proceso de implementación puede mitigar la falta de espacios exclusivos disponibles.

## IV DÉFICIT DE RECURSOS DESTINADOS PARA EL ESTUDIO DE NUEVAS TECNOLOGÍAS

El alto riesgo que posee tomar la decisión de destinar recursos y esfuerzos en el estudio de tecnologías emergentes provoca que muchas instituciones soliciten la mayor documentación posible e idealmente, contar con experiencias de éxito previas para el aseguramiento de la calidad en el proceso de puesta en marcha, de igual manera, el no contar con un centro de estudio sobre tecnologías TIC emergentes incrementa el déficit de recursos que se deben utilizar para responder a la demanda de la industria TIC. Encontrar un equilibrio entre el costo de diseño e implementación de nuevas tecnologías versus los requerimientos necesarios para adquirir dichos recursos es un buen punto de partida para contrastar el déficit observado.

### **1.1.3. CONSECUENCIAS**

Dentro de las principales consecuencias que respaldan la falta de experiencias de laboratorio en asignaturas TIC se pueden mencionar:

#### **I NECESIDAD DE MEJORA DEL PROCESO ENSEÑANZA-APRENDIZAJE**

Dentro de los contenidos presentes en un programa de asignatura, se encuentran los resultados de aprendizaje que denotan lo que se espera que el estudiante sea capaz de hacer, comprender y/o sea capaz de demostrar una vez terminado un proceso de aprendizaje. Por otro lado, unas de las competencias sello del modelo educativo en la UTFSM corresponde al manejo de las Tecnologías de Información y Comunicaciones, en donde las asignaturas TIC contribuyen significativamente a esta competencia. Por todo lo anterior, se hace necesario una mejora del proceso enseñanza-aprendizaje, incorporando experiencias de laboratorio de temas contingentes (IoT) en los resultados de aprendizaje de las asignaturas en mejora.

#### **II INCONSISTENCIA ENTRE CAMPUS**

Si bien se observan los esfuerzos realizados por el Departamento de Informática para mantener consistencia entre sus asignaturas desacoplando la distancia geográfica, en la práctica el uso de espacios, la infraestructura disponible y la inequidad de recursos se logran identificar como una causa para el déficit de experiencias de laboratorio en asignaturas TIC.

#### **III FEEDBACK EXPERTO**

En el último proceso de acreditación realizado para la carrera Ingeniería Civil Informática, se obtiene una debilidad encontrada por los pares evaluadores relativa a la inconsistencia entre campus para la asignatura de Redes de computadores, en detalle, se explicita que la asignatura mencionada “no tiene las mismas condiciones en San Joaquín”.

#### **IV FEEDBACK ENCUESTA DOCENTE**

Al finalizar cada asignatura, se solicita a cada estudiante que aporte con consejos y/o observaciones a mejorar utilizando como medio encuestas de opinión. Dentro del resultado analizado, se ha logrado identificar una reiterada petición hacia la implementación de más experiencias prácticas de laboratorio, aludiendo que serían de potencial ayuda para una eficaz y eficiente incorporación al mundo laboral, comparando con la experiencia adquirida en la práctica industrial y profesional.

#### **V RETROSPECTIVA DE POSTULANTES A MEMORISTA**

Dentro de las actividades realizadas en la asignatura INF-309 Trabajo de Título I de la carrera Ingeniería Civil Informática se destaca un proceso de mejora continua que comienza con la retrospectiva de los postulantes a memorista sobre su experiencia en el transcurso de toda la carrera. Los resultados se resumen en un reporte de calidad [Hevia, 2021] el cual para el año 2021 ha arrojado como unas de las principales debilidades identificadas

la existencia de un déficit de actividad práctica en las asignaturas, argumentando que “... faltan más talleres y laboratorios a lo largo de la carrera”.

La Figura 1 resume las principales causas y efectos del déficit de experiencias para alumnos de pregrado en las asignaturas TIC a través del árbol del problema, en particular, se logra identificar que el paradigma IoT no se ve cubierto en los diferentes resultados de aprendizaje de las asignaturas en estudio.

La importancia de incorporar experiencias de laboratorio para alumnos de pregrado bajo el contexto de IoT radica en la gran expectativa que genera el área para marcar tendencia en el desarrollo de nuevas tecnologías. En particular la empresa Gartner, una de las más populares consultoras de tecnología del mundo, propone a IoT como [Mark, 2017] “... un paradigma que tendrá un gran impacto en la economía, transformando empresas en negocios digitales y facilitando nuevos modelos de negocio ...” De la misma forma, se indica que se esperan casi 26 billones de dispositivos IoT conectados en el mundo entero para el año 2030.

Para contrarrestar el déficit descrito, el Departamento de Informática ha elaborado un plan de desarrollo a dos años con principal énfasis en la asignatura de INF-256 Redes de computadores, ramo obligatorio de la carrera Ingeniería Civil Informática.

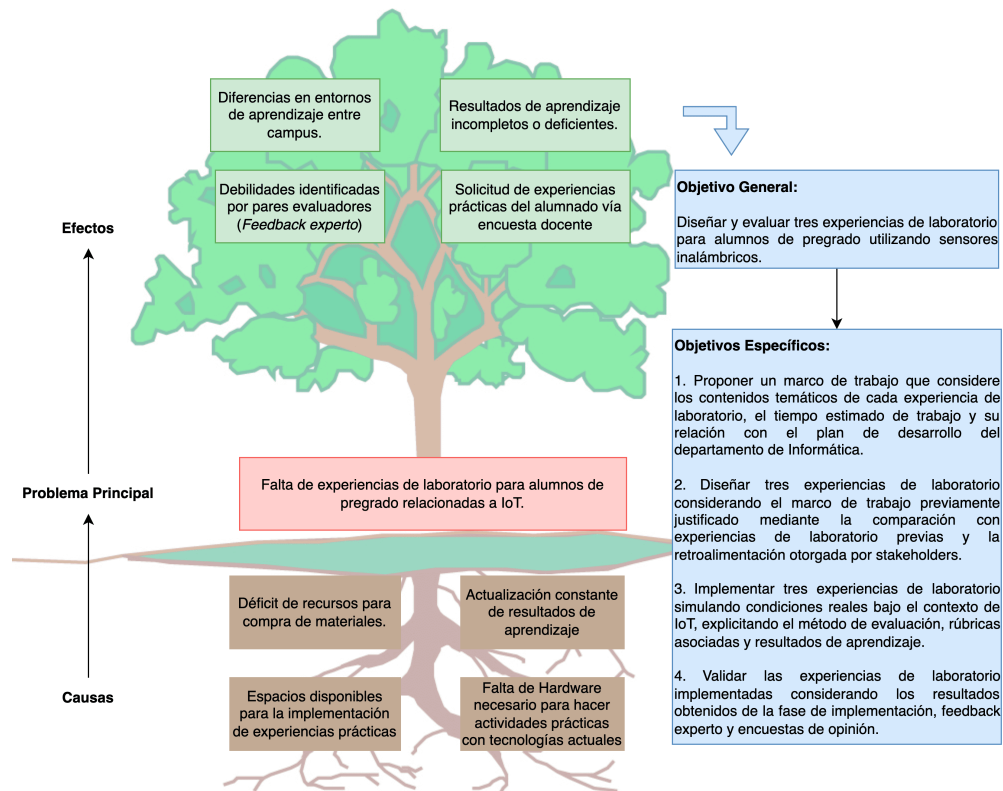


Figura 1: Árbol del problema.

Fuente: Elaboración propia.

#### 1.1.4. FUNDAMENTOS PARA EL APRENDIZAJE SOBRE IOT

Incorporar contenidos innovadores en asignaturas TIC del Departamento de Informática de la Universidad Técnica Federico Santa María, permite otorgar una ventaja competitiva en los perfiles de egreso de los estudiantes involucrados. Sin embargo, el constante cambio de paradigmas y el rápido surgimiento de nuevas tendencias complica el proceso de escoger el área en estudio y los contenidos teóricos a evaluar. Por lo anterior, se logran identificar relevantes fundamentos que motivan la creación de experiencias prácticas de laboratorio bajo el contexto de *Internet of Things* (IoT), los cuales se detallan en el siguiente apartado.

- El paradigma IoT incentiva la creación de soluciones en dispositivos de bajo recursos y con el mínimo consumo de energía, lo cual facilita la adquisición del *hardware* necesario para la implementación de experiencias prácticas de laboratorio.
- IoT promueve la extracción de datos diversos, atómicos y de gran relevancia para la generación de valor en la toma de decisiones, lo cual genera un buen punto de entrada para el apoyo en áreas que necesiten de datos confiables, incluso en tiempo real.
- La demanda de profesionales con conocimientos en IoT es valorada en la industria TIC. Lo anterior se fundamenta gracias al estudio de la consultora *Gartner* (Figura 2), la cual estima una rápida integración de las soluciones IoT en los procesos operacionales existentes. Además, se observa que las soluciones IoT basadas en las áreas de servicios y salud poseen alta expectación para su desarrollo pleno en los próximos 5 a 10 años.

#### Hype Cycle for the Internet of Things, 2020

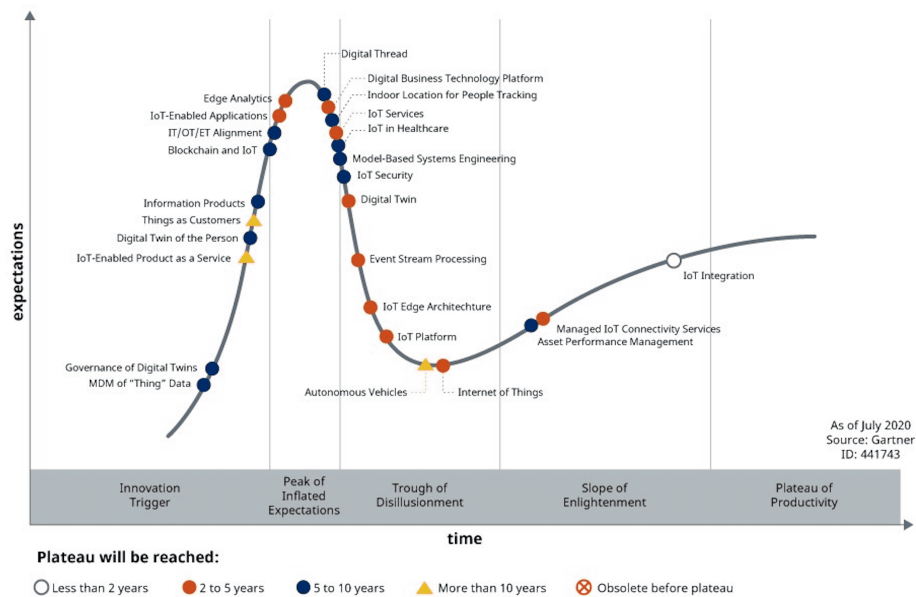


Figura 2: Tendencias en el área de Internet of Things (IoT).

Fuente: [www.gartner.com](http://www.gartner.com).

### 1.1.5. MOTIVACIÓN

Teniendo en cuenta que las experiencias prácticas están destinadas a fortalecer los resultados de aprendizaje de los estudiantes en las asignaturas TIC, es importante poder conocer el grado de interés que pueda captar en los estudiantes este proyecto de memoria con temática centrada en IoT. Para lo anterior, se diseñó una encuesta inicial (o de entrada) compuesta por cuatro secciones, ocho preguntas en total, las cuales buscan diagnosticar el grado de importancia que poseen los estudiantes hacia las experiencias prácticas de laboratorio y además, poder observar el grado de entusiasmo que existe al desarrollar experiencias prácticas bajo el contexto IoT.

La implementación de esta encuesta se desarrolló durante el segundo semestre del año 2021, participando estudiantes que se encontrarán cursando alguna de las asignaturas TIC impartidas por el Departamento de Informática de la UTFSM. En detalle, participaron 85 estudiantes distribuidos en 4 asignaturas (2 San Joaquín, 2 Casa Central).

La Figura 3 resume las preguntas relativas a obtener más detalle sobre el contexto de los participantes y su relación con el paradigma IoT. Se observa que dos de cada tres participantes estudian asignaturas TIC en Campus Santiago San Joaquín, tres de cada cuatro participantes se encuentran cursando [INF-246] Sistemas Operativos y más del 88 % de los estudiantes han escuchado alguna vez sobre IoT. Un aspecto importante a destacar es que dos de cada tres encuestados no reconoce haber estudiado contenidos relacionados a IoT.

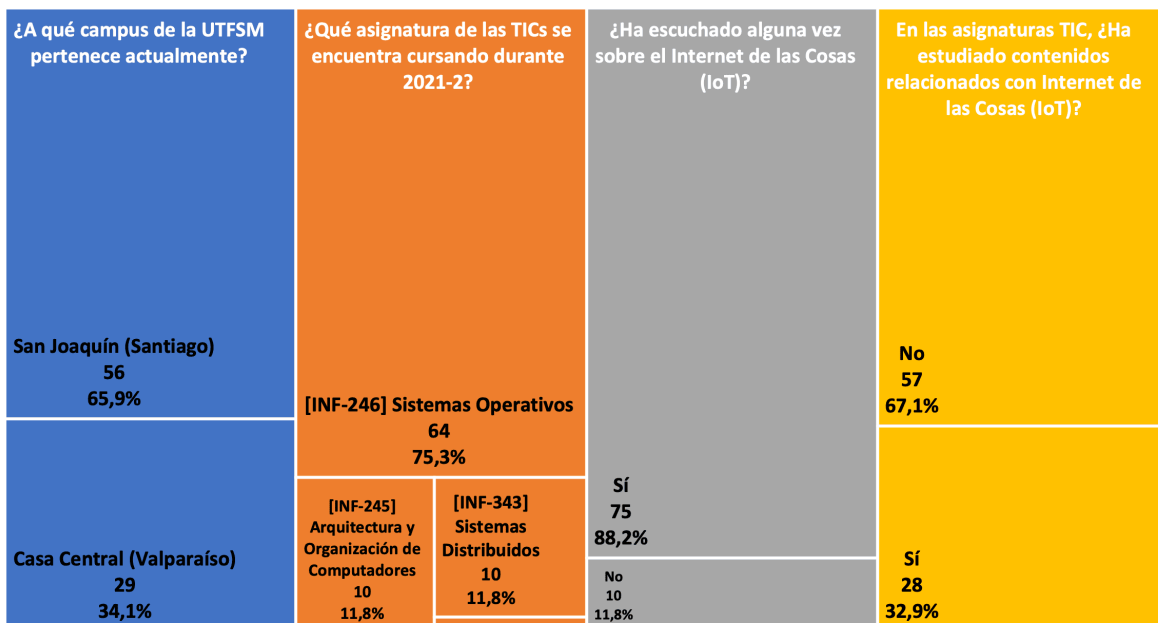


Figura 3: Treemap Encuesta Inicial.  
Fuente: Elaboración propia.

La Figura 4 resume las preguntas relativas al grado de importancia que otorgan los encuestados en el desarrollo de experiencias prácticas de laboratorio bajo los ámbitos del Departamento de Informática, el área de asignaturas TIC y el estudio de contenidos IoT.

Se puede observar que la mayoría de los encuestados han manifestado un alto grado de importancia en cada consulta realizada, otorgando un puntaje igual o mayor a cuatro en escala Likert <sup>2</sup> con un máximo de siete puntos (máxima importancia). Los resultados específicos indican que los estudiantes reconocen la importancia de experiencias prácticas de laboratorio en el Departamento de Informática y la asignatura TIC actualmente en curso, obteniendo mejores resultados que en el caso del diseño de experiencias prácticas en contenidos específicos (en este caso IoT), sin embargo se logra evidenciar que los encuestados califican como relevante el estudio de IoT como beneficio para su perfil profesional y de gran relevancia en el proceso de incorporar laboratorios de este tema en asignaturas TIC.

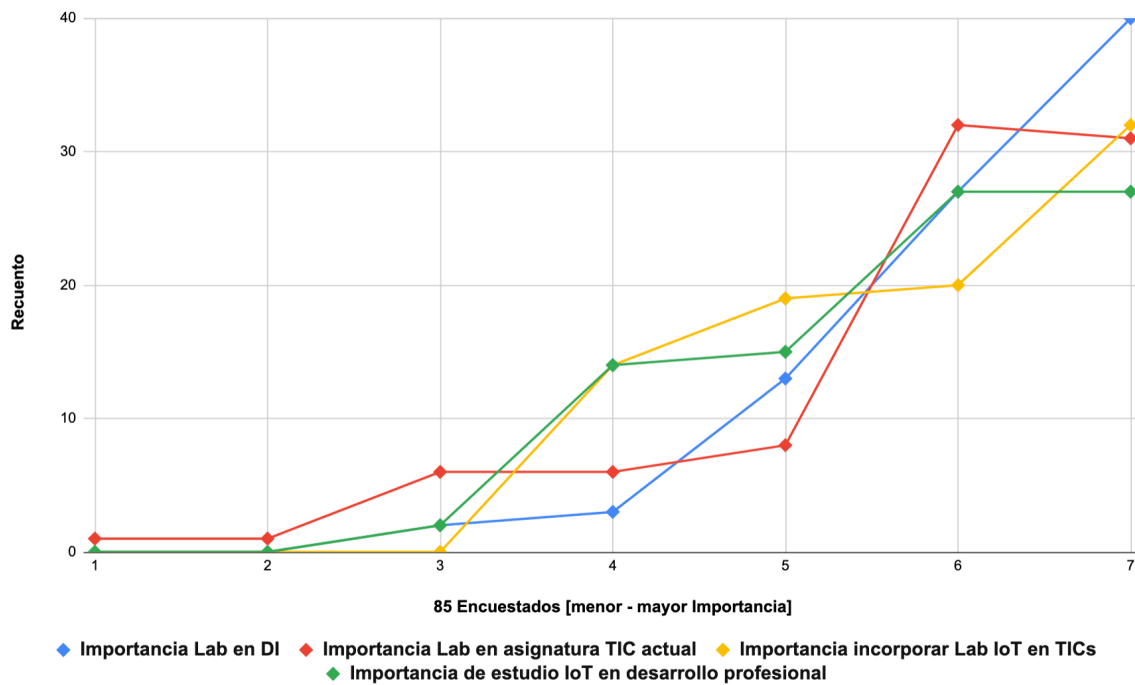


Figura 4: Scatter Plot Encuesta Inicial.  
Fuente: Elaboración propia.

<sup>2</sup><https://www.simplypsychology.org/likert-scale.html>

## **1.2. SOLUCIÓN PROPUESTA**

Considerando los antecedentes descritos, las causas del problema, sus consecuencias y los resultados de la encuesta inicial, se puede observar un déficit de experiencias prácticas de laboratorio en el Departamento de Informática de la UTFSM, en particular, experiencias destinadas a cumplir los resultados de aprendizaje en asignaturas TIC. Por lo anterior y sumando el auge que ha tenido IoT como nuevo paradigma de estudio en informática, se propone como objetivo general de este proyecto de memoria, el diseño y evaluación de tres experiencias prácticas de laboratorio destinadas a estudiantes de pregrado con temática centralizada en el aprendizaje IoT. Dichas experiencias deben respetar un marco de trabajo especialmente diseñado para el aseguramiento de la calidad y el estado del arte IoT, teniendo métodos de evaluación acordes al modelo educativo UTFSM y estableciendo criterios de aceptación para poder validar correctamente las experiencias a diseñar. De esta manera se conseguirá mitigar la falta de experiencias prácticas, la necesidad de mejora del proceso enseñanza-aprendizaje y se podrá entregar un respaldo documental que sirva como base para la construcción de nuevas experiencias prácticas de laboratorio en el Departamento de Informática de la UTFSM.

## **1.3. OBJETIVOS**

### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Diseñar y evaluar tres experiencias de laboratorio para alumnos de pregrado utilizando sensores inalámbricos.

### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Proponer un marco de trabajo que considere los contenidos temáticos de cada experiencia de laboratorio, el tiempo estimado de trabajo y su relación con el plan de desarrollo del Departamento de Informática.
2. Diseñar tres experiencias de laboratorio considerando el marco de trabajo previamente justificado mediante la comparación con experiencias de laboratorio previas y la retroalimentación otorgada por stakeholders.
3. Implementar tres experiencias de laboratorio simulando condiciones reales bajo el contexto de IoT, explicitando el método de evaluación, rúbricas asociadas y resultados de aprendizaje.
4. Validar las experiencias de laboratorio implementadas considerando los resultados obtenidos de la fase de implementación, feedback experto y encuestas de opinión.

## 1.4. METODOLOGÍA DE TRABAJO Y HERRAMIENTAS UTILIZADAS

### 1.4.1. METODOLOGÍA DE TRABAJO

Teniendo en cuenta que el diseño de las experiencias prácticas de laboratorio es un proceso de alto impacto y que requiere una confiable base teórica para el aseguramiento de la calidad, es necesario poder establecer una metodología de trabajo estricta y que considere la mayor cantidad de involucrados en las distintas etapas del proceso. Para lo anterior, se utilizará como base metodológica las recomendaciones descritas por [Sampieri y Collado, 2006], específicamente los procesos de investigación mixta, resultando en el siguiente desglose de etapas ejecutadas de forma consecutiva:

#### I DETERMINACIÓN DEL ESTADO DEL ARTE

Es necesario poder definir el estado del arte de todas las áreas involucradas. Proporcionar una base teórica como respaldo para los contenidos a evaluar en cada una de las experiencias. Identificar las potenciales ventajas que posee una determinada tecnología en favor de facilitar el proceso de implementación y asegurar los resultados de aprendizaje. Documentar el *hardware* necesario para el desarrollo de las experiencias e identificar los beneficios de estos dispositivos por sobre sus competidores.

#### II CREACIÓN DEL MARCO DE TRABAJO

El objetivo central de esta etapa es poder asegurar la calidad de las experiencias prácticas a diseñar, estableciendo reglas, alcances y métodos de evaluación acordes al contexto en el cual se desarrollarán dichas experiencias. En este punto, se debe obtener una lista de principios genéricos que sirvan como *checklist* de calidad a la hora de considerar una experiencia lista para su implementación. Es importante incluir la base teórica analizada en el estado del arte para crear un marco de trabajo *ad hoc* y que se adapte al contexto de implementación.

#### III DISEÑO DE EXPERIENCIAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO

Teniendo claro el marco de trabajo y los contenidos teóricos a evaluar, se procede a crear el enunciado principal de cada experiencia teniendo enfoque en los resultados de aprendizaje que se obtendrán en el desarrollo de cada ejercicio y su relación con el objetivo principal. De la misma manera, se detalla la estrategia de evaluación y el comportamiento esperado por cada ejercicio. La fase de diseño termina con un breve análisis de cada experiencia y su grado de cumplimiento con el marco de trabajo.

#### IV IMPLEMENTACIÓN FORMAL

En esta etapa se comienza definiendo la estrategia global de implementación, con el fin de poder asegurar una puesta en marcha en las mejores y más igualadas condiciones posibles entre cada una de las experiencias. Del mismo modo, se deben detallar los mecanismos de obtención de *feedback*, recopilación de observaciones detectadas en el

proceso de implementación y los factores de riesgo que pueden impactar negativamente en los objetivos de cada experiencia.

## V VALIDACIÓN Y CORRECCIÓN DE FEEDBACK

En esta última etapa se analizan los resultados obtenidos en la fase de implementación, teniendo enfoque en el *feedback* proporcionado por los participantes en la encuesta de salida y las observaciones registradas por el ayudante a cargo de la implementación. Igualmente, se debe analizar los resultados obtenidos en los desarrollos proporcionados por cada participante y obtener medidas cuantitativas que ayuden a decidir objetivamente la validez de cada experiencia implementada. Esta fase culmina en un proceso de mejora continua, corrigiendo el *feedback* obtenido en cada experiencia.

### 1.4.2. HERRAMIENTAS UTILIZADAS

Para el correcto desarrollo de este proyecto de memoria se requiere contar con una placa de desarrollo con sensores integrados que tenga la capacidad de poder ser programable y configurable con el fin de satisfacer las necesidades de cada experiencia a implementar. En general, se utiliza la placa de desarrollo Arduino Nano 33 BLE Sense <sup>3</sup>, como *hardware* central para la creación de experiencias prácticas de laboratorio bajo el contexto IoT. Además, se utiliza el software Arduino IDE <sup>4</sup> como entorno de desarrollo basado en el lenguaje de programación C++.

## 1.5. ALCANCES Y ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO

### 1.5.1. ALCANCES

El diseño de experiencias prácticas de laboratorio bajo el contexto IoT comienza con un proceso de indagación, contraste y respaldo teórico para la construcción del marco de trabajo global, pasando por las fases de implementación, validación y, finalmente, corrección del *feedback* obtenido por los estudiantes.

La implementación de las experiencias utilizando placas de desarrollo diferentes a la documentada en este escrito queda fuera del alcance de este trabajo, así como también, el uso de *software* alternativo a los descritos en este escrito.

El uso de plataformas necesarias en cada experiencia considera la última versión disponible a la fecha de presentación de este trabajo.

---

<sup>3</sup><https://docs.arduino.cc/hardware/nano-33-ble-sense>

<sup>4</sup><https://www.arduino.cc/en/software>

En términos globales, se espera que el desarrollo de experiencias de laboratorio utilizando sensores inalámbricos genere resiliencia en asignaturas TIC del Departamento de Informática que busquen experiencias prácticas en el área de IoT. En particular, la implementación de las experiencias en desarrollo para la asignatura Redes de computadores beneficiará alrededor de 70 alumnos por año, sólo considerando el campus San Joaquín. Cabe considerar que al primer semestre del año 2021 este campus no posee el *hardware* necesario para hacer actividades prácticas con tecnologías actuales.

### 1.5.2. ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO

El presente escrito posee una taxonomía basada en cinco capítulos, los cuales se complementan para satisfacer el objetivo general y objetivos específicos de este proyecto de memoria. La presente sección se encuentra localizada en el primer capítulo de este escrito, relativo a la introducción del proyecto.

El segundo capítulo abarca el marco teórico del proyecto, teniendo enfoque en el estado del arte del paradigma IoT y toda la documentación necesaria que entregue valor a las siguientes etapas del proyecto. Naturalmente, esta sección sienta las bases para determinar los contenidos teóricos a considerar en el diseño de cada experiencia práctica de laboratorio, además de proporcionar documentación necesaria para el correcto uso de la placa de desarrollo en uso.

El tercer capítulo de este escrito está destinado a la propuesta de solución del proyecto de memoria. En este apartado se entregan las reglas para el aseguramiento de la calidad resumidas en el marco de trabajo; se detallan las decisiones de diseño por cada experiencia y se finaliza con las propuestas de experiencias prácticas de laboratorio pre fase de implementación.

El cuarto capítulo se dedica a validar la solución propuesta en el capítulo anterior, creando una fase de implementación formal que termina en la obtención de *feedback* y su posterior corrección. Los criterios de validación también se detallan en esta sección.

El quinto capítulo resume las conclusiones del proyecto de memoria y el trabajo futuro identificado por el autor. De esta manera, se consigue determinar si los objetivos propuestos en la sección de introducción tienen suficiente sustento para poder finalizar con éxito este proyecto de memoria.

## CAPÍTULO 2

### MARCO CONCEPTUAL

El principal objetivo de este capítulo es presentar una base conceptual que permita precisar y delimitar los principales conceptos relacionados al Internet de las cosas (IoT), documentar el funcionamiento del *hardware* utilizado en el diseño de las experiencias prácticas y establecer las potenciales ventajas de IoT en la industria TIC. Inicialmente, se entrega el orden semántico y el alcance de lo que se entiende como IoT. Luego, se define una serie de conceptos que serán utilizados como marco teórico para el desarrollo de experiencias de laboratorio, teniendo un enfoque en protocolos de comunicación y arquitecturas existentes en el área IoT.

#### 2.1. IoT: INTERNET DE LAS COSAS

El concepto de Internet de las cosas (IoT), o en su relativo al inglés *Internet of Things*, fue propuesto inicialmente en el año 1999 por Kevin Ashton, en el laboratorio <sup>5</sup> Auto-ID del MIT, donde se encontraba presentando sus avances para un sistema de sensores e identificadores vía radiofrecuencia, lo que se conoce hoy en día como tecnología RFID.

En términos generales, el paradigma Internet de las cosas, en adelante IoT, hace referencia a la interconexión de objetos heterogéneos de uso cotidiano vía Internet [Sethi y et al, 2017]. Estos objetos poseen la característica de cumplir una funcionalidad específica y modular, proporcionando estadísticas de su comportamiento y su interacción con el entorno vía Internet.

La forma como estos objetos extraen los datos es a través de sensores incorporados en el mismo diseño de estos, conformando un sistema embebido que dota de inteligencia al objeto conectado a Internet.

La ventaja del uso de un sistema embebido es la capacidad de generar datos de forma continua y bajo una base temporal, permitiendo incorporar tecnologías y paradigmas que mejoren el rendimiento de un sistema a gran escala. Tal puede ser el caso de *Big Data*, la cual hace referencia a datos que exceden la capacidad de procesamiento de los sistemas de base de datos convencionales. Los datos son muy grandes, se mueven muy rápido o no encajan en la estructura de las arquitecturas de las bases de datos. [Wilder-James, 2012]

En la práctica, IoT es conocido como un paradigma que integra numerosas tecnologías, tal es el caso de redes de sensores inalámbricos, *RFID*, *Cloud*, *Edge computing*, *Big Data*, entre otras. Los dispositivos IoT cuentan con sensores y actuadores que permiten interactuar con el medio físico. Los datos recolectados por estos sensores, se deben almacenar y procesar, por

---

<sup>5</sup><https://autoid.mit.edu>

lo que es vital incorporar tecnología en la nube con el fin de desacoplar el funcionamiento del dispositivo con el procesamiento de datos. Lo anterior, permite la construcción de sistemas embebidos dedicados y de bajo costo.

Según la empresa Gartner [Laurence, 2020], revela que para el año 2023 el 47 % de las organizaciones aumentarán las inversiones en IoT a pesar del impacto de COVID-19, aludiendo que las implementaciones IoT les permiten tener indicadores claves (KPI) más precisos y confiables.

### 2.1.1. PILARES FUNCIONALES

La Figura 5 resume los pilares funcionales presentes en IoT. Poder detallar los principios base que rigen en IoT permite comprender de mejor manera el rol que ocupa este paradigma en el diseño de sistemas complejos y sus potenciales beneficios, teniendo como enfoque mejorar la calidad de vida de los usuarios del sistema. Por lo anterior, es necesario definir los pilares IoT dentro de un contexto funcional.

#### I DETECCIÓN Y ACTUACIÓN

La acción de capturar y recolectar datos del entorno es el principal objetivo de este pilar IoT. Cumple dicha función utilizando una amplia variedad de sensores configurables según la necesidad del sistema en desarrollo [Sehrawat y Gill, 2019]. En la actualidad, se pueden encontrar sensores que capturan magnitudes acústicas, químicas, biológicas, térmicas, climatológicas, entre otras. Los datos capturados deben ser procesados en favor de mejorar la toma de decisiones, sin embargo, es importante mencionar que cada tipo de sensor puede poseer sus propios requisitos de configuración y adaptación al entorno. Para mitigar lo anterior, la IEEE ha creado el protocolo IEEE1451 conocido como el conjunto de protocolos inteligentes para transductores (Convertidor) [Chi y Yan, 2014].

#### II IDENTIFICACIÓN

Un dispositivo IoT (objetos o thing) es considerado la unidad central de captura de datos, las principales fuentes de relación con el entorno y una parte esencial para el diseño de un sistema IoT [Basal y Kumar, 2020]. Por lo anterior, es necesario identificar correctamente cada uno de estos objetos, proporcionando un identificador único e invariable a través del tiempo. Los estándares de identificación más utilizados en IoT corresponden a *Object Identifier (OID)*, *Electronic Product Code (EPC)* y *Universal Unique Identifiers (UUID)* [Al-Fuqaha et al., 2015].

#### III COMUNICACIÓN

La comunicación juega un importante papel en el proceso de intercambio de datos crudos y traspaso de información entre objetos. El principal enfoque de este pilar IoT es establecer una conexión fluida y heterogénea entre dos puntos en cualquier tiempo y lugar.

De esta manera, se puede establecer una comunicación hacia diferentes niveles, como por ejemplo, *Edge to Edge*, *Edge to gateway*, *Edge to Cloud*, entre otros [Yu et al., 2018].

#### IV CÓMPUTO

Las unidades de procesamiento como los microprocesadores y microcontroladores son considerados el cerebro de un sistema IoT [Zikria et al., 2019]. Utilizando softwares adecuados como *TinyOS*, *RIOT*, *Ubuntu Core*, *Raspbian*, etc se puede conseguir un adecuado entorno de implementación IoT. Del mismo modo, el uso de arquitecturas distribuidas compatibles con la nube facilitan el proceso de almacenamiento de datos y análisis, permitiendo crear sistemas ubicuos de múltiple uso [Bierzynski et al., 2017].

#### V SERVICIOS

Desde un enfoque holístico, se puede describir un sistema IoT como un módulo de captura y mapeo de datos directos, minimizando sesgos y fallas de interpretación. Ante esto, es factible poder describir las diversas etapas de un sistema IoT como potenciales servicios, tales como, monitoreo, control de dispositivos, entrega de datos y dispositivos exploratorios.

#### VI ADMINISTRACIÓN

Dentro de un sistema con múltiples objetos, es necesario poder administrar el acceso hacia estos de la mejor forma posible [Umar, 2018]. En el caso del uso de roles para el control de acceso, se debe proporcionar una interfaz de control administrable y jerárquica, de forma que se puedan agregar permisos por cada rol y también obtener un historial de uso y acceso a cada objeto (*thing*). En detalle, se debe proporcionar control de acceso tanto al dispositivo como a los servicios que administran el sistema [Xiaojiang et al., 2020].

#### VII SEGURIDAD

Como la gran mayoría de sistemas de información que trabajan con datos sensibles, un sistema IoT debe proporcionar soluciones seguras y confiables, en específico, se debe enfocar en la seguridad de los dispositivos, sus protocolos de comunicación y los distintos servicios existentes en un sistema IoT [Buenrostro et al., 2018].

La seguridad en dispositivos de captura y mapeo suele enfocarse en el ciclo de vida de estos, proporcionando algoritmos que comprueben desde el encendido del equipo, su funcionamiento y los procesos de actualización de Firmware. Con respecto a la seguridad en la comunicación, es necesario proveer encriptación punto a punto en el traspaso de mensajes, teniendo en cuenta que en la mayoría de los casos se utilizará una tecnología de comunicación inalámbrica [Bonetto et al., 2012]. Por último, pero no menos importante, es necesario proveer control de acceso con roles encriptados en la utilización de servicios IoT, de esta manera se puede evitar el uso de sesiones duplicadas y ataques desde clientes externos.

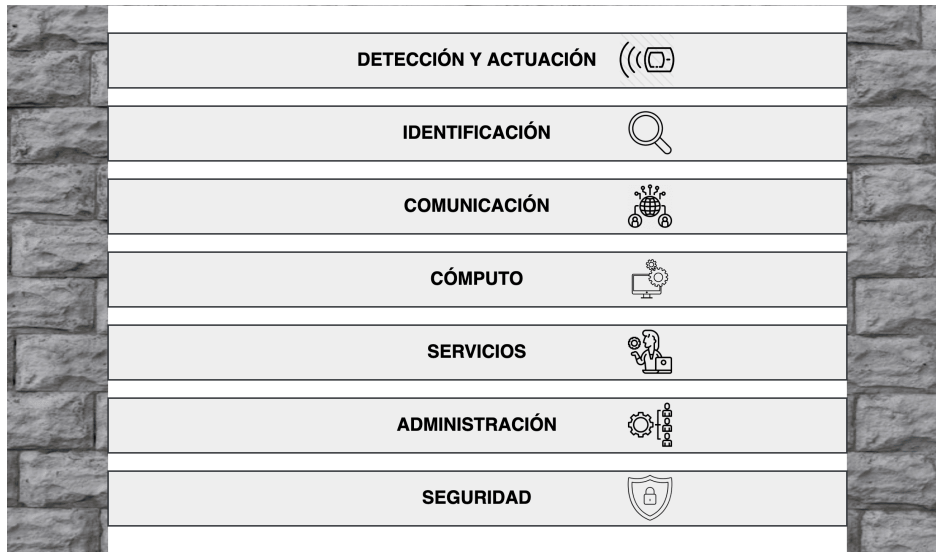


Figura 5: Pilares IoT.  
Fuente: Elaboración propia.

### 2.1.2. DESAFÍOS

Es natural pensar que la instauración de nuevos paradigmas obliga a asumir nuevos desafíos dentro de un área de conocimiento. En este contexto, en IoT se logran identificar una serie de factores que derivan en la necesidad de actualizar el funcionamiento de tecnologías en uso y la creación de nuevos protocolos con el fin de asegurar la calidad, la seguridad y el rendimiento de los sistemas IoT a implementar. A continuación se detallan requisitos y desafíos que IoT demanda para el área en estudio.

#### I INTEROPERABILIDAD

Considerando que en un sistema IoT existen múltiples dispositivos heterogéneos en términos del uso de diferentes protocolos, estándares de comunicación y tecnologías; es un importante desafío poder lograr la interoperabilidad de estos objetos (*things*) de forma que se obtenga un intercambio de información eficaz y que desacople los requisitos de funcionamiento interno de cada dispositivo [Ullah *et al.*, 2017]. La interoperabilidad debe considerarse en cada capa de diseño del sistema IoT, ya que se estima que aproximadamente el 47 % de los problemas de compatibilidad pueden ser resueltos si un sistema IoT obtiene una interoperabilidad total, logrando satisfacer las expectativas de los usuarios del sistema [IoT, 2019].

Las posibles causas que han otorgado a la interoperabilidad la calidad de desafío en IoT se deben al grado de disponibilidad de dispositivos heterogéneos en el comercio, el rápido desarrollo de aplicaciones IoT y la falta de estandarización en cada capa del sistema IoT [Tiele *et al.*, 2018].

## II ADMINISTRACIÓN

El creciente aumento de dispositivos IoT conectados de forma concurrente a Internet crea el desafío de modificar estrategias de identificación y transferencia de datos vía Internet, específicamente considerando el *stack* de tecnologías disponibles. La cantidad de direcciones IP disponibles en IPv4 no son suficientes para satisfacer la cantidad de dispositivos IoT conectados, provocando que las tecnologías en desarrollo, en particular las enfocadas en la comunicación en red, se tengan que adaptar al protocolo IPv6. De igual manera, se hace necesario proveer estrategias de monitorización de los dispositivos IoT en uso, ya que una posible falla en la captura y mapeo de datos puede provocar serios problemas en el procesamiento e interpretación de los datos generados. Ante esto, se propone como desafío la correcta administración de los dispositivos, los datos generados y los métodos autodiagnósticos dentro de un sistema IoT [Alliance, 2016].

## III CALIDAD DE SERVICIO (QoS)

El objetivo principal de este desafío es satisfacer los requisitos extra funcionales asociados a un sistema IoT, los cuales es mayor medida son establecidos por los desarrolladores y usuarios del sistema. En términos globales, se puede entender que la calidad de servicio (QoS) en IoT administra las capacidades y recursos disponibles del sistema optimizando los servicios en cada momento, sin perder eficacia. Por lo anterior, se dice que QoS ayuda a los desarrolladores en el proceso de crear un servicio con enfoque a las necesidades del cliente [Singh y Baranwal, 2018].

Dentro de los principales requisitos QoS que se pueden identificar en un sistema IoT, se pueden mencionar el grado de movilidad que debe tener un dispositivo IoT para su funcionamiento, especialmente si se desea extraer datos de sensores como *smartphones*, *laptops*, *robots*, *drones*, *entre otros*. La calidad de servicio en este caso debe estar enfocada en mantener la calidad de la conexión en óptimas condiciones y asegurar mecanismos de tolerancias a fallas en caso de eventos negativos [Montrucchio *et al.*, 2018]. De manera similar, la disponibilidad de los distintos componentes del sistema debe ser asegurada con una alta tasa de precisión, especialmente para aquellos sistemas IoT que se utilicen como aplicaciones críticas (salud, clima, sismos, etc).

Por último pero no menos importante, se necesita crear sistemas IoT confiables y escalables, ya que la creciente incorporación de nuevos sensores en el tiempo es casi un hecho en este tipo de paradigma. Las tecnologías *Cloud* y la arquitectura distribuida son de gran ayuda para resolver problemas asociados a la confiabilidad y escalabilidad horizontal de un sistema IoT [Arellanes *et al.*, 2019].

## IV SEGURIDAD Y PRIVACIDAD

El hecho de que los dispositivos IoT implementen actuadores para compartir datos recurrentes de origen particular vía Internet, provoca que la seguridad y privacidad sean relevantes para asegurar un correcto procesamiento de datos y la creación de reportes de interés. En este punto, es vital considerar arquitecturas IoT que implementen protocolos de seguridad y privacidad de los datos.

Debido al reciente desarrollo del paradigma IoT, en comparación con sus pares, se evidencia un déficit de estándares que implementen capas de seguridad entre distintas aplicaciones y dispositivos. El éxito de toda tecnología depende en última instancia de la elaboración de estándares mundiales interoperables. Según el foro de gestión de servicios de TI español [ITSM4IoT, 2021] “La estandarización es una de las partes más críticas de la evolución de IoT”.

### 2.1.3. ARQUITECTURA

El principal objetivo de definir una arquitectura en este paradigma es poder identificar la taxonomía de características que determinan el funcionamiento de un sistema con base en IoT. Se desacopla la complejidad técnica de los distintos protocolos y tecnologías en estudio, para comprender de forma simplificada el funcionamiento del sistema.

En IoT una arquitectura es definida por capas, la cual engloba todas las características propias del paradigma en estudio. La Figura 6 resume las arquitecturas IoT de tres y cinco capas, las cuales se diferencian entre sí solamente en los niveles de la capa de aplicación, de la misma forma que se diferencian los modelos IP y OSI en la arquitectura de Internet.

Estos modelos arquitectónicos muestran las principales categorías que un sistema IoT implementa, siendo la capa de percepción aquella de más bajo nivel y la capa de aplicación la que se encuentra más cerca al usuario. A continuación, se entrega en mayor detalle las principales características de cada capa.

#### I CAPA DE PERCEPCIÓN (PERCEPTION LAYER)

En esta capa se encuentran el conjunto de objetos (*things*) que tienen como principal objetivo servir como intermediarios entre el entorno y el mundo digital, para esto utiliza distintos tipos de sensores. En general, la idea de percepción resume la necesidad de capturar lo más fielmente posible el entorno de exploración bajo las condiciones y requisitos dados por las capas superiores del sistema IoT. Las características principales a tener en cuenta en esta capa son la forma de identificación de objetos, la administración de los datos capturados (mapeo) y los respectivos mecanismos de seguridad y protección de datos crudos [Ostermainer, 2015].

#### II CAPA DE TRANSPORTE (TRANSPORT LAYER)

Como se puede deducir de su nombre, esta capa se enfoca en conectar los dispositivos IoT con aquellos servicios y/o estaciones base que necesiten los datos recopilados. En la mayoría de los casos se utilizan estándares de comunicación inalámbricos, por ende, es necesario considerar protocolos que reduzcan el consumo de energía en el traspaso de datos, implementen estrategias de calidad de servicio (QoS) y se adapten a las diferentes topologías de red [Goyal, 2018].

### III CAPA DE ADMINISTRACIÓN DE SERVICIO (SERVICE MANAGEMENT LAYER)

Esta capa es considerada un *middleware* entre la capa de transporte y la capa de aplicación, la cual tiene como principal objetivo facilitar el uso de dispositivos heterogéneos dentro del sistema IoT. Esta capa realiza un procesamiento inicial de los datos crudos obtenidos en la capa de percepción, por lo que debe trabajar con grandes volúmenes de datos, de varios tipos y orígenes [Goyal, 2018].

### IV CAPA DE APLICACIÓN (APPLICATION LAYER)

Según el modelo A de la Figura 6, la capa de aplicación se sitúa en el nivel más alto dentro de un sistema IoT. Por ende, es necesario proveer servicios específicos a los usuarios, además de otorgar la posibilidad de desarrollar protocolos de alto nivel que permitan ejecutar tareas automatizadas y de inteligencia artificial. La idea central es dar valor a los datos capturados, mapeados y procesados para mejorar el bienestar de los usuarios del sistema IoT.

### V CAPA DE NEGOCIO (BUSINESS LAYER)

Esta capa exclusiva del modelo B, se enfoca en las operaciones y servicios IoT que entregan valor al negocio. Empleando estrategias de inteligencia de negocios para resumir los datos generados de la forma más visual posible, por ejemplo, generando modelos de negocio, gráficos de flujo y análisis de rendimiento obtenidos en las capas de nivel inferior.

En general, esta capa tiende a enfocarse en analizar, monitorizar y evaluar el sistema IoT y sus componentes [Al-Fuqaha *et al.*, 2015].

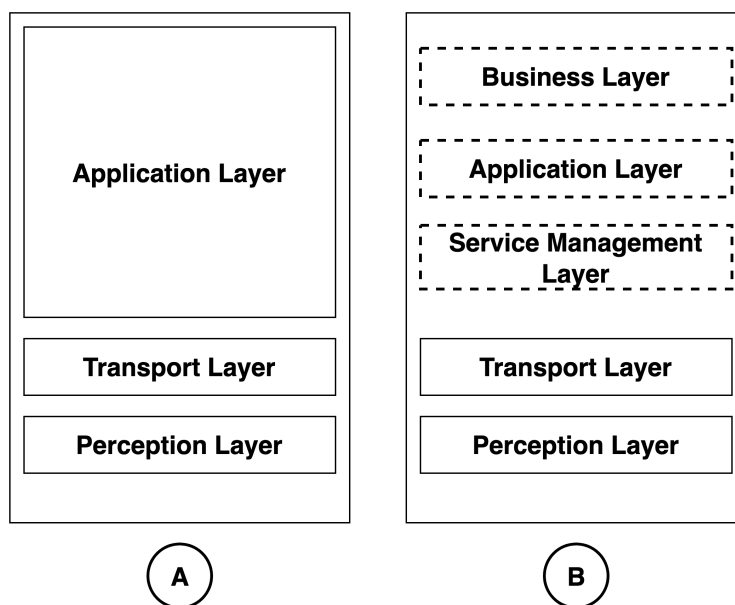


Figura 6: Arquitecturas IoT de 3 y 5 capas.  
Fuente: [Zhong *et al.*, 2015], [Goyal, 2018].

#### 2.1.4. PROTOCOLOS CAPA DE TRANSPORTE

El principal objetivo de un protocolo de comunicación es entregar un conjunto de reglas que permiten a dos o más dispositivos poder comunicarse entre sí con el fin de intercambiar información. En el contexto IoT la tecnología inalámbrica es fundamental para dotar de “inteligencia” y omnipresencia en la comunicación desde y hacia Internet. Es por lo anterior que es necesario definir redes de sensores inalámbricos como una tecnología que dota de escalabilidad al sistema IoT.

A continuación se procede a detallar los protocolos de comunicación con base *wireless* y que son compatibles con Internet.

##### I WIFI

WIFI (*Wireless fidelity*) es una tecnología que se utiliza para conectar dispositivos de forma inalámbrica bajo las condiciones del estándar IEEE 802.11. Este estándar es el más utilizado para la conexión de dispositivos a corta distancia. El uso más frecuente es para establecer la conexión entre dispositivos portátiles a Internet teniendo como base un punto de acceso que se conoce como *access point*. La principal ventaja de esta tecnología es entregar una conexión de red sin la necesidad de cables, ya que la emisión y recepción de datos se realiza a través de radiofrecuencia. En la actualidad existen diferentes frecuencias de uso pero la más conocida es la implementada por el estándar IEEE 802.11b [IEEE, 2022], la cual opera en la banda de radiofrecuencias de 2.4 GHz, más conocida como “banda basura” por ser de libre acceso y de múltiple uso por parte de objetos cotidianos como microondas o teclados inalámbricos.

##### II ZigBee

Es una tecnología de redes inalámbricas desarrollada por la empresa ZigBee Alliance <sup>6</sup> cuyo objetivo es facilitar la instalación, transferencia de datos y operación en red de corto alcance, teniendo en cuenta una implementación a bajo costo y duración de batería razonable. Funciona en velocidades de transferencia entre 20 Kbps y 250 Kbps, abarcando rangos omnidireccionales de entre 10 a 75 metros. Al igual que WIFI utiliza las “banda basura”, siendo 2.4 GHz para Latinoamérica, 868 MHz para Europa y 915 MHz para EEUU. Una de las más interesantes ventajas de ZigBee es el diseño pensado en el bajo costo y poco consumo de recursos, ideal para un sistema IoT.

##### III BLUETOOTH

El estándar Bluetooth <sup>7</sup> posibilita la transmisión de datos entre diferentes dispositivos utilizando la banda de radiofrecuencia en el rango de 2.4-2.485 GHz. Esta tecnología busca una conexión inalámbrica de dispositivos considerando un corto alcance. Posee la posibilidad de crear redes inalámbricas de corto alcance (WPAN) y de sencilla configuración,

---

<sup>6</sup><https://zigbeealliance.org/es/solution/Zigbee/>

<sup>7</sup><https://www.bluetooth.com>

por lo que se entiende su popularidad en dispositivos de uso cotidiano *smartphones*, *tablets*, *mouse inalámbricos*, *teclados*, *etc.*. Sin embargo, la tasa de transferencia de datos es considerablemente menor a sus pares, siendo incluso más baja que los antiguos dispositivos infrarrojos. En Bluetooth v1.2 sólo se pueden obtener velocidades de transferencia de hasta 1 [Mbps].

#### IV BLUETOOTH LOW ENERGY (BLE)

BLE (Bluetooth Low Energy | Bluetooth de baja energía) es una tecnología inalámbrica diseñada en 2011 con el fin de utilizarse como medio de comunicación de corto alcance. En la actualidad existen múltiples tipos de dispositivos que utilizan esta tecnología como principal medio de envío y recepción de datos. Su frecuencia de funcionamiento se sitúa en la banda de 2.4 [GHz] al igual que las redes WiFi y la versión de Bluetooth Clásica (BC).

En términos de características, se puede mencionar que *Bluetooth Low-Energy (BLE)* busca reducir el consumo de energía comparado al estándar de Bluetooth clásico (BC), sin embargo, existe un tradeoff en BLE, ya que reduce el consumo de energía aceptando transmisión de pequeñas cantidades de datos, con tiempos de transmisión considerablemente menores al estándar clásico. Lo anterior, permite un funcionamiento de largo plazo (*meses*) con sólo el uso de una batería convencional, convirtiendo esta tecnología de uso ideal para el transporte de datos desde la capa de percepción en un sistema IoT [Jeon *et al.*, 2018].

#### V RFID

RFID (*Radio frequency Identification*) es un método de comunicación utilizado para el rastreo e identificación de objetos de forma inalámbrica, muy parecido a los códigos de barras pero con la ventaja de que las etiquetas se pueden actualizar, cambiar y bloquear. Un aspecto importante a considerar es que dentro de RFID existe un protocolo de comunicación conocido como NFC (Near field communication) utilizado para transacciones comerciales seguras y pagos utilizando el dispositivo móvil. Las transmisiones NFC son de corto alcance (pocos centímetros).

#### VI LoRaWAN

A diferencia de las tecnologías descritas anteriormente, LoRaWAN es considerada como una *Low Power Wide Area Network (LPWAN)*, lo que permite la creación de sistemas IoT con dispositivos conectados a kilómetros de distancia [Kim y Song, 2018]. Específicamente, LoRaWAN es el estándar de comunicación implementado por la tecnología LoRa (Long Range) que utiliza la teoría de modulación electromagnética para lograr la transmisión de datos entre puntos de gran distancia. En términos de tasa de transferencia de datos se puede mencionar que para lograr una velocidad de 50 [Kbps] se debe situar los dispositivos IoT a una distancia de 5 [Km] en áreas urbanas y 20 [Km] en áreas rurales. En Chile, la frecuencia de funcionamiento de LoRa es de 915 [Mhz] [Mekki *et al.*, 2018].

### 2.1.5. PROTOCOLOS CAPA DE APLICACIÓN

Poder definir protocolos para la capa de aplicación dentro de un sistema IoT permite adaptar el comportamiento de los dispositivos conectados y proporcionar funcionalidades que respalden las características proporcionadas en la sección de arquitectura IoT. A continuación se presentan protocolos estandarizados que se usan en la capa más cercana al usuario.

#### I HTTP

El protocolo de transferencia de Hipertexto HTTP es utilizado como protocolo principal de la capa de aplicación en el modelo IP. Su objetivo es acceder a la información y realizar actualizaciones bajo una arquitectura cliente-servidor, permitiendo un enfoque de transferencia orientado a recursos (REST), muy utilizado en el despliegue de páginas web para compartir la comunicación mediante URIs [Arrow, 2015].

#### II MQTT

El Transporte de telemetría de cola de mensajes (MQTT) es un protocolo de código abierto que se desarrolló para redes de bajo ancho de banda, alta latencia o poco confiables. Es un transporte de mensajería de tipo *publish-subscribe* que es ligero e ideal para conectar dispositivos pequeños a redes con bajo ancho de banda. MQTT es independiente de los datos y tiene reconocimiento de sesión continua, porque usa TCP/IP. Tiene la finalidad de minimizar los requerimientos de recursos del dispositivo y, a la vez, tratar de asegurar la confiabilidad y cierto grado de seguridad de entrega con calidad del servicio [Arrow, 2015].

#### III Thread

Thread es un protocolo de red con características de seguridad y de bajo consumo energético, las cuales lo hacen ideal alternativa para conectar dispositivos del hogar con respecto a otras tecnologías. Fue desarrollado por el grupo Nest4<sup>8</sup> utilizando el estándar IEEE 802.15.4 y 6LowPAN, como en el caso de la mayoría de los protocolos, thread funciona en la banda de los 2.4 [GHz].

#### IV CoAP

El CoAP (Constrained Application Protocol) está semánticamente alineado con HTTP e, incluso, tiene asignaciones uno a uno hacia y desde HTTP. CoAP puede ser un protocolo apropiado para dispositivos que operan con batería. Aborda completamente las necesidades de un protocolo extremadamente ligero y con la naturaleza de una conexión permanente. Tiene conocimiento semántico de HTTP y es RESTful [Arrow, 2015].

En la actualidad se pueden encontrar múltiples formas para implementar una arquitectura IoT, las cuales según las reglas del negocio se ven más o menos eficientes. Lo importante es conocer los potenciales de cada estándar de comunicación y su grado de compatibilidad con los sistemas de procesamiento de nivel superior. Para lo anterior, la

---

<sup>8</sup><https://www.threadgroup.org>

Figura 7 resume el stack de protocolos separados por capas dentro de una arquitectura IoT. Observar que algunos estándares son transversales para ciertas capas, lo cual podría ser beneficioso para el rápido desarrollo de soluciones IoT.

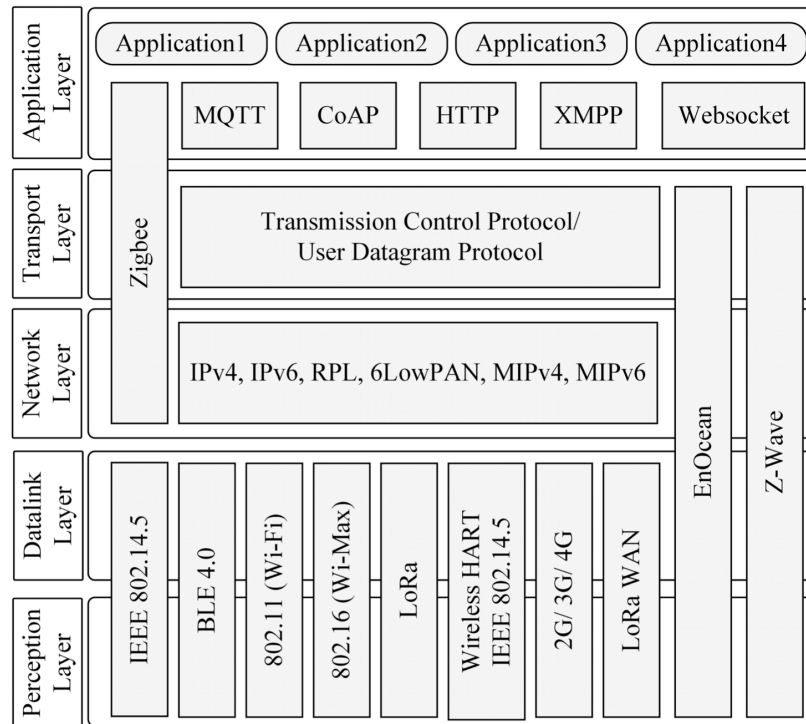


Figura 7: Stack de protocolos IoT

Fuente: [Glaroudis et al., 2020]

## 2.2. SENSORES INALÁMBRICOS

Un objeto (*thing*) es considerado en IoT la unidad base para la extracción y mapeo del entorno en exploración, por ende, estudiar las características globales de estos dispositivos es una gran ventaja a considerar cuando se diseña un sistema IoT. La cualidad de ubicuidad, heterogeneidad y concurrencia descrita en los desafíos IoT, permiten inferir que un dispositivo compuesto de uno o más sensores debe adaptarse a los cambios de su entorno con espacios reducidos, de aquí se origina la necesidad que los sistemas IoT utilicen tecnologías de comunicación inalámbricas para la capa de percepción.

Considerando la constante evolución y surgimiento de nuevas tecnologías que buscan satisfacer los requisitos de la industria TIC, es necesario contar con sistemas programables y que se adapten al cambio. Para lo anterior, actualmente existen soluciones de *hardware* que concentran y permiten reutilizar sensores internos en función de las necesidades del sistema, alargando la vida útil de estos sin desacoplar la calidad de servicio requerida.

### 2.2.1. PLACAS DE DESARROLLO

Las placas de desarrollo IoT, también conocidas como *IoT Boards*, son dispositivos que cuentan con un microcontrolador programable que puede ejecutar instrucciones en función de los requisitos del sistema IoT. En general, son placas de circuito impreso (PCB) que incorporan sensores de múltiple uso con la posibilidad de interactuar con otros conectados de forma *plug and play*.

El principal objetivo de una placa de desarrollo es proveer el *hardware* necesario para facilitar el desarrollo de un sistema IoT sin perder el grado de complejidad que pueda tener un determinado proyecto. Lo anterior justifica su utilización en el marco de aprendizaje y creación de experiencias prácticas de laboratorio. Un aspecto importante a destacar es su bajo costo comparado con placas de desarrollo diseñadas para otras tecnologías y necesidades, como por ejemplo, entornos de aprendizaje LoRa.

### 2.2.2. ARDUINO NANO 33 BLE SENSE

Arduino <sup>9</sup> es una compañía de desarrollo de software y hardware que busca satisfacer las necesidades de los desarrolladores TIC desacoplando los requisitos de compatibilidad en el proceso de diseño y creación de nuevas soluciones. Específicamente, trabaja en el diseño de placas *Single Board Computer* (SBC) que pueden funcionar como placas de expansión otorgando nuevas capacidades a los sistemas ya existentes. Con respecto a IoT, Arduino ha lanzado al mercado la serie Nano 33, la cual busca facilitar el desarrollo de proyectos enfocados en las distintas capas dentro de una arquitectura IoT. Para el estudio de las capas de más bajo nivel, Arduino proporciona la placa de desarrollo *Nano 33 BLE Sense*, la cual posee 5 módulos de sensores incorporados para la extracción y mapeo de datos.

## I ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

La Tabla 1 resume las especificaciones técnicas que ha descrito el fabricante para la placa de desarrollo Arduino Nano 33 BLE Sense. Dentro de las características más relevantes se destacan:

- Fácil y rápida manipulación y captura de datos, gracias a sus dimensiones y peso (18 [mm] x 45[mm]; 5 [g]).
- El microcontrolador nRF52840 permite compilar y ejecutar algoritmos de inteligencia artificial vía *TensorFlow Lite*.
- El módulo NINA-B306 permite emitir y capturar segmentos BLE con una tasa de transferencia efectiva de veinte registros por segundo.

---

<sup>9</sup><https://www.arduino.cc/>

Tabla 1: Especificaciones Técnicas Arduino Nano 33 BLE Sense.  
Fuente: [Arduino, 2022].

| Board           | Name                | Arduino® Nano 33 BLE Sense |
|-----------------|---------------------|----------------------------|
| Microcontroller | nRF52840            |                            |
| USB Connector   | Micro USB           |                            |
| Pins            | Built-in LED Pin    | 13                         |
|                 | Digital I/O Pins    | 14                         |
|                 | Analog input pins   | 8                          |
|                 | PWM pins            | 5                          |
|                 | External interrupts | All digital pins           |
| Connectivity    | Bluetooth           | NINA-B306                  |
| Power           | I/O Voltage         | 3.3V                       |
| Clock Speed     | Processor           | nRF52840 64 MHz            |
| Memory          | nRF52840            | 256 KB SRAM, 1MB Flash     |
| Dimensions      | Weight              | 5gr                        |
|                 | Width               | 18 mm                      |
|                 | Length              | 45 mm                      |

## II SENSORES

La Figura 8 resume la distribución de sensores incorporados en la placa Arduino Nano 33 BLE Sense, en detalle, cuenta con cinco módulos capaces de extraer información de su entorno bajo las categorías de color, brillo, proximidad, voz, movimiento, temperatura, presión y humedad. Además de contar con un módulo BLE para el traspaso de datos de forma inalámbrica y bajo los beneficios de este estándar. A continuación se procede a entregar mayor detalle de las características de cada módulo.

### 1 TEMPERATURA Y HUMEDAD: HTS221

Este módulo incorporado en la placa Arduino Nano 33 BLE Sense captura datos correspondientes a la temperatura y humedad relativa del ambiente. Posee una incertidumbre de  $\pm 0.5$  [°C] y tiene un rango de lectura que le permite capturar valores entre 15-40 [°C] y 0-100% de humedad relativa ambiental. Según los fabricantes, las potenciales aplicaciones de este módulo están en el monitoreo de equipos de calor, aire acondicionado, ventilación, humidificadores, refrigeradores y relojes inteligentes [STLife, 2022a].

### 2 ACELERÓMETRO Y GIROSCOPIO: LSM9DS1

El módulo LSM9DS1 es conocido como una unidad de medida de inercia que obtiene datos relacionados a la aceleración, giro y la variación del campo magnético de la placa Nano 33 BLE Sense. Los valores capturados consideran un entorno tridimensional y una gran ventaja es la posibilidad de ahorrar energía con la desactivación de indicadores innecesarios. Las posibles aplicaciones que puede tener este módulo es para interfaces inteligentes activadas con movimiento (*smartphones*), detección de gestos, control de videojuegos y navegación de ayuda en mapas o geolocalización [STLife, 2022b].

### 3 PROXIMIDAD Y DETECCIÓN DE GESTOS: APDS-9960

APDS-9960 implementa la función de detección de objetos utilizando un fotodiodo incorporado a la placa Arduino Nano 33 BLE Sense. La distancia se calcula con el tiempo de respuesta que se demora una determinada señal entre el envío y recepción, además el sensor incorpora un motor de ajuste y mapeo que filtra señales infrarrojas que puedan producirse por fuentes externas en el proceso de captura. Por otra parte, este módulo es capaz de detectar la intensidad de luz ambiental y la dirección de los gestos que se puedan hacer a una altura fija (izquierda, derecha, arriba, abajo) [Avago, 2022].

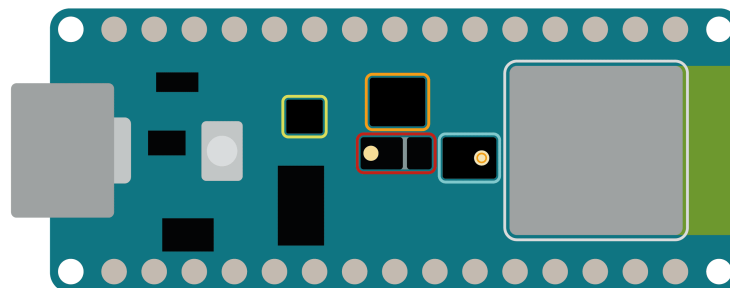
### 4 PRESIÓN BAROMÉTRICA: LPS22HB

LPS22HB emula las funciones de un barómetro para poder mapear la presión atmosférica del lugar considerando un rango entre 260-1260 [hPa]. Este sensor trabaja en un amplio rango de temperaturas, específicamente entre los (-40)-(+85) [°C]. Lo anterior permite utilizar este módulo en sistemas de altitud y barómetros portables, aplicaciones de GPS, estaciones climáticas y relojes inteligentes [STLife, 2022d].

### 5 MICRÓFONO OMNIDIRECCIONAL: MP34DT05

MP34DT05 es un micrófono digital que captura señales sonoras desde todas las direcciones posibles (omnidireccional). El funcionamiento interno del módulo permite transformar los audios capturados en formato PDM (*Pulse Density Modulation*), y de esta forma emplear algoritmos para detectar palabras claves y analizar audios en tiempo real. En términos técnicos, este módulo trabaja con una sensibilidad de  $-26 \pm 3$  [dBFS] (decibelios). Las aplicaciones recomendadas son para *smartphones*, *notebooks*, *speech recognition*, *VR*, etc [STLife, 2022c].

NANO 33 BLE SENSE



- ◆ Color, brightness, proximity and gesture sensor
- ◆ Digital microphone
- ◆ Motion, vibration and orientation sensor
- ◆ Temperature, humidity and pressure sensor
- ◆ Arm Cortex-M4 microcontroller and BLE module

Figura 8: Sensores Arduino Nano 33 BLE Sense  
Fuente: [Arduino, 2022]

### 2.2.3. ARDUINO NANO 33 IOT

La placa de desarrollo *Arduino Nano 33 IoT* es una alternativa dentro de la serie Arduino Nano diseñada para implementar soluciones IoT que necesiten de una red WIFI para su funcionamiento. Además, esta placa cuenta con un chip criptográfico que permite la rápida conexión con plataformas IoT en la nube, como por ejemplo, AWS IoT. Las principales características asociadas a esta placa se resumen en el siguiente listado:

- Posee un procesador Cortex-M0 de 32-bits que permite ejecutar tareas con bajo consumo de energía considerando *scripts* de hasta 256 [KB].
- El módulo NINA-W102 permite conectar la placa de desarrollo a Internet vía WIFI, para implementar protocolos compatibles desde la capa de aplicación.
- La placa utiliza un *chip* de encriptación para proveer mecanismos de seguridad en el traspaso de mensajes desde y hacia Internet.
- Provee 14 pines digitales para instalar múltiples sensores (no incluidos), además, se incorpora un acelerómetro y giroscopio soldado a la placa (LSM6DS3).

La Figura 9 resume la morfología y el estilo de algunas placas de desarrollo compatibles con el diseño de experiencias prácticas de laboratorio bajo el contexto IoT. En síntesis, la principal diferencia entre los modelos en análisis se debe al tipo de módulo incorporado y las capacidades de la unidad de control. En el caso de la placa *Arduino Nano 33 IoT* al poseer un módulo WIFI facilita la creación de soluciones en la nube (*Cloud IoT*). *Arduino Portenta H7* cuenta con dos procesadores configurables para ejecutar tareas en paralelo, lo que lo hace ideal para algoritmos de inteligencia artificial que necesiten mejorar su rendimiento en tiempo real. Finalmente, la placa *Pycom LoPy4* incluye módulos adaptados para el traspaso de mensajes a larga distancia, implementando tecnologías de comunicación con base LoRa.



Figura 9: Placas de desarrollo compatibles para el diseño de experiencias IoT.

Fuente: docs.arduino.cc, www.pycom.io.

## CAPÍTULO 3

### PROPUESTA DE SOLUCIÓN

La presente sección enfoca sus esfuerzos en entregar los principales antecedentes que describen la solución del autor para contrastar la falta de experiencias de laboratorio bajo el contexto IoT en el Departamento de Informática de la UTFSM. Se comienza con los fundamentos que motivan a proponer la solución descrita, para luego poder determinar un marco de trabajo que sentará una base en el diseño a posteriori de tres experiencias prácticas de laboratorio bajo el contexto IoT.

#### 3.1. FUNDAMENTOS

Considerando los antecedentes, descripción del problema y las causas descritas en el capítulo de introducción, se tienen las condiciones de poder entregar los fundamentos que motivan al autor a crear una solución específica y que cumpla con los objetivos planteados para este proyecto de memoria.

En primer lugar, la falta de experiencias de laboratorio relacionadas a IoT es el contexto principal que se debe considerar para obtener una propuesta de solución adecuada, eficaz y eficiente. En este punto, no es complejo identificar que para satisfacer la falta de experiencias es necesario proponer la creación de contenido práctico de aprendizaje relacionado a IoT. Sin embargo, el grado de calidad, la necesidad de adecuarse a los objetivos de aprendizaje, acatar los objetivos específicos de esta memoria y la determinación de los recursos materiales a disposición, son factores claves que obligan a describir en mayor detalle la creación de contenido práctico de aprendizaje ligado a IoT.

Teniendo en cuenta que el tiempo de desarrollo de este proyecto de memoria es acotado y se debe obtener una solución a corto plazo, los esfuerzos deben estar enfocados en crear contenido práctico que logre introducir a nuevos estudiantes de asignaturas TIC en el paradigma IoT. Debido a lo anterior, se propone crear contenido separado en tres etapas, las cuales poseen diferentes bases teóricas y diferentes objetivos de aprendizaje, todas bajo el contexto IoT.

Como primer paso hacia la calidad y los principios de diseño de experiencias de laboratorio IoT, es importante analizar la duración, el grado de esfuerzo y los requisitos teóricos que se considerarán para la correcta propuesta de solución y que permitirá obtener criterios para el proceso de evaluación. Para lo anterior, se decide construir un marco de trabajo que considere las reglas principales a regir en la construcción de cada experiencia de laboratorio IoT, de esta forma, se consigue establecer una base sólida de calidad y un mecanismo que aumente las probabilidades de éxito en la etapa de validación.

Por todo lo anterior y sumando el auge que ha tenido IoT como nuevo paradigma de estudio en informática, se propone como objetivo general de este proyecto de memoria, el diseño y evaluación de tres experiencias prácticas de laboratorio destinadas a estudiantes de pregrado con temática centralizada en el aprendizaje IoT. Dichas experiencias deben respetar un marco de trabajo especialmente diseñado para el aseguramiento de la calidad y el estado del arte IoT, teniendo métodos de evaluación acordes al modelo educativo UTFSM y estableciendo criterios de aceptación para poder validar correctamente las experiencias a diseñar.

## 3.2. MARCO DE TRABAJO

Poder establecer principios de diseño que estén presentes en cada experiencia práctica de laboratorio IoT a implementar, es el principal objetivo del marco de trabajo a desarrollar. Para lograr resumir las principales reglas y crear una base sólida de calidad, es necesario considerar los fundamentos descritos por las principales entidades que acreditan un proceso de aprendizaje. En Chile, la *Comisión Nacional de Acreditación (CNA)* <sup>10</sup> se encarga de promover, evaluar y acreditar la calidad de las instituciones de educación superior, así como de sus carreras y programas.

Debido a recientes actualizaciones en sus criterios de validación, es necesario analizar si estos nuevos fundamentos son compatibles con las experiencias de laboratorio a implementar, especialmente aquellos puntos que tienen relación con actividades prácticas en proceso de enseñanza-aprendizaje. Además de contar con conocimiento externo a la universidad, se considera necesario analizar el modelo educativo USM [UTFSM, 2016] y sus competencias transversales sello <sup>11</sup>. De esta manera, se logrará crear una propuesta de solución con una base sólida y que servirá como un buen punto de partida para la creación de contenido de aprendizaje práctico para asignaturas TIC en el Departamento de Informática de la UTFSM.

### 3.2.1. CNA

La *Comisión Nacional de Acreditación*, en sus siglas CNA, es la encargada de evaluar la calidad de las instituciones educativas de nivel superior, las cuales cada ciertos años deben someterse a un proceso de acreditación para revisar los estándares impuestos por dicha comisión. Para ayudar a las instituciones educativas a mitigar las posibles observaciones que puedan surgir en nuevos procesos de acreditación, CNA ha resumido en doce criterios [CNA, 2015] los aspectos globales que considera como principales pilares que fortalecen una educación de calidad.

En este contexto, los criterios CNA que respaldan la creación de experiencias prácticas de

---

<sup>10</sup><https://www.cnachile.cl/Paginas/misionvision.aspx>

<sup>11</sup><https://dea.usm.cl/modelo-educativo/>

laboratorio y que sirven como aporte al marco de trabajo en desarrollo, se resumen en la Tabla 2. Se observa que se identifican dos criterios de los doce descritos. Por parte del criterio relativo a la creación e investigación formativa por el cuerpo docente, se puede argumentar que la CNA valora y recomienda la creación de contenido práctico de aprendizaje como un aspecto relevante para fortalecer el perfil de egreso de cada estudiante. En este punto, se logra identificar una necesidad de crear documentos de apoyo a la experimentación (enunciados) que permitan al estudiante emular situaciones del mundo real en ambientes controlados para asegurar el cumplimiento de los resultados de aprendizaje.

Por otra parte, el criterio de efectividad y resultado del proceso formativo indica la necesidad de contar con mecanismos que permitan la correcta evaluación y calificación del desempeño de los estudiantes en cada experiencia práctica de laboratorio. Para lo anterior, se debe construir instrumentos de evaluación objetivos y que consideren el grado de logro en los resultados de aprendizaje como aspecto global de calificación.

Tabla 2: Aportes de CNA para el marco de trabajo.

Fuente: [CNA, 2015] [Modificada].

| Criterio  | Descripción   | Aporte para el marco de trabajo   |
|---|---|---|
| [10] Creación e investigación formativa por el cuerpo docente | <p>a) La unidad que imparte la carrera o programa promueve, incentiva, gestiona y verifica que sus docentes generen, publiquen o expongan trabajos y estudios conducentes a mejorar la docencia en la consecución del perfil de egreso.</p> <p>Los trabajos académicos pueden corresponder a:</p> <p>i. Elaboración de materiales de enseñanza en las disciplinas propias de la carrera o programa.</p> <p>ii. Aplicaciones que desarrollan nuevas tecnologías, procesos, herramientas y usos, explorando nuevos métodos de trabajo que tengan por objeto impactar la docencia en la disciplina respectiva.</p> | <p>Creación de enunciados que especifiquen las herramientas y plataformas en uso. Los procedimientos empíricos deben estar ligados con potenciales aplicaciones del mundo real.</p> |
| [11] Efectividad y resultado del proceso formativo            | <p>d) La carrera o programa posee mecanismos de evaluación aplicados a los estudiantes, que permiten verificar el logro de los objetivos de aprendizaje definidos en el plan de estudios y programas de asignaturas. En particular, cuando el plan de estudios considera prácticas, la carrera o programa ha diseñado evaluaciones para medir la profundidad y amplitud de las experiencias vinculadas a ellas logradas por los estudiantes.</p>  | <p>Necesidad de pautas de evaluación objetivas y que consideren el grado de logro en los resultados de aprendizaje como principal enfoque para obtener la calificación final.</p>   |

### 3.2.2. MODELO EDUCATIVO USM

Teniendo en cuenta que la creación de experiencias prácticas de laboratorio es dentro del contexto universitario, es importante analizar el modelo educativo que rige para todas las carreras de manera transversal. De esta forma, se podrán obtener antecedentes de gran valor para acoplar el sello distintivo de la institución con el material práctico de aprendizaje a desarrollar.

El modelo educativo USM [UTFSM, 2016], divide en seis capítulos los lineamientos de aprendizaje y sello institucional que buscan la formación académica de excelencia, pertinente y efectiva acorde a su visión estratégica. Los capítulos que aportan al marco de trabajo y respaldan la creación de experiencias prácticas de laboratorio se resumen en la Tabla 3. Se logra identificar cuatro puntos claves que permiten adaptar el marco de trabajo a los lineamientos del modelo educativo USM.

En primer lugar, se observa que las metodologías de enseñanza-aprendizaje buscan la actitud creativa, la reflexión y la capacidad de descubrimiento del estudiante, por tanto, es necesario diseñar ejercicios que incentiven la creatividad y permitan incorporar el estilo propio del estudiante en su esfuerzo de conseguir el resultado solicitado. Por otro lado, el enfoque curricular basado en competencias (ECBC) se encuentra presente en el modelo educativo favoreciendo a la identificación de resultados de aprendizajes de forma que se observe un avance y se determine el grado de conocimiento adquirido. En este punto, se traduce este enfoque como una oportunidad para resumir dichos resultados de aprendizaje en un objetivo general y más de un objetivo específico, determinando el alcance de cada experiencia de laboratorio.

Se logra identificar la importancia de la resolución de problemas complejos con un enfoque analítico y prolijo, teniendo siempre presente el impacto de la solución propuesta en su contexto. Para esto, se propone desarrollar ejercicios acotados en tiempo y esfuerzo, de forma que se pueda otorgar la instancia de rehacer la solución inicial y que el estudiante desarrolle un proceso de retrospectiva sobre el grado de optimización de su solución actual.

Finalmente, se logra apreciar el interés de la universidad por la comunicación efectiva del estudiante, tanto en español como inglés, potenciando las habilidades blandas. Para lo anterior, se decide incorporar preguntas de respuesta abierta y que motiven a la descripción formal.

Tabla 3: Aportes del modelo educativo USM para el marco de trabajo.

Fuente: [UTFSM, 2016] [Modificada].

| Modelo educativo USM   | Aporte para marco de trabajo   |
|--|--|
| 4.2) "... se busca que las metodologías de enseñanza-aprendizaje apoyen significativamente a que los estudiantes desarrollen una actitud creativa, capacidad de descubrimiento y reflexión. Así también, se espera que los espacios de formación, como salones de clases, talleres y laboratorios, los espacios de práctica profesional y contacto con el medio laboral, constituyan áreas de experimentación y demostración práctica que se necesita para entender el ejercicio de la profesión." | Diseño de ejercicios que incentiven la creatividad y permitan entregar una respuesta libre, con enfoque al resultado por sobre el procedimiento. |
| 4.3) (Sobre ECBC) "... Este enfoque está centrado en la identificación de los resultados de aprendizaje que definen el proceso educativo hacia el logro de dichos aprendizajes, dando oportunidades a los estudiantes para evidenciar los avances y niveles alcanzados en su proceso formativo."   | Dividir en objetivo general y objetivos específicos los resultados de aprendizaje de la experiencia en diseño.                                   |
| 4.4) Resuelve problemas complejos, analizando y evaluando soluciones efectivas y eficientes, en función de su impacto en la organización, las personas y el medio ambiente.  | Desarrollo de ejercicios acotados en tiempo y esfuerzo, con el fin de favorecer la posterior reflexión del estudiante sobre su solución.         |
| 4.4) Comunica efectivamente sus ideas, tanto en forma escrita como oral, en español e inglés.  | Permitir respuestas abiertas y que incentiven el uso de lenguaje formal, adecuado al contexto de aprendizaje.                                    |

### 3.2.3. MÉTODO DE EVALUACIÓN

Poder determinar el método de evaluación y análisis de rendimiento en la evaluación de las tres experiencias prácticas de laboratorio bajo el contexto IoT, permitirá establecer un estado de comparación y contraste que será de gran valor al momento de validar la propuesta de solución de este proyecto de memoria.

Tomando en cuenta que en el marco de trabajo ya existe un principio ligado a la necesidad de pautas de evaluación objetivas y que consideren el grado de logro en los resultados de aprendizaje, se debe trabajar en un método de evaluación que cumpla dichos principios.

Comenzando con la objetividad de las pautas de evaluación a diseñar, se puede mencionar que en la mayoría de los casos existirá un cierto grado de subjetividad asociado a los procesos

de evaluación, simplemente por la naturaleza del arte de evaluar, de ver los resultados desde diferentes perspectivas cuando existan respuestas de desarrollo y que involucren grados de correctitud. Sin embargo, existe un método de evaluación que logra incluir el grado de logro asociado a objetivos, el cual se conoce como evaluación en base a rúbricas. En este contexto, se propone diseñar una rúbrica con enfoques de logro como principal método de evaluación de cada experiencia implementada.

La Tabla 4 resume la escala de evaluación base para la calificación de las tres experiencias de laboratorio. Se observa que se consideran cuatro niveles de logro los cuales van desde el menor nivel (Básico), al mejor nivel (Óptimo). Dependiendo del desempeño obtenido en cada ejercicio a evaluar, se obtiene un puntaje respectivo que puede ser multiplicado por un factor para lograr obtener una calificación en un determinado rango.

La cantidad de ejercicios por cada experiencia a diseñar son independientes a la escala de evaluación ya que sólo considera el nivel de logro en cada respuesta por separado. De la misma manera, se observa que los niveles de logro no consideran el contexto específico IoT, ni el entorno de experimentación. Lo anterior es por enfocarse netamente en el grado de logro de los resultados de aprendizaje en evaluación, acorde a lo descrito en principios de las secciones anteriores.

Tabla 4: Escala de evaluación para experiencias prácticas de laboratorio.

Fuente: Elaboración Propia.

| Nivel    |                 | Descripción   | Puntaje |
|----------|-----------------|---|---------|
| <b>O</b> | Óptimo          | Ha logrado el desempeño óptimo, cumpliendo todos los aspectos en el desarrollo de la actividad.                                   | 5       |
| <b>S</b> | Satisfactorio   | Ha logrado un desempeño satisfactorio al desarrollar la actividad, sólo debe atender algunas observaciones para la optimización.  | 3       |
| <b>B</b> | Básico          | Ha logrado un desempeño básico, cumpliendo con la tarea de manera parcial. Debe corregir algunos aspectos relevantes de la tarea. | 1       |
| <b>I</b> | Insatisfactorio | No ha logrado cumplir con lo mínimo esperado en el desempeño o no ha completado la tarea.   | 0       |

### 3.2.4. RESULTADOS DE APRENDIZAJE

Un aspecto importante a determinar para el marco de trabajo, son los contenidos teóricos que se considerarán en el diseño de cada experiencia de laboratorio, reflejados en los resultados de aprendizaje esperados. Para lo anterior, es necesario considerar que según los

antecedentes expuestos en las causas del problema, existe una ausencia de contenido práctico de aprendizaje relacionado a IoT, por ende, se debe considerar conceptos introductorios del paradigma en estudio y que sea destinado hacia estudiantes con nulo o poco conocimiento previo del campo IoT. Ante esto, se tienen las condiciones de definir los contenidos IoT a diseñar en las tres experiencias de laboratorio.

## I INTRODUCCIÓN A IoT

Para la primera experiencia práctica de laboratorio se espera crear un material de aprendizaje que resuma los principales conceptos del paradigma IoT a través de problemas enfocados a resolver situaciones del mundo real, con exploración del entorno en ejecución y que consideren las bases teóricas presentes en la sección de marco conceptual. Además, se espera que los estudiantes puedan poner en práctica dichos conceptos para crear sus propias soluciones emulando ejemplos pre-diseñados o modificando soluciones ya existentes. De esta forma se incentiva el pensamiento crítico y el contraste con la teoría.

## II COMUNICACIÓN EN IoT

La segunda experiencia práctica de laboratorio debe enfocarse en comprender la importancia del traspaso de mensajes y la comunicación en un sistema IoT, especialmente cuando se capturan datos a una alta frecuencia y con gran diversidad de fuentes. La idea base es que los estudiantes puedan realizar procedimientos empíricos con base en algún protocolo de comunicación descrito en la base teórica del marco conceptual. De esta manera se conseguirá comprender las principales cualidades que tiene un protocolo de comunicación IoT por sobre los existentes en otros sistemas distribuidos.

## III APLICACIONES IoT

Teniendo en cuenta las tendencias en el área informática y el creciente aumento en la capacidad de cómputo en dispositivos de bajos recursos, se procede a enfocar la tercera experiencia práctica de laboratorio hacia potenciales aplicaciones, aportes o mejoras que pueda otorgar un sistema IoT en áreas de Inteligencia Artificial. Se estima que cada día se generan 2.5 quintillones ( $2,5 \times 10^{30}$ ) de bytes y que aproximadamente cada dos años el tamaño del “universo digital” se duplica [Peng, 2021]. Lo anterior es una gran oportunidad para demostrar las cualidades de un sistema IoT y aportar en áreas que necesiten una gran cantidad de datos, incluso en tiempo real.

### 3.2.5. PRINCIPIOS DE DISEÑO PARA EXPERIENCIAS DE LABORATORIO IOT

Considerando los principios detallados en las secciones previas, los fundamentos descritos al comienzo del capítulo y la necesidad de construir un marco de trabajo consolidado que establezca una base sólida para el diseño de experiencias prácticas de laboratorio bajo el contexto IoT, se tienen las condiciones de poder recopilar y resumir en principios de diseño

el marco de trabajo que servirá como base para elaborar la propuesta de solución y validar el cumplimiento de estos principios en la etapa de validación.

La Tabla 5 resume el marco de trabajo desarrollado para elaborar la propuesta de solución de este proyecto de memoria. Se logra identificar diez principios de diseño que resumen las principales ideas obtenidas en las secciones anteriores, además de diferenciar el nivel de cobertura de cada principio para determinar si este se considera en un nivel global entre todas las experiencias a implementar o, en otro caso, se considera un nivel de cobertura específico aludiendo a una experiencia en particular.

Tabla 5: Principios de diseño para el marco de trabajo.  
Fuente: Elaboración Propia.

| Principio N° | Nivel de cobertura | Descripción  |
|--------------|--------------------|--|
| 1            | Global             | Creación de enunciados que especifiquen las herramientas y plataformas en uso. Los procedimientos empíricos deben estar ligados con potenciales aplicaciones del mundo real. |
| 2            | Global             | Necesidad de pautas de evaluación objetivas y que consideren el grado de logro en los resultados de aprendizaje como principal enfoque para obtener la calificación final.   |
| 3            | Global             | Diseño de ejercicios que incentiven la creatividad y permitan entregar una respuesta libre, con enfoque al resultado por sobre el procedimiento.                             |
| 4            | Global             | Dividir en objetivo general y objetivos específicos los resultados de aprendizaje de la experiencia en diseño.   |
| 5            | Global             | Desarrollo de ejercicios acotados en tiempo y esfuerzo, con el fin de favorecer la posterior reflexión del estudiante sobre su solución.                                     |
| 6            | Global             | Permitir respuestas abiertas y que incentiven el uso de lenguaje formal, adecuado al contexto de aprendizaje.  |
| 7            | Global             | El método de evaluación es en base a rúbricas y debe considerar la escala de logro propuesta.  |
| 8            | Específica         | La primera experiencia práctica de laboratorio debe considerar contenidos IoT introductorios.  |
| 9            | Específica         | La segunda experiencia práctica de laboratorio debe enfocarse en el aprendizaje de un protocolo de comunicación del stack IoT.   |
| 10           | Específica         | La tercera experiencia práctica de laboratorio se debe relacionar con aplicaciones IoT en áreas de tendencia dentro de informática.  |

### 3.3. HARDWARE PARA EXPERIENCIAS DE LABORATORIO IOT

Con el fin de facilitar el aprendizaje de contenidos relacionados a IoT, es necesario contar con *hardware* apropiado y que permita la implementación de todas las prácticas destinadas para este proyecto de memoria. En detalle, se utilizará la placa de desarrollo *Arduino Nano 33 BLE Sense* [Arduino, 2022] como dispositivo IoT base para el diseño de las tres experiencias de laboratorio, tomando como fundamentos las siguientes ventajas observadas.

1. El hecho de incorporar sensores dentro de la arquitectura de la placa permite facilitar la configuración y puesta en marcha de cada ejercicio en desarrollo, además maximiza la compatibilidad del microprocesador con los sensores internos para lograr tiempos de captura óptimos.
2. El tamaño y masa de la placa permiten la portabilidad y la fácil manipulación de este dispositivo, especialmente si es necesario capturar datos en movimiento y que detecten los cambios del entorno.
3. La placa de desarrollo cuenta con un IDE (software de apoyo) que facilita la programación y compilación del código fuente, además de incorporar librerías, controladores y funcionalidades de la comunidad y los propios fabricantes de sensores que facilitan el proceso de prueba y adaptación.
4. La placa de desarrollo cuenta con un módulo BLE que permite el traspaso de datos a una alta tasa de transferencia, permitiendo capturar distintas fuentes al mismo tiempo. Además, el microcontrolador incorporado permite ejecutar modelos de aprendizaje automático gracias a su compatibilidad con el *framework TensorFlow Lite* <sup>12</sup>.
5. La cantidad de memoria interna es cuatro veces mayor que su competidor más cercano (*Arduino Nano 33 IoT*) y posee una frecuencia de reloj 16 [MHz] más rápida. Todo lo anterior, reduce los tiempos de compilación y ejecución.

### 3.4. EXPERIENCIA N°1: ONBOARDING IOT

A continuación se procede a detallar las secciones principales que conforman la primera experiencia práctica de laboratorio denominada *OnBoarding IoT*. Estas secciones se unifican creando un consolidado que representa el enunciado de la experiencia práctica de laboratorio a implementar. Dicho consolidado se encuentra presente desde Anexos A1 de este documento de memoria, respetando los diseños de marca USM. El marco de trabajo indica que para esta experiencia se deben considerar contenidos de aprendizaje relativos a los fundamentos de IoT y su teoría introductoria que permita al estudiante tener un primer acercamiento al campo de estudio.

---

<sup>12</sup><https://www.tensorflow.org/lite>

### 3.4.1. INTRODUCCIÓN

La cualidad de *OnBoarding* representa una filosofía que motiva a crear estrategias para lograr una rápida, eficaz y eficiente adaptación a un contexto por parte de nuevos participantes, en la mayoría de los casos, participantes con bajo conocimiento del dominio. En este punto, se realiza esta analogía entendiendo que la finalidad de la presente experiencia práctica de laboratorio busca la introducción al campo IoT a través de procedimientos empíricos pre-diseñados. Para lograr lo anterior, es necesario lograr que los estudiantes entiendan el origen del paradigma IoT y sus beneficios a nivel general. Para esto, se crea una introducción que satisface los orígenes históricos y que ayude a poder contextualizar los objetivos propuestos.

El término IoT (Internet of Things | Internet de las Cosas) debe su origen al británico Kevin Ashton quién por el año 1999 se encontraba desarrollando una propuesta de estudio relacionada a la incorporación de tecnología RFID (Radio Frequency Identification) a los servicios de paquetería. Tecnología que hoy se utiliza en servicios de tracking y delivery.

Dentro de sus preocupaciones se encontraba la necesidad de lograr un título de alto impacto que llame la atención a sus potenciales benefactores y los mantenga atentos durante su presentación. Para ello su intención era incluir la palabra Internet debido a su auge y popularidad.

Teniendo en cuenta el área en estudio, nace de esta forma el concepto “Internet of Things” (Internet de las cosas), permitiendo incorporar a cualquier tipo de producto un sistema RFID.

En la actualidad IoT se ha convertido en un paradigma dentro de la industria informática, creando una nueva área que estudia la interacción de dispositivos con recursos limitados con la capacidad de interactuar entre sí utilizando Internet, pasando del “Internet de las cosas” a “Internet para las cosas”.

### 3.4.2. OBJETIVOS

Los objetivos se dividen en principales y secundarios con el fin de esclarecer el enfoque de la experiencia práctica de laboratorio y otorgar mayor detalle sobre las actividades y destrezas necesarias para el correcto desarrollo de cada ejercicio.

#### I OBJETIVO PRINCIPAL

Comprender el concepto de IoT a través de procedimientos empíricos pre-diseñados.

## II OBJETIVOS SECUNDARIOS

- 1 Introducir los conceptos básicos de IoT utilizando la placa de desarrollo Arduino Nano 33 BLE Sense como fuente de sensores inalámbricos.
- 2 Programar, compilar y configurar placas de desarrollo vía Arduino IDE.
- 3 Interactuar con sensores inalámbricos de temperatura, humedad, gestos, color, proximidad y presión atmosférica.
- 4 Relacionar procedimientos empíricos con actividades del mundo real.

### 3.4.3. MATERIALES Y PLATAFORMAS

Considerando que la placa de desarrollo posee sensores incorporados, se facilita el proceso de administración de materiales, ya que solo basta incorporar el entorno de programación y configuración dado por un cable de conexión entre la placa y un computador con las plataformas pre instaladas.

#### I. MATERIALES

- 1 Placa Arduino Nano 33 BLE Sense
- 1 cable USB A ->Micro USB
- Notebook con puerto USB A

#### II. PLATAFORMAS

- Arduino IDE <sup>13</sup>

### 3.4.4. EJERCICIO N°1: CONFIGURACIÓN

La práctica de laboratorio comienza con la configuración e instalación de controladores y librerías necesarias para lograr la comunicación entre la placa de desarrollo *Arduino Nano 33 BLE Sense* y el software *Arduino IDE*. En esta oportunidad, no es necesario importar archivos externos de configuración ya que el IDE utilizado tiene incorporado un gestor de librerías que facilita el proceso de configuración.

La secuencia de pasos y las instrucciones finales de este ejercicio se exponen en el enunciado consolidado presente desde Anexos A1 de este documento. En este apartado se describe el ejercicio analizando su grado de importancia para el cumplimiento de los objetivos propuestos.

---

<sup>13</sup><https://www.arduino.cc/en/software>

- **Resumen del procedimiento:** Los estudiantes tienen un primer acercamiento con el software *Arduino IDE*, siguen una secuencia de pasos para interactuar con un gestor de tarjetas y proceden a instalar la última versión del controlador *Arduino Mbed OS Nano Boards*, para luego poder configurar los puertos de entrada y salida necesarios para el traspaso de código desde el IDE hasta la placa. Finalmente, los estudiantes comprueban el correcto funcionamiento, obteniendo los identificadores y números de serie asociados a su dispositivo.
- **Problema propuesto:** Se solicita a los estudiantes utilizar su experiencia con sistemas similares para lograr una correcta configuración del entorno de desarrollo. Paso excluyente para el éxito de los siguientes procedimientos. De manera indirecta, se evalúa la habilidad de seguir instrucciones y rápida adaptación del contexto.
- **Solución esperada:** Se espera que los estudiantes proporcionen un respaldo gráfico que indique una correcta configuración y compatibilidad del IDE con la placa de desarrollo. Con el fin de reducir los tiempos de respuesta, se sugiere entregar una captura de pantalla con la información de la placa de desarrollo.

### 3.4.5. EJERCICIO N°2: PRIMEROS PASOS

El presente ejercicio busca introducir el entorno de programación y configuración de placas de desarrollo, utilizando código fuente de prueba modificable. Blink es un script precargado en Arduino IDE diseñado como ejemplo inicial (“*Hello World!*”). Su principal función es controlar un *LED* incorporado en la placa de desarrollo y poder probar diversas configuraciones.

- **Resumen del procedimiento:** Los estudiantes observan y emulan el procedimiento base de compilación y ejecución en placas de desarrollo IoT, siguen una secuencia lógica de pasos para lograr hacer parpadear un *LED* en la placa de desarrollo a intervalos de un segundo.
- **Problema propuesto:** Se solicita a los estudiantes modificar el código fuente del *script* ejecutado para lograr que el *LED* incorporado en la placa de desarrollo parpadee tres veces a intervalos de cinco segundos.
- **Solución esperada:** Con el propósito de fomentar la creatividad de los estudiantes se expone el desafío aceptando múltiples interpretaciones, esperando que las mejores respuestas optimicen el código fuente. Sin embargo, todas las soluciones deben considerar la modificación de los valores de espera (*delay*) y el funcionamiento en ciclos de cinco segundos.

### 3.4.6. EJERCICIO N°3: TEMPERATURA & HUMEDAD

Se realiza un procedimiento empírico que busca estudiar el comportamiento del módulo HTS221 para obtener medidas de temperatura y humedad ambiental en tiempo real. El aprendizaje se enfoca en inferir las potenciales aplicaciones que tiene una serie de datos de baja dispersión pero que dependa de múltiples factores externos para su confiabilidad.

- **Resumen del procedimiento:** Los estudiantes utilizan los conocimientos previamente adquiridos para ejecutar y visualizar valores relativos a temperatura y humedad ambiental bajo las condiciones de un monitor serial (interfaz gráfica). Se evalúa la capacidad de interpretación de los datos generados en tiempo real y se solicita la alteración del entorno de exploración para obtener diferentes valores de las magnitudes en estudio. Finalmente se le solicita a los estudiantes modificar el *script* pre-diseñado para cumplir un determinado objetivo.
- **Problema propuesto:** Teniendo en cuenta la experiencia adquirida en los ejercicios previos, se le solicita al estudiante que modifique el *script* en estudio para que parpadee un *LED* en la placa de desarrollo cuando la humedad supere el 50%. Además, se solicita registrar tres valores de temperatura y humedad ambiental obtenidos del sensor en exploración con su entorno.
- **Solución esperada:** Para el registro de temperaturas y humedad ambiental se espera que los valores tengan baja dispersión entre sí y que posean el formato del output entregado por el monitor serial del *software* Arduino IDE. En el caso de la modificación del código fuente, se espera la creación de una sentencia condicional que detecte el nivel de humedad para desencadenar una acción, en este caso, el parpadeo de un *LED*.

### 3.4.7. EJERCICIO N°4: ACCELERÓMETRO Y GIROSCOPIO

Con el fin de estudiar la captura y mapeo de datos altamente variables y dispersos dentro de un sistema IoT, se utiliza el módulo LSM9DS1 para obtener valores relacionados a la aceleración y sentido de movimiento de la placa de desarrollo en estudio. Las unidades de medida de las magnitudes en estudio poseen un plano de referencia que tiene su origen en el centro geométrico de la placa.

- **Resumen del procedimiento:** Se comienza por instalar las librerías necesarias para el uso del módulo en estudio, para luego utilizar un ejemplo pre-diseñado que imprime sobre el monitor serial los valores obtenidos desde el giroscopio de la placa. Se solicita a los estudiantes interpretar los datos generados, registrar y realizar diversos movimientos con la placa para obtener diferentes valores y lograr inferir la orientación de los ejes. Finalmente, se le solicita a los estudiantes modificar el *script* pre-diseñado para cumplir un determinado objetivo.

- **Problema propuesto:** Durante el proceso de captura y análisis de los datos generados se solicita a los estudiantes que registren tres medidas obtenidas desde el monitor serial del *software* Arduino IDE, además se incentiva la creatividad permitiendo la modificación del código fuente para cumplir con la tarea de imprimir por pantalla cuando se detecte un giro horario y antihorario tomando como referencia el *eje x* (eje longitudinal a la placa).
- **Solución esperada:** Para el registro de valores generados por el giroscopio se espera que estos tengan alta dispersión entre sí y que posean el formato del output entregado por el monitor serial del *software* Arduino IDE. En el caso de la modificación del código fuente, se espera la creación de una sentencia condicional que detecte el cambio de signo de los valores asociados al eje en estudio, en este caso, el eje longitudinal a la placa. Además, se espera que exista un mensaje que indique de forma clara el sentido de giro detectado (horario, antihorario).

#### 3.4.8. EJERCICIO N°5: PROXIMIDAD Y DETECCIÓN DE GESTOS

El quinto procedimiento empírico busca estudiar la captura, mapeo e interpretación de datos relacionados a la detección de objetos externos considerando un rango determinado de alcance. Para lo anterior, se hace uso del módulo APDS-9960 que permite obtener valores de proximidad y detección de gestos realizados por un objeto que se mueve por sobre la placa de desarrollo. Es importante señalar que el rango de detección es efectivo entre los diez y veinte centímetros por sobre la placa.

- **Resumen del procedimiento:** Los estudiantes comienzan instalando la librería que permite acceder a las funcionalidades del sensor en estudio. Se comprueba el correcto funcionamiento del sensor, ejecutando en la placa de desarrollo un *script* que prueba todas las funcionalidades del módulo APDS-9960 al mismo tiempo. Luego, sobre la placa, se solicita realizar movimientos por sobre un rango determinado de acción y cuando se obtengan mediciones estables, se pide interpretar y registrar los mensajes generados por el monitor serial del *software* Arduino IDE. Los estudiantes finalizan el procedimiento modificando el código fuente en exploración para cumplir un determinado objetivo.
- **Problema propuesto:** Con el fin de medir el grado de aprendizaje y adaptación al entorno de experimentación, se solicita a los estudiantes obtener medidas de proximidad sin dar mayor detalle del cómo se debe realizar los movimientos para una correcta detección, además se deja a inferencia el hecho de interpretar el formato de salida generado en el monitor serial, ya que hasta que no se detecte un gesto, el *script* no mostrará por pantalla alguna alerta. Del mismo modo, se pone a prueba la creatividad y el grado de aprendizaje de los estudiantes, solicitando modificar el código fuente en estudio para lograr parpadear un *LED* con mayor frecuencia a medida que un objeto se acerque a la placa (dentro de un rango de 10-20 [cm]).

- **Solución esperada:** Con respecto al registro de medidas de proximidad y detección de gestos, se espera que estos valores posean una baja dispersión entre sí, debido a la rapidez de captura permitida por el módulo APDS-9960. Además, se espera que estos registros posean un formato específico acorde a lo expuesto en el monitor serial. Finalmente, la modificación del código fuente debe considerar la constante comprobación de los valores obtenidos por el parámetro de proximidad y que el retraso existente en el parpadeo de un *LED* sea en función del acercamiento del objeto.

#### 3.4.9. EJERCICIO N°6: PRESIÓN BAROMÉTRICA

La experiencia práctica de laboratorio finaliza con el estudio de datos estables y de compleja alteración, específicamente, el estudio de sensores ambientales que permiten detectar la presión atmosférica del ambiente en experimentación. Para lo anterior, se utiliza el módulo LPS22HB incorporado en la placa de desarrollo.

- **Resumen del procedimiento:** El procedimiento comienza con la instalación de las librerías necesarias para el correcto funcionamiento del módulo LPS22HB. Se realizan pruebas de funcionamiento utilizando el *script* pre-diseñado que permite capturar la presión atmosférica y la temperatura ambiental a razón de un segundo de diferencia. Los estudiantes analizan los datos generados y registran los valores obtenidos. Como aplicación, se solicita utilizar los datos capturados para obtener un bloque de código que pueda cumplir con un determinado objetivo.
- **Problema propuesto:** Teniendo en cuenta la naturaleza de los datos capturados, se solicita a los estudiantes interpretar y registrar los datos generados, esperando que estos sean identificados como la presión atmosférica medida en [kPa] (Kilopascales), y la temperatura ambiental medida en grados celsius (°C). Para incentivar la aplicación de los datos generados en problemas del mundo real, se solicita utilizar los datos en análisis para crear un *script* que imprima en el monitor serial la altura sobre el nivel del mar [m.s.n.m] correspondiente al entorno de exploración.
- **Solución esperada:** Los datos registrados deben ser descritos con sus respectivas unidades de medida, las cuales pueden ser convertidas a necesidad de los estudiantes para cumplir con el desafío de aplicación propuesto. Para lo anterior, se sugiere a los estudiantes una función que obtiene la altitud en función de la presión atmosférica en [kPa]. Los metros sobre el nivel del mar en Campus San Joaquín se esperan que bordeen los 550 [m.s.n.m] y para Casa Central una elevación aproximada de 19 [m.s.n.m]

#### 3.4.10. RÚBRICA

El método de evaluación establecido en el marco de trabajo (Tabla 5) indica que para poder calificar las experiencias de laboratorio se debe emplear un proceso de evaluación en base

a rúbricas. Para cumplir con lo anterior, la Tabla 6 resume los ejercicios a evaluar en la presente experiencia de laboratorio. Se consideran cinco ejercicios, con dos preguntas por cada procedimiento realizado, se obtiene la calificación final sumando los puntajes obtenidos después de considerar la columna “factor” de la tabla, la cual busca adaptar los puntajes a una escala de notas USM (cero a cien puntos), sin embargo, dichos factores pueden ser modificados según la preferencia del lector. Del mismo modo, es importante tener en cuenta las siguientes observaciones sobre la rúbrica diseñada:

- 1 Cada fila de la Tabla 6 corresponde a una pregunta realizada dentro del ejercicio referenciado en la columna “indicador”. El tipo de pregunta se resume en el campo de categoría y el puntaje obtenido se escribe en la casilla de logro que corresponda (Insatisfactorio [I], Básico [B], Satisfactorio [S], Óptimo [O]).
- 2 El nivel de logro obtenido en cada ejercicio se obtiene considerando el grado de cumplimiento de los objetivos y los resultados de aprendizaje en evaluación. El grado de precisión queda a criterio del evaluador y del contexto del ejercicio. Para todas las categorías de ejercicios (*output*, desarrollo), se utiliza la misma escala de logro (I,B,S,O).
- 3 La columna “indicador” se utiliza para referenciar la sección donde se encuentra la pregunta en evaluación. Por ejemplo, “1.2 Primeros pasos: Blink” hace referencia a la segunda pregunta del primer ejercicio cuyo nombre es “Primeros pasos: Blink”.

En Anexos B1 se expone el resultado consolidado correspondiente a la rúbrica utilizada para evaluar la primera experiencia práctica de laboratorio.

Tabla 6: Factores adaptativos para rúbrica OnBoarding IoT.  
Fuente: Elaboración Propia.

| Categoría           | Factor | Indicador                                       | I | B | S | O |
|---------------------|--------|---|---|---|---|---|
| Output              | x1     | 1.1 Primeros pasos: Blink                       |   |   |   |   |
| Desarrollo          | x3     | 1.2 Primeros pasos: Blink                       |   |   |   |   |
| Output              | x1     | 2.1 Temperatura y Humedad: HTS221               |   |   |   |   |
| Desarrollo          | x3     | 2.2 Temperatura y Humedad: HTS221               |   |   |   |   |
| Output              | x1     | 3.1 Acelerómetro y Giroscopio: LSM9DS1          |   |   |   |   |
| Desarrollo          | x3     | 3.2 Acelerómetro y Giroscopio: LSM9DS1          |   |   |   |   |
| Output              | x1     | 4.1 Proximidad y Detección de Gestos: APDS-9960 |   |   |   |   |
| Desarrollo          | x3     | 4.2 Proximidad y Detección de Gestos: APDS-9960 |   |   |   |   |
| Output              | x1     | 5.1 Presión Barométrica: LPS22HB                |   |   |   |   |
| Desarrollo          | x3     | 5.2 Presión Barométrica: LPS22HB                |   |   |   |   |
| <b>Subtotal</b>     |        |   |   |   |   |   |
| <b>Calificación</b> |        |   |   |   |   |   |

### 3.5. EXPERIENCIA N°2: BLE

A continuación se procede a detallar las secciones principales que conforman la segunda experiencia práctica de laboratorio denominada *BLE*. Estas secciones se unifican creando un consolidado que representa el enunciado de la experiencia práctica de laboratorio a implementar. Dicho consolidado se encuentra presente desde Anexos A7 de este documento de memoria, respetando los diseños de marca USM.

El marco de trabajo indica que para esta experiencia se deben considerar contenidos de aprendizaje relativos al estudio de protocolos de comunicación IoT y su teoría base que permita al estudiante tener un primer acercamiento al campo de estudio.

#### 3.5.1. INTRODUCCIÓN

*BLE Bluetooth Low Energy* es una tecnología inalámbrica de comunicación utilizada en la capa de percepción en un sistema IoT, posee cualidades que logran diferenciarse de los principales estándares de comunicación empleados para el traspaso de datos en contextos de corto alcance. Además, el módulo NINA-B306 incorporado en la placa de desarrollo *Arduino Nano 33 BLE Sense*, permite utilizar todas las funcionalidades de BLE y así poder experimentar las condiciones de un estándar que es considerado tendencia dentro del paradigma IoT.

La sección de introducción de esta segunda experiencia práctica de laboratorio expone los orígenes de la tecnología BLE y proporciona un contexto sobre la importancia de su estudio en IoT para motivar el logro de los objetivos propuestos.

BLE (Bluetooth Low Energy | Bluetooth de baja energía) es una tecnología inalámbrica diseñada en 2011 con el fin de utilizarse como medio de comunicación de corto alcance. En la actualidad existen múltiples tipos de dispositivos que utilizan esta tecnología como principal medio de envío y recepción de datos. Su frecuencia de funcionamiento se sitúa en la banda de 2.4 [GHz] al igual que las redes WiFi y la versión de Bluetooth Clásica [Jeon *et al.*, 2018].

Dentro del contexto IoT, la extracción, transformación y propagación de datos generados demandan requisitos específicos y cada vez más exigentes, por lo cual saber diferenciar entre distintos protocolos y tecnologías de comunicación es de suma importancia en un sistema con recursos limitados.

¿Qué cualidades posee BLE como tecnología inalámbrica útil en el contexto IoT?

### 3.5.2. OBJETIVOS

Los objetivos se dividen en principales y secundarios con el fin de esclarecer el enfoque de la experiencia práctica de laboratorio y otorgar mayor detalle sobre las actividades y destrezas necesarias para el correcto desarrollo de cada ejercicio.

#### I OBJETIVO PRINCIPAL

Comprender la importancia de BLE como tecnología IoT a través de procedimientos empíricos pre-diseñados.

#### II OBJETIVOS SECUNDARIOS

- 1 Introducir los conceptos básicos de IoT utilizando la placa de desarrollo Arduino Nano 33 BLE Sense como sensor de bajo consumo.
- 2 Programar, compilar y configurar placas de desarrollo vía Arduino IDE.
- 3 Interactuar con sensores inalámbricos de temperatura, humedad, gestos, color, proximidad y presión atmosférica.
- 4 Utilizar Sniffers BLE en smartphones.

### 3.5.3. MATERIALES Y PLATAFORMAS

Considerando que la placa de desarrollo posee la compatibilidad para capturar y emitir paquetes BLE, se facilita el proceso de administración de materiales, ya que solo basta considerar el entorno de programación e interacción, los cuales consideran un cable de conexión USB, un dispositivo móvil compatible con BLE y un computador con las plataformas pre instaladas.

#### I. MATERIALES

- 1 Placa Arduino Nano 33 BLE Sense
- 1 cable USB A ->Micro USB
- Notebook con puerto USB A

#### II. PLATAFORMAS

- Arduino IDE <sup>14</sup>
- App nRF Connect: iOS <sup>15</sup> Android <sup>16</sup>
- App PhyPhox: iOS <sup>17</sup> Android <sup>18</sup>

---

<sup>14</sup><https://www.arduino.cc/en/software>

<sup>15</sup><https://apps.apple.com/cl/app/nrf-connect-for-mobile/id1054362403>

<sup>16</sup><https://play.google.com/store/apps/details?id=no.nordicsemi.android.mcp>

<sup>17</sup><https://apps.apple.com/us/app/phyphox/id1127319693>

<sup>18</sup>[https://play.google.com/store/apps/details?id=de.rwth\\_aachen.phyphox](https://play.google.com/store/apps/details?id=de.rwth_aachen.phyphox)

#### 3.5.4. EJERCICIO N°1: CONFIGURACIÓN

La práctica de laboratorio comienza con la configuración e instalación de controladores y librerías necesarias para lograr la comunicación entre la placa de desarrollo *Arduino Nano 33 BLE Sense* y el software *Arduino IDE*. En esta oportunidad, no es necesario importar archivos externos de configuración ya que el IDE utilizado tiene incorporado un gestor de librerías que facilita el proceso de configuración.

La secuencia de pasos y las instrucciones finales de este ejercicio se exponen en el enunciado consolidado presente desde Anexos A7 de este documento. En este apartado se describe el ejercicio analizando su grado de importancia para el cumplimiento de los objetivos propuestos.

- **Resumen del procedimiento:** Los estudiantes tienen un primer acercamiento con el software *Arduino IDE*, siguen una secuencia de pasos para interactuar con un gestor de tarjetas y proceden a instalar la última versión del controlador *Arduino Mbed OS Nano Boards*, para luego poder configurar los puertos de entrada y salida necesarios para el traspaso de código desde el IDE hasta la placa. Finalmente, los estudiantes comprueban el correcto funcionamiento, obteniendo los identificadores y números de serie asociados a su dispositivo.
- **Problema propuesto:** Se solicita a los estudiantes utilizar su experiencia con sistemas similares para lograr una correcta configuración del entorno de desarrollo. Paso excluyente para el éxito de los siguientes procedimientos. De manera indirecta, se evalúa la habilidad de seguir instrucciones y rápida adaptación del contexto.
- **Solución esperada:** Se espera que los estudiantes proporcionen un respaldo gráfico que indique una correcta configuración y compatibilidad del IDE con la placa de desarrollo. Con el fin de reducir los tiempos de respuesta, se sugiere entregar una captura de pantalla con la información de la placa de desarrollo.

#### 3.5.5. EJERCICIO N°2: PRIMEROS PASOS

*LED* es un *script* de prueba en *Arduino IDE* diseñado como ejemplo inicial BLE (“*Hello World!*”). Su principal función es apagar/encender un *LED* incorporado en la placa de desarrollo y poder controlar su funcionamiento remotamente.

- **Resumen del procedimiento:** El ejercicio comienza con la instalación de las librerías necesarias para el correcto funcionamiento del módulo BLE, específicamente, aquellas relativas a crear un dispositivo periférico en la placa de desarrollo. Luego, se personaliza el código fuente para evitar interferencias entre distintos dispositivos y se ejecuta el *script* modificado. Con el dispositivo periférico emitiendo paquetes BLE, se hace uso

de la aplicación móvil *nRF Connect* para escanear el servicio generado. Cuando se realice la conexión (emparejamiento), se debe enviar datos desde la *app* hacia el servicio BLE observando el comportamiento del *LED* presente en la placa de desarrollo. Finalmente, se solicita a los estudiantes modificar el *script* pre-diseñado para cumplir un determinado objetivo.

- **Problema propuesto:** Con el fin de facilitar la comprensión de los estudiantes y enfocar el aprendizaje en la secuencia de pasos claves del ejercicio, se realizan preguntas de respuesta abierta, las cuales se centran en describir el estado del experimento en ese instante. Además, se desarrollan preguntas de selección múltiple relativas a distinguir el rendimiento del sistema IoT en funcionamiento, principalmente estimar su *delay*. Para lograr evaluar el conocimiento adquirido con respecto al *script* pre-diseñado, se solicita modificar el código fuente para que cuando el dispositivo periférico detecte un valor 33 de tipo *unsignedInt*, el *LED* incorporado en la placa de desarrollo comience a parpadear a intervalos de un segundo.
- **Solución esperada:** Al alternar valores enviados hacia un dispositivo periférico, se debe apagar/encender el *LED* de la placa de desarrollo. Con respecto al mayor valor *unsignedInt* debe ser cercano a 255 y el *delay* existente en el proceso de traspaso de mensajes es casi imperceptible (milisegundos). Para la modificación del código fuente, se espera una sentencia condicional que verifique el valor recibido desde la *app*, para cuando sea el correcto (33), ejecute la acción solicitada.

### 3.5.6. EJERCICIO N°3: CAPTURANDO DATOS

Además de conocer las características de BLE en dispositivos periféricos, es necesario experimentar la forma en que se puede obtener los datos de estos dispositivos utilizando BLE. Para lo anterior, es necesario configurar un *Central device* (dispositivo capaz de recibir datos desde sensores cercanos a su entorno) en modo escucha bajo las condiciones de esta tecnología.

- **Resumen del procedimiento:** El experimento comienza con la creación de un dispositivo periférico, emisor de frames BLE, desde la aplicación *nRF Connect*. Con el fin de evitar interferencias se solicita crear un nombre de dominio único. Luego, se carga un *script* en la placa de desarrollo, con el fin de detectar los frames BLE emitidos desde la aplicación. En base a los datos obtenidos desde el monitor serial, se realizan preguntas y se solicita respaldar dicha información.
- **Problema propuesto:** Con el fin de evaluar el grado de comprensión y adaptación de los estudiantes al contexto del problema, se decide consultar sobre el formato de los datos generados por el monitor serial, explicitando si tiene sentido lo obtenido. Además, se consulta sobre los identificadores del servicio escaneado y su relevancia para

una correcta sincronización. Finalmente, se solicita registrar los datos generados desde el monitor serial.

- **Solución esperada:** Los datos obtenidos poseen coherencia, ya que se obtienen datos relativos al servicio BLE creado desde la aplicación móvil. Además se incluyen las principales características personalizadas por el usuario diferenciadas por UUID (identificador del servicio). Este identificador es un número hexadecimal y se expone en el monitor serial como una serie de pasos para lograr capturar los servicios activos dentro del dispositivo central.

### 3.5.7. EJERCICIO N°4: DETECTANDO FRAMES

Conocer la forma en que una arquitectura de red define los protocolos encargados de detectar e interactuar con los dispositivos heterogéneos del entorno permite poder comprender de mejor manera los desafíos de un sistema IoT. ¿Cómo un dispositivo periférico informa su presencia en los dispositivos centrales?, ¿Qué se necesita para poder extraer datos de un dispositivo periférico determinado?, ¿Existe interferencia?.

- **Resumen del procedimiento:** Teniendo la librería Arduino BLE instalada, se procede a crear un *Sniffer* que permitirá escanear frames BLE del entorno en exploración. Se observan los resultados utilizando el monitor serial del *software* Arduino IDE. Se realizan preguntas sobre el funcionamiento del *Sniffer* y la interpretación de los datos generados. Finalmente, se solicita a los estudiantes modificar el *script* pre-diseñado para cumplir un determinado objetivo.
- **Problema propuesto:** Se solicita a los estudiantes interpretar los datos capturados. Se debe indicar el tipo de atributos y su significado. Se debe modificar el *script* para permitir la captura de datos de solo dos dispositivos periféricos.
- **Solución esperada:** Los datos capturados corresponden al identificador del servicio (*Address*) y la potencia de señal (*RSSI*) de cada frame capturado. La modificación del código fuente debe considerar una sentencia condicional que permita la captura de solo dos identificadores de servicio, a preferencia del estudiante.

### 3.5.8. EJERCICIO N°5: TASA DE TRANSFERENCIA EN BLE

Phyphox es una Aplicación móvil para generar experimentos sobre BLE. En este apartado se utilizará esta app para intentar obtener la tasa de transferencia media de envío de registros por segundo, es decir, la cantidad de mensajes (registros) que se pueden enviar en un segundo.

- **Resumen del procedimiento:** El experimento comienza con la obtención del *script* que permite enviar datos de los sensores desde la placa de desarrollo hacia la aplicación Phyphox. Se ejecuta el *script* en la placa de desarrollo y se configura los identificadores del servicio para evitar interferencias. Luego, se utiliza un código QR para cargar los ejemplos pre-diseñados compatibles con la placa en uso. Se utilizan los datos de temperatura y humedad para obtener cierta cantidad de datos dentro de un período de diez segundos. Con estos registros se tienen las condiciones de obtener una tasa de transferencia en BLE.
- **Problema propuesto:** Con la cantidad de registros obtenidos en un período de diez segundos, se exportan los datos generados para obtener una tasa de transferencia en BLE, se solicita expresar el resultado en registros por segundo.
- **Solución esperada:** En un período de diez segundos, se espera obtener aproximadamente 200 registros, los cuales al hacer la conversión, se obtiene una tasa de transferencia aproximada de 20 registros por segundo.

### 3.5.9. RÚBRICA

El método de evaluación establecido en el marco de trabajo (Tabla 5) indica que para poder calificar las experiencias de laboratorio se debe emplear un proceso de evaluación en base a rúbricas. Para cumplir con lo anterior, la Tabla 7 resume los ejercicios a evaluar en la presente experiencia de laboratorio. Se consideran cinco ejercicios en donde se obtiene la calificación final sumando los puntajes obtenidos después de considerar la columna “factor” de la tabla, la cual busca adaptar los puntajes a una escala de notas USM (cero a cien puntos), sin embargo, dichos factores pueden ser modificados según la preferencia del lector. Del mismo modo, es importante tener en cuenta las siguientes observaciones sobre la rúbrica diseñada:

- 1 Cada fila de la Tabla 7 corresponde a una pregunta realizada dentro del ejercicio referenciado en la columna “indicador”. El tipo de pregunta se resume en el campo de categoría y el puntaje obtenido se escribe en la casilla de logro que corresponda (Insatisfactorio [I], Básico [B], Satisfactorio [S], Óptimo [O]).
- 2 El nivel de logro obtenido en cada ejercicio se obtiene considerando el grado de cumplimiento de los objetivos y los resultados de aprendizaje en evaluación. El grado de precisión queda a criterio del evaluador y del contexto del ejercicio. Para todas las categorías de ejercicios (justificación, alternativas, respaldo y desarrollo), se utiliza la misma escala de logro (I,B,S,O).
- 3 La columna “indicador” se utiliza para referenciar la sección donde se encuentra la pregunta en evaluación. Por ejemplo, “2.3 Primeros pasos: LED BLE” hace referencia a la tercera pregunta del segundo ejercicio cuyo nombre es “Primeros pasos: LED BLE”.

En Anexos B2 se expone el resultado consolidado correspondiente a la rúbrica utilizada para evaluar la segunda experiencia práctica de laboratorio.

Tabla 7: Factores adaptativos para rúbrica BLE.  
Fuente: Elaboración Propia.

| Categoría           | Factor | Indicador  | I | B | S | O |
|---------------------|--------|--|---|---|---|---|
| Respaldo            | x1     | 1.1 Configurar placa de desarrollo en Arduino IDE      |   |   |   |   |
| Justificación       | x1     | 2.1 Primeros pasos: LED BLE                            |   |   |   |   |
| Justificación       | x1     | 2.2 Primeros pasos: LED BLE                            |   |   |   |   |
| Justificación       | x1     | 2.3 Primeros pasos: LED BLE                            |   |   |   |   |
| Alternativas        | x1     | 2.4 Primeros pasos: LED BLE                            |   |   |   |   |
| Alternativas        | x1     | 2.5 Primeros pasos: LED BLE                            |   |   |   |   |
| Desarrollo          | x3     | 2.6 Primeros pasos: LED BLE                            |   |   |   |   |
| Justificación       | x1     | 3.1 Capturando datos: Arduino como dispositivo central |   |   |   |   |
| Justificación       | x1     | 3.2 Capturando datos: Arduino como dispositivo central |   |   |   |   |
| Desarrollo          | x3     | 3.3 Capturando datos: Arduino como dispositivo central |   |   |   |   |
| Alternativas        | x1     | 4.1 Detectando Frames: Arduino como Sniffer            |   |   |   |   |
| Justificación       | x1     | 4.2 Detectando Frames: Arduino como Sniffer            |   |   |   |   |
| Desarrollo          | x3     | 4.3 Detectando Frames: Arduino como Sniffer            |   |   |   |   |
| Justificación       | x1     | 5.1 Tasa de transferencia en BLE: Phyphox              |   |   |   |   |
| <b>Subtotal</b>     |        |  |   |   |   |   |
| <b>Calificación</b> |        |  |   |   |   |   |

### 3.6. EXPERIENCIA N°3: DEEP LEARNING & IOT

A continuación se procede a detallar las secciones principales que conforman la tercera experiencia práctica de laboratorio denominada *Deep Learning & IoT*. Estas secciones se unifican creando un consolidado que representa el enunciado de la experiencia práctica de laboratorio a implementar. Dicho consolidado se encuentra presente desde Anexos A15 de este documento de memoria, respetando los diseños de marca USM.

El marco de trabajo indica que para esta experiencia se deben considerar contenidos de aprendizaje relativos al estudio de aplicaciones de sistemas IoT y su teoría base que permita al estudiante tener un primer acercamiento al campo de estudio.

### 3.6.1. INTRODUCCIÓN

Debido al auge que ha tenido el área de inteligencia artificial, en particular, la generación de modelos predictivos con un alto porcentaje de certeza y su dependencia de conjuntos de datos masivos y confiables. Se hace necesario estudiar las potenciales ventajas que puede otorgar un sistema IoT a este campo de estudio. En detalle, se identifican grandes beneficios relacionados a la etapa de recolección, preparación y adaptación de datos, pudiendo incluso ser útil para procesos con predicción en tiempo real.

La sección de introducción de la tercera experiencia práctica de laboratorio se enfoca en el origen teórico de los campos de estudio, resumiendo a grandes rasgos su funcionamiento y características.

DL (Deep Learning | Aprendizaje profundo) es una técnica de ML (Machine Learning | Aprendizaje automático) que utiliza un grafo de computación como arquitectura base para recibir datos de entrada  $[x]$  y transformarlos en una salida  $[y=f(x)]$

Una de las características más importantes de este tipo de arquitectura es la posibilidad de modificar la función de transformación  $f(x)$  variando los parámetros presentes dentro del grafo de computación, por ejemplo, se puede aumentar el peso de conexión existente en la unión de dos nodos (en adelante, neuronas). Del mismo modo, se puede distribuir la configuración de las neuronas, aumentar conexiones entre estas y agregar nuevas capas intermedias, todo esto con el propósito de adaptarse de mejor manera a los datos de entrada (dataset) y de esta forma, obtener un modelo de aprendizaje que sea representativo del fenómeno en la etapa de inferencia.

¿Qué características posee una arquitectura IoT que podrían ser útiles para la creación de modelos de Deep Learning?, ¿En qué fase se encuentran las mayores ventajas?

### 3.6.2. OBJETIVOS

Los objetivos se dividen en principales y secundarios con el fin de esclarecer el enfoque de la experiencia práctica de laboratorio y otorgar mayor detalle sobre las actividades y destrezas necesarias para el correcto desarrollo de cada ejercicio.

#### I OBJETIVO PRINCIPAL

Comprender el potencial rol que ocupa una arquitectura IoT en la creación de modelos de Deep Learning.

## II OBJETIVOS SECUNDARIOS

- 1 Introducir los conceptos básicos de IoT utilizando la placa de desarrollo Arduino Nano 33 BLE Sense como sensor de bajo consumo.
- 2 Programar, compilar y configurar placas de desarrollo vía Arduino IDE.
- 3 Programar, compilar y configurar modelos de Deep Learning utilizando TensorFlow Lite.
- 4 Entrenar modelos de Deep Learning para predicción en tiempo real.
- 5 Ejecutar modelos de Deep Learning en placa de desarrollo Arduino Nano 33 BLE Sense.

### 3.6.3. MATERIALES Y PLATAFORMAS

Considerando que la placa de desarrollo posee la capacidad para ejecutar algoritmos de *machine learning* gracias a la compatibilidad con *TensorFlow Lite* (conjunto de librerías IA para dispositivos de bajos recursos) <sup>19</sup>, se facilita el proceso de administración de materiales, ya que solo basta considerar el entorno de programación e interacción, los cuales consideran un cable de conexión USB y un computador con las plataformas pre instaladas.

#### I. MATERIALES

- 1 Placa Arduino Nano 33 BLE Sense
- 1 cable USB A ->Micro USB
- Notebook con puerto USB A

#### II. PLATAFORMAS

- Arduino IDE <sup>20</sup>
- Google Colaboratory <sup>21</sup>

### 3.6.4. EJERCICIO N°1: CONFIGURACIÓN

La práctica de laboratorio comienza con la configuración e instalación de controladores y librerías necesarias para lograr la comunicación entre la placa de desarrollo *Arduino Nano 33 BLE Sense* y el software *Arduino IDE*. En esta oportunidad, no es necesario importar archivos externos de configuración ya que el IDE utilizado tiene incorporado un gestor de librerías que facilita el proceso de configuración.

La secuencia de pasos y las instrucciones finales de este ejercicio se exponen en el enunciado consolidado presente desde Anexos A15 de este documento. En este apartado se describe el ejercicio analizando su grado de importancia para el cumplimiento de los objetivos propuestos.

---

<sup>19</sup><https://www.tensorflow.org/lite>

<sup>20</sup><https://www.arduino.cc/en/software>

<sup>21</sup><https://colab.research.google.com/?hl=es>

- **Resumen del procedimiento:** Los estudiantes tienen un primer acercamiento con el software *Arduino IDE*, siguen una secuencia de pasos para interactuar con un gestor de tarjetas y proceden a instalar la última versión del controlador *Arduino Mbed OS Nano Boards*, para luego poder configurar los puertos de entrada y salida necesarios para el traspaso de código desde el IDE hasta la placa. Finalmente, los estudiantes comprueban el correcto funcionamiento, obteniendo los identificadores y números de serie asociados a su dispositivo.
- **Problema propuesto:** Se solicita a los estudiantes utilizar su experiencia con sistemas similares para lograr una correcta configuración del entorno de desarrollo. Paso excluyente para el éxito de los siguientes procedimientos. De manera indirecta, se evalúa la habilidad de seguir instrucciones y rápida adaptación del contexto.
- **Solución esperada:** Se espera que los estudiantes proporcionen un respaldo gráfico que indique una correcta configuración y compatibilidad del IDE con la placa de desarrollo. Con el fin de reducir los tiempos de respuesta, se sugiere entregar una captura de pantalla con la información de la placa de desarrollo.

### 3.6.5. EJERCICIO N°2: PRIMEROS PASOS

*Hello World* es un *script* de prueba en *Arduino IDE* diseñado como ejemplo inicial de la librería *TensorFlow Lite*. Su principal función es poder emular una red neuronal *Feed Forward* (FF) pre compilada para predecir el valor de la función trigonométrica  $\sin x$  dado un  $x$  de entrada.

- **Resumen del procedimiento:** Con el fin de ilustrar los procedimientos básicos necesarios para generar un modelo de *Deep Learning* pre entrenado. Se solicita ejecutar un *script* en *Google Colaboratory* (plataforma web para ejecutar *Jupyter Notebooks* en máquinas virtuales optimizadas) para obtener un código hexadecimal correspondiente a la red neuronal pre entrenada y compatible con la placa de desarrollo en estudio. Luego, los estudiantes deben instalar las librerías necesarias para la compilación y ejecución de código fuente vía *TensorFlow Lite*. Se utiliza un ejemplo de prueba para ejecutar el modelo pre entrenado generado en *Colab* y se observan los resultados con la ayuda del monitor serial.
- **Problema propuesto:** Con el fin de evaluar el grado de aprendizaje y adaptación que tienen los estudiantes al experimento, se solicita interpretar los resultados obtenidos en distintas etapas y lograr inferir la utilidad del paso en ejecución. Además, se solicita realizar un análisis cualitativo al detectar los posibles errores de predicción generados por la red neuronal. Finaliza la evaluación, registrando los resultados obtenidos en la etapa de predicción y respaldando el código hexadecimal generado.
- **Solución esperada:** En la etapa de observación e interpretación de datos se espera que los estudiantes detecten que los datos generados son la base para la predicción

en tiempo real de la función trigonométrica en estudio. Lo anterior se observa en el *serial plotter* cuando la suavidad de la curva posee discontinuidades, debido al error de predicción de la red neuronal. Los respaldos solicitados deben tener el mismo formato generado por el monitor serial.

### 3.6.6. EJERCICIO N°3: RECONOCIMIENTO DE GESTOS

*Simple gesture recognition* es un *script* de la librería AIfES<sup>22</sup> diseñado para entrenar una red neuronal y predecir tres gestos realizados por el usuario. En esta ocasión, se simularán gestos que se puedan realizar con el movimiento de la placa de desarrollo, en este caso, emular una circunferencia, una semi triángulo y un gesto *Zig Zag*. Para una mayor efectividad en el proceso de entrenamiento, se recomienda completar estos gestos en menos de un segundo de duración y de la forma más prolija posible.

- **Resumen del procedimiento:** El experimento comienza con la instalación de las librerías necesarias para lograr capturar, entrenar y predecir los movimientos de la placa de desarrollo. Con el *script* ejecutado, se procede a entrenar los gestos que se considerarán en este estudio. Luego, los estudiantes serán guiados en el proceso de clasificación de gestos en base a mensajes presentes en el monitor serial.
- **Problema propuesto:** Se solicita a los estudiantes interpretar los datos obtenidos en cada paso del procedimiento, determinado su utilidad y relevancia para una correcta fase de predicción. La clasificación se basa en realizar los gestos de forma aleatoria y observar la predicción dada por la red neuronal. Se le solicita al estudiante obtener una correcta predicción para los tres gestos entrenados.
- **Solución esperada:** Se espera obtener porcentajes de al menos tres predicciones, las cuales indiquen una precisión para los tres gestos en al menos 80 %.

### 3.6.7. EJERCICIO N°4: DETECCIÓN INTELIGENTE DE COLORES

*Color detection* es un *script* que nos permite poder capturar la data de tres colores diferentes y utilizar esta información para poder entrenar una red neuronal artificial. La idea es poder predecir el grado de similitud de un objeto particular hacia estos tres colores previamente definidos.

- **Resumen del procedimiento:** Con el fin de crear un clasificador inteligente de colores, los estudiantes comienzan instalando las librerías necesarias y ejecutando un *script* de prueba en la placa de desarrollo. La etapa de entrenamiento necesita el escaneo de los

---

<sup>22</sup>[https://github.com/Fraunhofer-IMS/AIfES\\_for\\_Arduino](https://github.com/Fraunhofer-IMS/AIfES_for_Arduino)

colores de forma secuencial y siguiendo las instrucciones dadas por el monitor serial. Cuando se hayan escaneado exitosamente los colores a predecir, se procede a clasificar estos en la etapa de inferencia. Los estudiantes deben escanear colores similares a los utilizados en la etapa de clasificación y observar lo ocurrido.

- **Problema propuesto:** Se evalúa el aprendizaje y la adaptación de los estudiantes en cada etapa de experimentación, teniendo en cuenta la coherencia de los procesos y su grado de utilidad para la correcta predicción. Además se solicita a los estudiantes determinar el retraso existente entre el escaneo de un color y su predicción. Finalmente, se solicita obtener predicciones favorables para los tres colores previamente entrenados.
- **Solución esperada:** Se espera obtener porcentajes de al menos tres predicciones, las cuales indiquen una precisión para los tres colores en al menos 80 %.

### 3.6.8. EJERCICIO N°5: DETECCIÓN INTELIGENTE DE VOZ

*Micro Speech* es un script de la librería *TensorFlow Lite* que detecta palabras claves en el discurso, en esta oportunidad, se configura para poder detectar los monosílabos ingleses "Yes" & "No".

- **Resumen del procedimiento:** El experimentos de detección inteligente de voz comienza con la instalación de las librerías necesarias para el correcto funcionamiento. Se ejecuta el *script* que permitirá capturar la voz mediante el micrófono incorporado en la placa de desarrollo. Los estudiantes realizan pruebas de predicción enfocándose en hablar con voz clara los monosílabos ingleses "Yes" & "No". Dependiendo del caso de detección, la placa muestra un comportamiento en particular.
- **Problema propuesto:** Se solicita a los estudiantes probar la detección inteligente de voz, repitiendo los monosílabos "Yes" & "No". En base a lo anterior, la placa mostrará un color específico mediante el *LED RGB* incorporado en la placa de desarrollo. En específico, se solicita registrar el color y el mensaje generado por el monitor serial, para los casos en que se reconozca el monosílabo "Yes", "No" y una palabra desconocida ("*unknown*").
- **Solución esperada:** Para el monosílabo "No" se espera un color rojo y un mensaje del tipo *Heard no*. Por otro lado, "Yes" se detecta con un color verde y mensaje *Heard yes*. Para las palabras desconocidas se espera un color azul en la placa de desarrollo.

### 3.6.9. RÚBRICA

El método de evaluación establecido en el marco de trabajo (Tabla 5) indica que para poder calificar las experiencias de laboratorio se debe emplear un proceso de evaluación en base a rúbricas. Para cumplir con lo anterior, la Tabla 8 resume los ejercicios a evaluar en la presente experiencia de laboratorio. Se consideran cinco ejercicios en donde se obtiene la calificación final sumando los puntajes obtenidos después de considerar la columna “factor” de la tabla, la cual busca adaptar los puntajes a una escala de notas USM (cero a cien puntos), sin embargo, dichos factores pueden ser modificados según la preferencia del lector. Del mismo modo, es importante tener en cuenta las siguientes observaciones sobre la rúbrica diseñada:

- 1 Cada fila de la Tabla 8 corresponde a una pregunta realizada dentro del ejercicio referenciado en la columna “indicador”. El tipo de pregunta se resume en el campo de categoría y el puntaje obtenido se escribe en la casilla de logro que corresponda (Insatisfactorio [I], Básico [B], Satisfactorio [S], Óptimo [O]).
- 2 El nivel de logro obtenido en cada ejercicio se obtiene considerando el grado de cumplimiento de los objetivos y los resultados de aprendizaje en evaluación. El grado de precisión queda a criterio del evaluador y del contexto del ejercicio. Para todas las categorías de ejercicios (justificación, alternativas, respaldo y desarrollo), se utiliza la misma escala de logro (I,B,S,O).
- 3 La columna “indicador” se utiliza para referenciar la sección donde se encuentra la pregunta en evaluación. Por ejemplo, “2.4 Primeros pasos: Hello World” hace referencia a la cuarta pregunta del segundo ejercicio cuyo nombre es “Primeros pasos: Hello World”.

En Anexos B3 y B4 se expone el resultado consolidado correspondiente a la rúbrica utilizada para evaluar la tercera experiencia práctica de laboratorio.

Tabla 8: Factores adaptativos para rúbrica *Deep Learning & IoT*.  
Fuente: Elaboración Propia.

| Categoría           | Factor | Indicador  | I | B | S | O |
|---------------------|--------|--|---|---|---|---|
| Respaldo            | x1     | 1.1 Configurar placa de desarrollo en Arduino IDE        |   |   |   |   |
| Justificación       | x1     | 2.1 Primeros pasos: Hello World                          |   |   |   |   |
| Justificación       | x1     | 2.2 Primeros pasos: Hello World                          |   |   |   |   |
| Alternativas        | x1     | 2.3 Primeros pasos: Hello World                          |   |   |   |   |
| Alternativas        | x1     | 2.4 Primeros pasos: Hello World                          |   |   |   |   |
| Desarrollo          | x3     | 2.5 Primeros pasos: Hello World                          |   |   |   |   |
| Desarrollo          | x3     | 2.6 Primeros pasos: Hello World                          |   |   |   |   |
| Justificación       | x1     | 3.1 Reconocimiento de gestos: Simple Gesture Recognition |   |   |   |   |
| Justificación       | x1     | 3.2 Reconocimiento de gestos: Simple Gesture Recognition |   |   |   |   |
| Justificación       | x1     | 3.3 Reconocimiento de gestos: Simple Gesture Recognition |   |   |   |   |
| Desarrollo          | x3     | 3.4 Reconocimiento de gestos: Simple Gesture Recognition |   |   |   |   |
| Justificación       | x1     | 4.1 Detección inteligente de colores: Color Detection    |   |   |   |   |
| Justificación       | x1     | 4.2 Detección inteligente de colores: Color Detection    |   |   |   |   |
| Justificación       | x1     | 4.3 Detección inteligente de colores: Color Detection    |   |   |   |   |
| Justificación       | x1     | 4.4 Detección inteligente de colores: Color Detection    |   |   |   |   |
| Justificación       | x1     | 4.5 Detección inteligente de colores: Color Detection    |   |   |   |   |
| Alternativas        | x1     | 4.6 Detección inteligente de colores: Color Detection    |   |   |   |   |
| Desarrollo          | x3     | 4.7 Detección inteligente de colores: Color Detection    |   |   |   |   |
| Alternativas        | x1     | 5.1 Detección inteligente de Voz: Micro Speech           |   |   |   |   |
| Justificación       | x1     | 5.2 Detección inteligente de Voz: Micro Speech           |   |   |   |   |
| Alternativas        | x1     | 5.3 Detección inteligente de Voz: Micro Speech           |   |   |   |   |
| Justificación       | x1     | 5.4 Detección inteligente de Voz: Micro Speech           |   |   |   |   |
| Alternativas        | x1     | 5.5 Detección inteligente de Voz: Micro Speech           |   |   |   |   |
| <b>Subtotal</b>     |        |  |   |   |   |   |
| <b>Calificación</b> |        |  |   |   |   |   |

## CAPÍTULO 4

### VALIDACIÓN DE LA SOLUCIÓN

En la presente sección se realizan esfuerzos para determinar e implementar una estrategia que permita validar la propuesta de solución detallada en este proyecto de memoria. Para lo anterior, se considera el contexto del problema, la finalidad de su solución y los recursos disponibles para obtener una validación lo más prolija posible y que ponga a prueba los objetivos de esta memoria.

Considerando que las experiencias prácticas de laboratorio se definen como contenido de aprendizaje práctico y presencial, idealmente, bajo un entorno controlado y a cargo de moderadores, se decide implementar estas prácticas bajo las condiciones más adecuadas posibles. De esta manera, se podrá obtener una retroalimentación inclusiva, que considere la mayor cantidad de involucrados ligados al proceso de aprendizaje.

El proceso de validación considera tres grandes etapas; en primer lugar se establecen los criterios de validación y los resultados mínimos esperados, para luego proceder a detallar los resultados obtenidos de la implementación presencial realizada por cada experiencia práctica diseñada. Finalmente, se analiza el *feedback* obtenido como proceso de mejora continua.

#### 4.1. CRITERIOS DE VALIDACIÓN

Con el fin de establecer una estrategia base que refleje un protocolo de aplicación unificado de las experiencias prácticas de laboratorio, se decide detallar actividades principales a realizar, el entorno de experimentación, los participantes objetivo y los resultados mínimos esperados.

##### 4.1.1. ACTIVIDADES PRINCIPALES

Poder detallar las principales actividades que se deben realizar en el proceso de implementación de las tres experiencias prácticas de laboratorio, permite mitigar factores externos que pueden alterar los resultados obtenidos y facilita el análisis de las potenciales mejoras y observaciones sugeridas por los estudiantes.

En el proceso de implementación de las experiencias prácticas diseñadas, se distinguen tres grandes etapas, las cuales tienen directa relación con el *ciclo Deming*<sup>23</sup>, el cual se basa en la mejora continua de los procesos. Dichas etapas serán denominadas inicial, intermedia y final; las cuales considerarán las siguientes actividades.

---

<sup>23</sup><https://deming.org/explore/pdsa/>

### **I. ETAPA INICIAL**

Recopilación y revisión de materiales

Pruebas de funcionamiento en placas de desarrollo

Registro de participantes

Entrega de enunciado y materiales

Preparación de plataformas

### **II. ETAPA INTERMEDIA**

Bienvenida y explicación del proyecto

Lectura de enunciado

Desarrollo de ejercicio de configuración en conjunto

### **III. ETAPA FINAL**

Recopilación de desarrollos y materiales

Desarrollo de encuesta de satisfacción

Registro de salida

#### **4.1.2. ENTORNO DE EXPERIMENTACIÓN**

La infraestructura necesaria para un correcto proceso de implementación de las experiencias prácticas de laboratorio debe considerar el mismo entorno que origina el problema y aquellas mínimas condiciones que aseguren el cumplimiento de todas las actividades.

A continuación, se detallan los criterios considerados para determinar el lugar de experimentación apropiado dentro del Campus San Joaquín de la UTFSM.

1. El acceso al laboratorio debe ser de fácil reconocimiento por parte de los involucrados en el proceso.
2. Se debe proporcionar el mobiliario adecuado para la realización de la experiencia, incluyendo adecuada iluminación y ventilación.
3. El entorno debe asegurar las condiciones mínimas de concentración y exclusividad de acceso por el tiempo en que dure el proceso.
4. Los estudiantes deben contar con espacios individuales de uso, sin afectar el procedimiento empírico de sus pares.
5. El laboratorio debe contar con un lugar para dar instrucciones, consejos y apoyo multimedia necesarios para una correcta introducción al procedimiento.
6. El lugar de experimentación debe contar con las condiciones sanitarias adecuadas y acordes a los protocolos vigentes de la universidad.

#### **4.1.3. PARTICIPANTES OBJETIVO**

La retroalimentación obtenida es uno de los pilares fundamentales para poder validar correctamente la propuesta de solución de este proyecto de memoria. Para lograr lo anterior, se hace necesario definir los participantes objetivo que se considerarán para la implementación de las tres experiencias.

A continuación se definen los mínimos criterios a considerar para poder encontrar los idóneos participantes en el proceso de implementación.

1. Los participantes deben estar cursando una carrera de pregrado dictada por el Departamento de Informática de la Universidad Técnica Federico Santa María.
2. Los participantes han cursado o están cursando al menos una asignatura TIC al primer semestre del año 2022.
3. Los participantes deben tener acceso al Campus San Joaquín de la UTFSM.
4. Los participantes deben estar matriculados al primer semestre del año 2022.
5. Los participantes deben estar disponibles en los rangos de tiempo definidos en cada protocolo de aplicación (Tablas 9, 10, 11).

#### **4.1.4. RESULTADOS MÍNIMOS ESPERADOS**

Poder establecer los resultados mínimos esperados en la etapa de implementación permite generar expectativas asociadas a la calidad del contenido de aprendizaje creado. Además, se pueden analizar de mejor forma las fortalezas y debilidades encontradas en el proceso para esclarecer si la solución propuesta es realmente útil y efectiva. A continuación, se presentan los resultados mínimos esperados para la implementación de las tres experiencias prácticas de laboratorio.

1. La duración promedio de la experiencia debe adaptarse a los bloques de clase dictados por la universidad. (1 clase = 2 bloques = 90 [min] aprox)
2. La media aritmética de las calificaciones obtenidas por experiencia práctica de laboratorio debe considerar al menos 75 % de logro (75 puntos).
3. La cantidad de participantes considerados debe ser mayor o igual al 50 % de los recursos materiales disponibles en cada experiencia. (Capacidad máxima = 15 participantes = 15 placas de desarrollo).

4. En la encuesta de salida, el grado de conformidad con respecto al enunciado y las instrucciones descritas debe obtener puntajes mayor o igual a cuatro puntos por cada experiencia. (Escala 1 a 7)
5. En la encuesta de salida, el grado de conformidad con respecto a las instrucciones y contexto dado por el ayudante a cargo debe obtener puntajes mayor o igual a cuatro puntos por cada experiencia. (Escala 1 a 7)
6. En la encuesta de salida, el grado de conformidad con respecto al cumplimiento de objetivos debe obtener puntajes mayor o igual a cuatro puntos por cada experiencia. (Escala 1 a 7)

## **4.2. IMPLEMENTACIÓN EXPERIENCIA N°1: ONBOARDING IOT**

El día *Martes 29 de Marzo del 2022*, en el Laboratorio de Programación Avanzada (LPA) del Campus San Joaquín de la UTFSM, se realizó la implementación de la primera experiencia práctica de laboratorio, dentro de los bloques 1-2-3-4 correspondientes al rango horario de 08:15 AM hasta las 10:45 AM. El proceso fue realizado gracias a la ayuda de 14 participantes. Registros gráficos del proceso se exponen en Figura 10.

### **4.2.1. PROTOCOLO DE APLICACIÓN**

Las principales actividades realizadas en la implementación de la primera experiencia práctica de laboratorio se resumen en un protocolo de aplicación presente en la Tabla 9.

Se observa que las actividades descritas son distribuidas estratégicamente entre los cuatro bloques de tiempo disponibles para el proceso de implementación. Estas actividades son lideradas por el ayudante a cargo de la experiencia y en todo momento se debe registrar las principales observaciones que puedan ser útiles para el mejoramiento continuo del contenido práctico de aprendizaje.

Se comienza con un chequeo de los materiales solicitados al Departamento de Informática del Campus San Joaquín, los cuales son sometidos a pruebas básicas de funcionamiento para asegurar que estos se encuentren con la misma configuración y seteo de parámetros.

Después de proporcionar los materiales y registrar a los participantes, se procede a entregar el enunciado de la experiencia el cual resume todas las instrucciones, ejercicios y consejos necesarios para un correcto desarrollo del laboratorio.

Se comprueba el correcto funcionamiento de las plataformas necesarias para la experimentación y se les da la bienvenida a los participantes comentando el contexto y los objetivos del proyecto de memoria, para luego proceder a dar lectura del enunciado y resolver el ejercicio

de configuración e instalación de controladores para la placa de desarrollo *Arduino Nano 33 BLE Sense*. Después de responder las dudas que puedan surgir en el proceso de lectura y configuración, comienza el trabajo individual por parte de los estudiantes hasta completar todos los ejercicios propuestos.

Finalmente, al terminar los ejercicios y haber respaldado los desarrollos, los estudiantes proceden a responder una encuesta de salida ligada al grado de satisfacción con la experiencia práctica de laboratorio realizada.

Tabla 9: Protocolo de aplicación para experiencia OnBoarding IoT.  
Fuente: Elaboración Propia.

| Lugar  | LPA                         |  |
|--------|-----------------------------|--|
| Fecha  | Martes 29 de Marzo del 2022 |  |
| Bloque | Horario                     | Actividad  |
| 1      | 8:15 - 8:50                 | Checklist Materiales<br>Prueba Placas<br>Checklist Participantes<br>Entrega Enunciado<br>Preparación Arduino IDE |
| 2      | 8:50 - 9:05                 | Bienvenida<br>Lectura Enunciado<br>Ejercicio 1 en conjunto   |
| 3      | 9:05 - 10:35                | Desarrollo Experiencia   |
| 4      | 10:35 - 10:45               | Encuesta Salida<br>Checklist Salida<br>Entrega Materiales  |

#### 4.2.2. RESULTADOS

Teniendo en cuenta que el proceso de implementación considera la propuesta de solución descrita en secciones anteriores, es necesario poder calificar los desarrollos entregados por los participantes considerando las estrategias de evaluación descritas dentro de la misma propuesta de solución. En particular, para la primera experiencia de laboratorio se diseña una rúbrica descrita por la Tabla 6.

Considerando las calificaciones obtenidas y el registro temporal realizado por el ayudante de la experiencia, se tienen las condiciones de poder entregar los resultados cuantitativos asociados al proceso de implementación de la primera experiencia práctica de laboratorio.

### I. CALIFICACIONES

Media aritmética: **89.5 [Pts]**

Mediana: **94 [Pts]**

Calificación mayor: **94 [Pts]**

Calificación menor: **73 [Pts]**

### II. DURACIÓN

Tiempo Preparación: **40 - 45 [min]**

Lectura enunciado: **20 [min]**

Hora inicio: **08:51 [Hrs]**

Primer estudiante finalizar: **10:25 [Hrs]**

Último estudiante finalizar: **11:10 [Hrs]**

Media duración experiencia: **94 [min]**



Figura 10: Imágenes Implementación Experiencia N°1: OnBoarding IoT.  
Fuente: Elaboración Propia.

#### 4.2.3. ENCUESTA DE SALIDA

El proceso de implementación de experiencias considera un entorno de validación inclusivo, que permita generar las condiciones para obtener la mayor cantidad de observaciones por parte de los principales beneficiarios de este proyecto. Para cumplir lo anterior, es de vital importancia poder conocer el grado de satisfacción que tuvieron los estudiantes en las distintas etapas del proceso.

Con respecto al grado de conocimiento de los contenidos en estudio, casi la totalidad de los estudiantes (93 %) habían escuchado sobre el concepto IoT, sin embargo, sólo el 57 % de los participantes reconocen haber estudiado contenidos relacionados a IoT en asignaturas TIC.

La Figura 11 resume el grado de conformidad que tuvieron los estudiantes ante diversos aspectos de la experiencia implementada. En primer lugar, once de los catorce participantes

se sienten muy conformes con el contenido e instrucciones del enunciado, el desempeño del ayudante y el cumplimiento de los objetivos propuestos para la experiencia, lo que se traduce en que al menos un 78 % de los estudiantes han otorgado el máximo puntaje posible (7 puntos).

Los participantes restantes han otorgado puntajes entre cinco y seis grados de conformidad en todas las áreas de consulta (Escala de 1 a 7 puntos). Es importante señalar que no se han obtenido grados de conformidad que sean menores a cinco puntos.

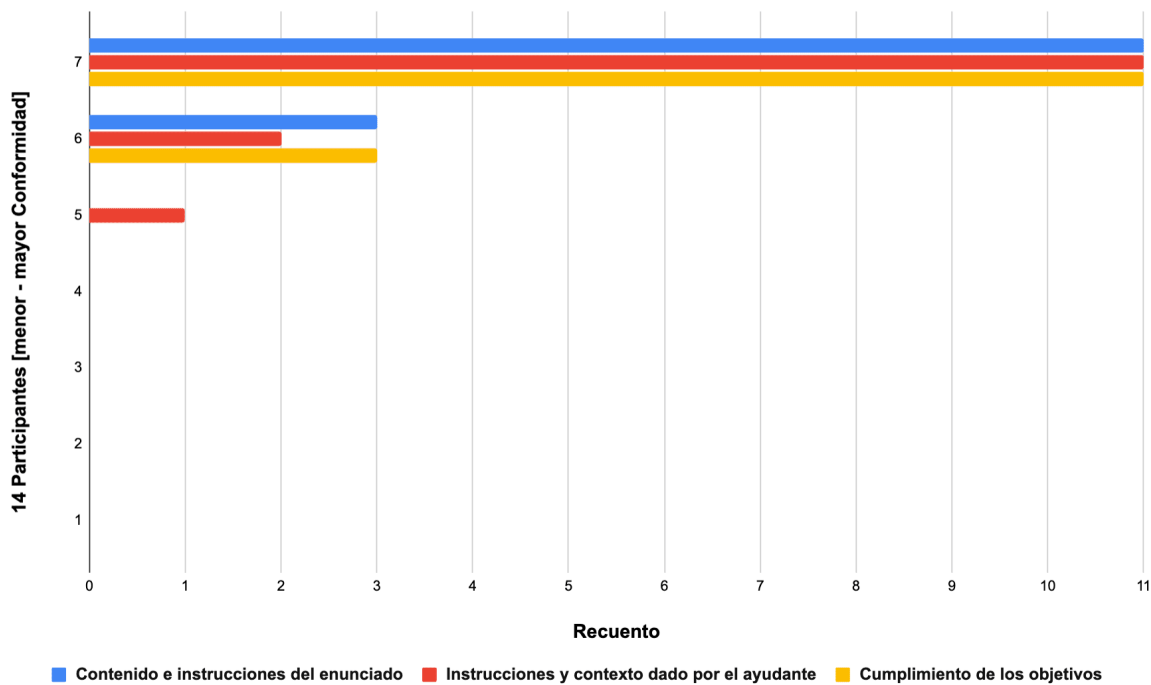


Figura 11: [Parte 1 de 2] Encuesta de Salida Experiencia N°1: OnBoarding IoT.  
Fuente: Elaboración Propia.

La Figura 12 resume los grados de importancia que otorgaron los participantes a la implementación de experiencias prácticas de laboratorio bajo distintos contextos considerados. En primer lugar, se observa que doce de los catorce participantes califican como muy importante la implementación de experiencias prácticas de laboratorio dentro del Departamento de Informática de la UTFSM, los cuales corresponden a un poco más del 85 % de los encuestados. Los restantes participantes han otorgado niveles de importancia mayores o iguales a cinco puntos (Escala de 1 a 7 puntos).

En otro aspecto, nueve de los catorce encuestados manifiestan como muy importante las experiencias prácticas de laboratorio para la asignatura TIC actualmente en curso. En esta área se obtienen los resultados más bajos de todas las preguntas, obteniendo incluso tres puntos por parte de un participante (Escala de 1 a 7).

Finalmente, el nivel de importancia para la incorporación de experiencias prácticas bajo el contexto IoT en asignaturas TIC, recibe un gran respaldo por los participantes. Doce de los catorce estudiantes consideran de gran importancia la propuesta, correspondiendo a más del 85 % de los encuestados. Además, los restantes participantes otorgan un nivel de importancia un punto menor, correspondiente al valor seis de siete niveles máximos.

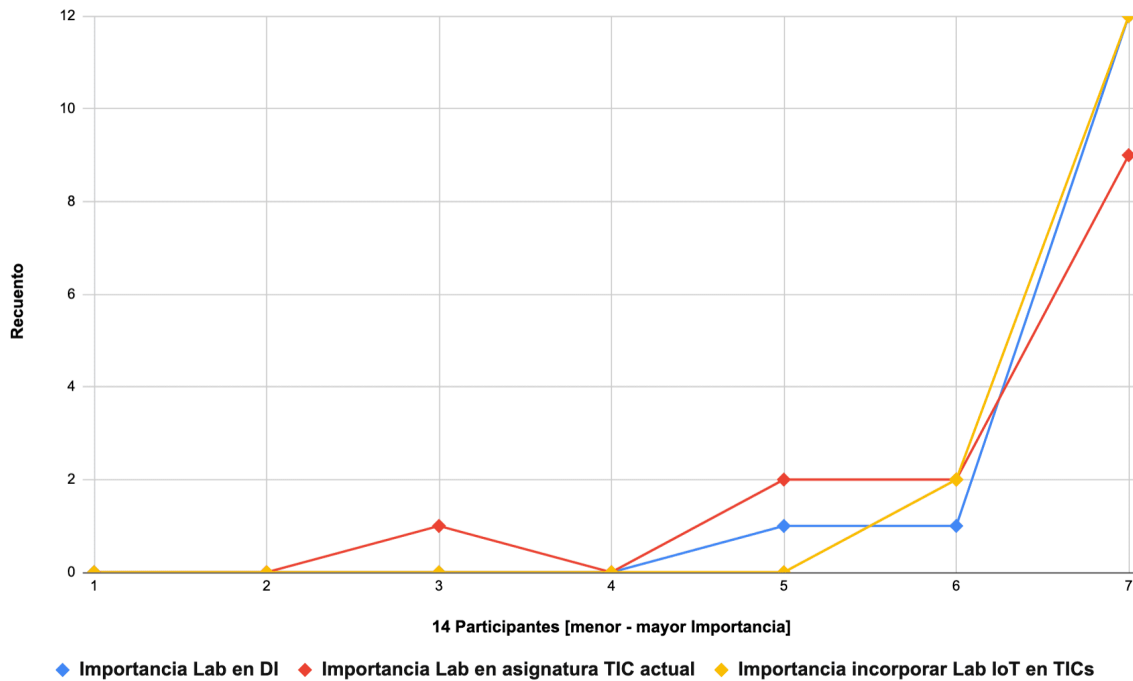


Figura 12: [Parte 2 de 2] Encuesta de Salida Experiencia N°1: OnBoarding IoT.  
Fuente: Elaboración Propia.

#### 4.2.4. OBSERVACIONES

Dentro del proceso de implementación, es muy importante poder identificar los posibles factores que pueden afectar en la calidad del contenido de aprendizaje en estudio, así como también, las posibles dudas que puedan surgir por parte de los participantes, todo lo anterior, con el fin de mejorar la experiencia práctica de laboratorio. A continuación, se presentan las observaciones registradas por el ayudante en las etapas de implementación y posterior revisión de los desarrollos.

## I OBSERVACIONES DURANTE EL PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN

- 1 Al menos un estudiante se confundió sobre cuál LED es el que debe parpadear (Led verde = On/Off; Led Naranja = Utilizado en la experiencia).
- 2 Algunos estudiantes instalaron Arduino IDE en sistema operativo *Linux*, indican que se debe correr el software vía *sudo* para su correcto funcionamiento.
- 3 Varios estudiantes consultan sobre la forma de respaldar sus desarrollos y entregar su trabajo.
- 4 En *Windows*, al ejecutar un nuevo script se cambia el puerto de conexión en *Arduino IDE*, se debe volver a configurar de forma manual.
- 5 Estudiantes sugieren detallar con un ejemplo lo que se espera lograr en actividades de desarrollo.
- 6 Estudiantes consultan sobre la posibilidad de guardar sus desarrollos en formato *.ino* (Extensión de *Arduino*).
- 7 Se observa un desconocimiento general sobre el funcionamiento de un giroscopio y sus aplicaciones.
- 8 Mencionar en el enunciado que desactivando la opción “*AutoScroll*” se pueden copiar y pegar las mediciones a registrar.
- 9 Se observan problemas en comprender el sentido horario y antihorario en el funcionamiento del giroscopio.
- 10 Estudiantes recomiendan agregar al enunciado la altura sobre el nivel del mar de los distintos campus de la universidad.

## II OBSERVACIONES DURANTE EL PROCESO DE REVISIÓN

- 1 La mayoría de inconvenientes detectados tienen que ver con una confusión entre las direcciones de sentido horario y antihorario en la actividad N°4 sobre el uso del acelerómetro y giroscopio.
- 2 Inconvenientes menores con el parpadeo del ejercicio N°2, distintas interpretaciones: parpadeo 3 veces y luego esperar 5 segundos vs parpadeo 3 veces con una espera de 5 segundos entre parpadeo.
- 3 En el ejercicio N° 5 algunos estudiantes no consideran el aumento de frecuencia de parpadeo del LED a medida que se acerca un objeto, sólo es un valor constante.
- 4 Se identifican problemas comunes de exportación y falla de compilación en Scripts.

### 4.3. IMPLEMENTACIÓN EXPERIENCIA N°2: BLE

El día *Martes 10 de Mayo del 2022*, en el Laboratorio de Programación Avanzada (LPA) del Campus San Joaquín de la UTFSM, se realizó la implementación de la segunda experiencia práctica de laboratorio, dentro de los bloques 1-2-3-4 correspondientes al rango horario de 08:15 AM hasta las 10:45 AM. El proceso fue realizado gracias a la ayuda de 11 participantes. Registros gráficos del proceso se exponen en Figura 13.

#### 4.3.1. PROTOCOLO DE APLICACIÓN

Las principales actividades realizadas en la implementación de la segunda experiencia práctica de laboratorio se resumen en un protocolo de aplicación presente en la Tabla 10.

Se observa que las actividades descritas son distribuidas estratégicamente entre los cuatro bloques de tiempo disponibles para el proceso de implementación. Estas actividades son lideradas por el ayudante a cargo de la experiencia y en todo momento se debe registrar las principales observaciones que puedan ser útiles para el mejoramiento continuo del contenido práctico de aprendizaje.

Se comienza con un chequeo de los materiales solicitados al Departamento de Informática del Campus San Joaquín, los cuales son sometidos a pruebas básicas de funcionamiento para asegurar que estos se encuentren con la misma configuración y seteo de parámetros.

Después de proporcionar los materiales y registrar a los participantes, se procede a entregar el enunciado de la experiencia el cual resume todas las instrucciones, ejercicios y consejos necesarios para un correcto desarrollo del laboratorio.

Se comprueba el correcto funcionamiento de las plataformas necesarias para la experimentación, específicamente las aplicaciones móviles que requieren emitir y capturar frames BLE. Luego, se les da la bienvenida a los participantes comentando el contexto y los objetivos del proyecto de memoria, para luego proceder a dar lectura del enunciado y resolver el ejercicio de configuración e instalación de controladores para la placa de desarrollo *Arduino Nano 33 BLE Sense*. Después de responder las dudas que puedan surgir en el proceso de lectura y configuración, comienza el trabajo individual por parte de los estudiantes hasta completar todos los ejercicios propuestos.

Finalmente, al terminar los ejercicios y haber respaldado los desarrollos, los estudiantes proceden a responder una encuesta de salida ligada al grado de satisfacción con la experiencia práctica de laboratorio realizada.

Tabla 10: Protocolo de aplicación para experiencia BLE.

Fuente: Elaboración Propia.

| Lugar  | LPA                        |   |
|--------|----------------------------|---|
| Fecha  | Martes 10 de Mayo del 2022 |   |
| Bloque | Horario                    | Actividad   |
| 1      | 8:15 - 8:50                | Checklist Materiales<br>Prueba Placas<br>Checklist Participantes<br>Entrega Enunciado<br>Preparación Apps |
| 2      | 8:50 - 9:05                | Bienvenida<br>Lectura Enunciado<br>Ejercicio 1 en conjunto  |
| 3      | 9:05 - 10:35               | Desarrollo Experiencia  |
| 4      | 10:35 - 10:45              | Encuesta Salida<br>Checklist Salida<br>Entrega Materiales   |

#### 4.3.2. RESULTADOS

Teniendo en cuenta que el proceso de implementación considera la propuesta de solución descrita en secciones anteriores, es necesario poder calificar los desarrollos entregados por los participantes considerando las estrategias de evaluación descritas dentro de la misma propuesta de solución. En particular, para la segunda experiencia de laboratorio se diseña una rúbrica descrita por la Tabla 7.

Considerando las calificaciones obtenidas y el registro temporal realizado por el ayudante de la experiencia, se tienen las condiciones de poder entregar los resultados cuantitativos asociados al proceso de implementación de la segunda experiencia práctica de laboratorio.

## I. CALIFICACIONES

Media aritmética: **92.7 [Pts]**

Mediana: **94 [Pts]**

Calificación mayor: **100 [Pts]**

Calificación menor: **77 [Pts]**

## II. DURACIÓN

Tiempo Preparación: **20 [min]**

Lectura enunciado: **11 [min]**

Hora inicio: **08:46 [Hrs]**

Primer estudiante finalizar: **10:00 [Hrs]**

Último estudiante finalizar: **11:36 [Hrs]**

Media duración experiencia: **90 [min]**



Figura 13: Imágenes Implementación Experiencia N°2: BLE.  
Fuente: Elaboración Propia.

### 4.3.3. ENCUESTA DE SALIDA

El proceso de implementación de experiencias considera un entorno de validación inclusivo, que permita generar las condiciones para obtener la mayor cantidad de observaciones por parte de los principales beneficiarios de este proyecto. Para cumplir lo anterior, es de vital importancia poder conocer el grado de satisfacción que tuvieron los estudiantes en las distintas etapas del proceso.

Con respecto al grado de conocimiento de los contenidos en estudio, la totalidad de los estudiantes (100 %) habían escuchado sobre el concepto IoT, sin embargo, sólo el 82 % de los participantes reconocen haber estudiado contenidos relacionados a IoT en asignaturas TIC.

La Figura 14 resume el grado de conformidad que tuvieron los estudiantes ante diversos aspectos de la experiencia implementada. En primer lugar, siete de los once participantes se sienten muy conformes con el contenido e instrucciones del enunciado diseñado para la implementación de la experiencia práctica de laboratorio en estudio, lo que corresponde al 64 % de los estudiantes encuestados. El resto de participantes han calificado el grado

de importancia del enunciado proporcionado con al menos cinco puntos, considerando un máximo de siete.

Con respecto al desempeño del ayudante a cargo de la experiencia, se puede mencionar que nueve de los once estudiantes han otorgado el nivel máximo de conformidad, correspondiendo al 82 % de los encuestados. Los restantes participantes califican el desempeño del ayudante con un nivel menor, correspondiendo a dos de los once participantes.

Finalmente, el grado de conformidad con respecto al cumplimiento de los objetivos de la experiencia obtiene niveles casi perfectos. Diez de los once participantes manifiestan sentirse conformes con el grado de cumplimiento de los objetivos descritos para la experiencia, correspondiendo al 91 % del total. Uno de los once participantes califica con nivel seis de siete, el grado de cumplimiento de objetivos.

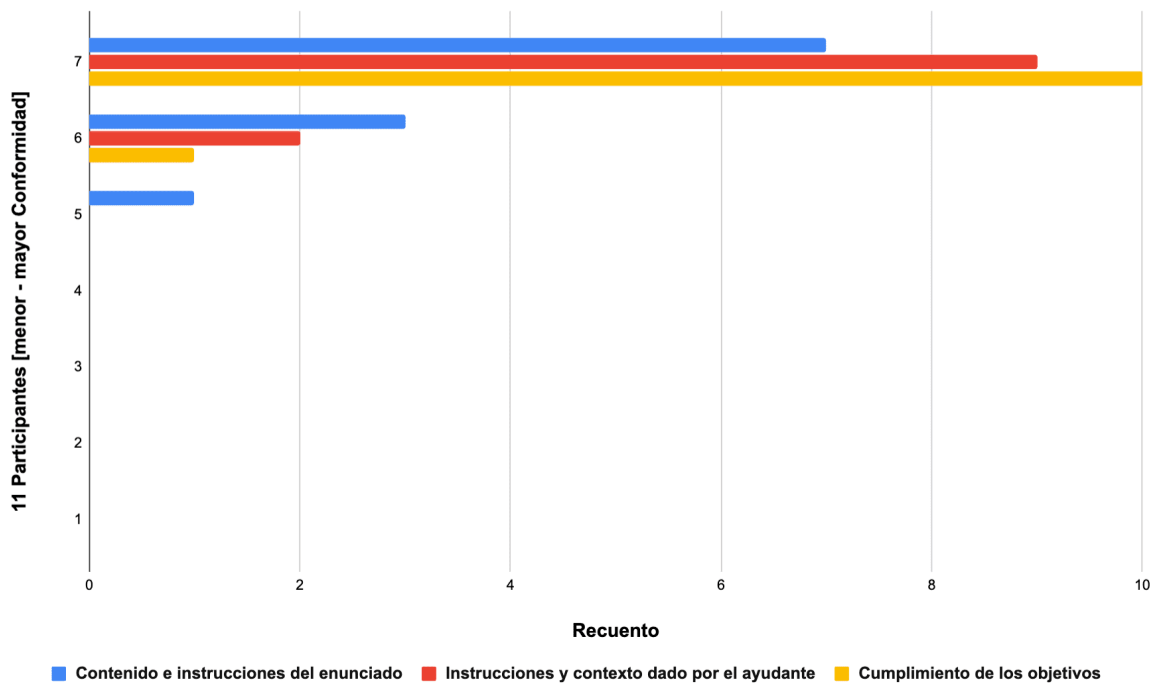


Figura 14: [Parte 1 de 2] Encuesta de Salida Experiencia N°2: BLE.  
Fuente: Elaboración Propia.

La Figura 15 resume los grados de importancia que otorgaron los participantes a la implementación de experiencias prácticas de laboratorio bajo distintos contextos considerados. En primer lugar, se observa que diez de los once participantes califican como muy importante la implementación de experiencias prácticas de laboratorio dentro del Departamento de Informática de la UTFSM, los cuales alcanzan el 91 % de los encuestados. Los restantes participantes han otorgado niveles de importancia de seis puntos (Escala de 1 a 7 puntos).

En otro aspecto, siete de los once encuestados manifiestan como muy importante las expe-

riencias prácticas de laboratorio para la asignatura TIC actualmente en curso. En esta área se obtienen los resultados más bajos de todas las preguntas, obteniendo incluso cinco puntos por parte de dos participantes (Escala de 1 a 7).

Finalmente, el nivel de importancia para la incorporación de experiencias prácticas bajo el contexto IoT en asignaturas TIC genera prometedores resultados. Ocho de los once estudiantes consideran de gran importancia la propuesta, correspondiente al 73 % de los encuestados. Además, los restantes participantes otorgan un nivel de importancia un punto menor, equivalente al valor seis de siete niveles máximos.

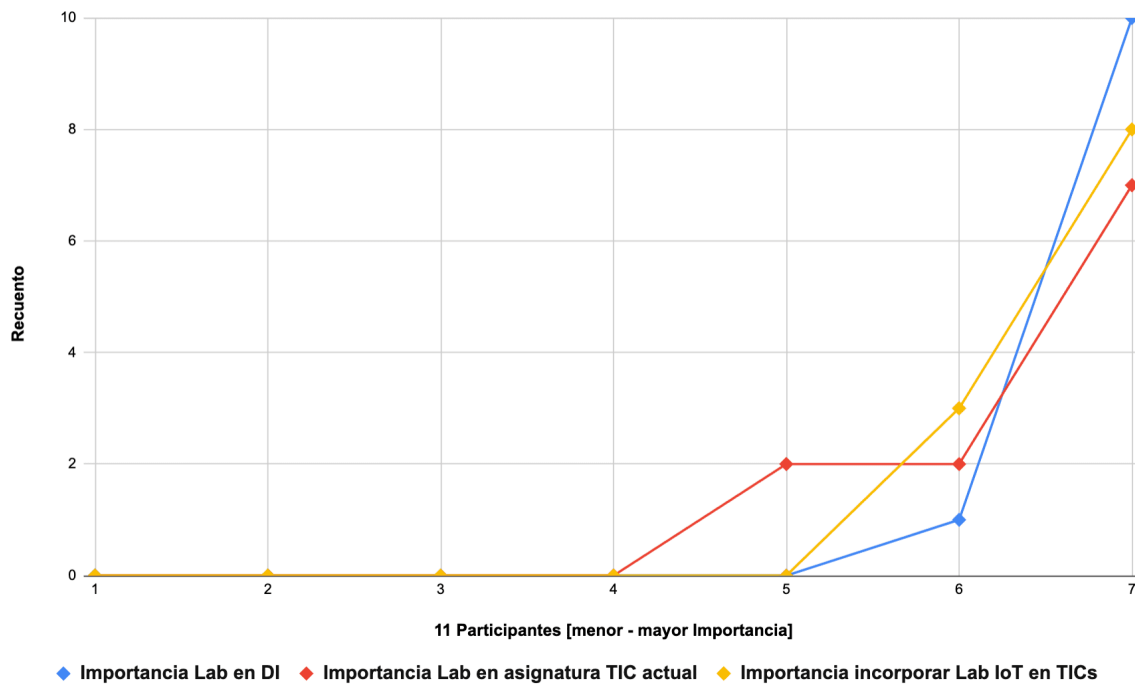


Figura 15: [Parte 2 de 2] Encuesta de Salida Experiencia N°2: BLE.  
Fuente: Elaboración Propia.

#### 4.3.4. OBSERVACIONES

Dentro del proceso de implementación, es muy importante poder identificar los posibles factores que pueden afectar en la calidad del contenido de aprendizaje en estudio, así como también, las posibles dudas que puedan surgir por parte de los participantes, todo lo anterior, con el fin de mejorar la experiencia práctica de laboratorio. A continuación, se presentan las observaciones registradas por el ayudante en las etapas de implementación y posterior revisión de los desarrollos.

## I OBSERVACIONES DURANTE EL PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN

- 1 Estudiantes indican tener confusión al conectarse a la app “nRF connect for mobile”, principalmente al reconocer el servicio generado por el script “LED”. Se indica que para encontrar la característica “A1214” se debe presionar el ID del servicio configurado en pasos anteriores y aparecerá una lista desplegable con la característica.
- 2 Estudiantes manifiestan tener confusión al ver los mensajes de estado al momento de compilar un script en Arduino IDE, ya que arroja dichos estados en color rojo, connotando como si esto fueran warnings. Se les indica que si en el proceso de compilación se detectan warnings el script no pasaría la fase de traspaso del código hacia la placa Arduino.
- 3 Se detectó un smartphone con SO Android que escaneaba frames BLE pero no permitía conectarse a los servicios implementados. Se toma nota para investigar la compatibilidad de NRF connect con esta versión de smartphone reportada (1 caso de 11 participantes)
- 4 Al no existir un valor de distancia de alejamiento entre la placa y el smartphone en el ejercicio 2.5, algunos estudiantes interpretaban esto como alejarse de forma exagerada. (más de 5 metros). Se sugiere poner una distancia prudente de 1 metro de separación en el enunciado del ejercicio 2.5
- 5 Estudiantes reportan diferencia de interfaz gráfica en la app “nRF connect for mobile” específicamente al configurar un advertiser (Ejercicio 3). Se debe considerar este cambio de interfaz entre iOS & Android para corregir el enunciado de la experiencia.
- 6 El ayudante se percató que en los ejercicios de desarrollo algunos estudiantes modificaban los scripts utilizando estructuras de datos que demandan mucha memoria (Loops, Listas), esto se traducía en errores de compilación por falta de memoria y/o en largos tiempos de compilación.

## II OBSERVACIONES DURANTE EL PROCESO DE REVISIÓN

- 1 Algunos estudiantes no adjuntan capturas de pantalla o respaldo de ejercicios de justificación y alternativas.
- 2 Con respecto a los ejercicios de desarrollo existe una considerable similitud entre las soluciones de los estudiantes y las proporcionadas en la fase de diseño de esta experiencia.
- 3 Se observa que los ejercicios de justificación sirven como prueba para detectar el grado de entendimiento del estudiante a los procedimientos empíricos, ya que ellos con sus propias palabras definen el fenómeno. En general, se observa un correcto uso de conceptos teóricos y respuestas coherentes a la pauta.
- 4 Todos los estudiantes cumplieron con los formatos de entrega mencionados al comienzo de la experiencia.

- 5 La mayor dificultad observada se encuentra en el ejercicio 3, en donde se denota una confusión entre el identificador del servicio y el UUID de las características (dicha confusión puede ser resuelta estudiando la imagen 2 presente en marco teórico).
- 6 Se observa un aprendizaje y rápida adaptación al desarrollo de la experiencia gracias al uso del mismo formato y diseño de la experiencia anterior (N°1: OnBoarding IoT)

#### **4.4. IMPLEMENTACIÓN EXPERIENCIA N°3: DEEP LEARNING & IOT**

El día *Martes 14 de Junio del 2022*, en el Laboratorio de Programación Avanzada (LPA) del Campus San Joaquín de la UTFSM, se realizó la implementación de la tercera experiencia práctica de laboratorio, dentro de los bloques 1-2-3-4 correspondientes al rango horario de 08:15 AM hasta las 10:45 AM. El proceso fue realizado gracias a la ayuda de 8 participantes. Registros gráficos del proceso se exponen en Figura 16.

##### **4.4.1. PROTOCOLO DE APLICACIÓN**

Las principales actividades realizadas en la implementación de la tercera experiencia práctica de laboratorio se resumen en un protocolo de aplicación presente en la Tabla 11.

Se observa que las actividades descritas son distribuidas estratégicamente entre los cuatro bloques de tiempo disponibles para el proceso de implementación. Estas actividades son lideradas por el ayudante a cargo de la experiencia y en todo momento se debe registrar las principales observaciones que puedan ser útiles para el mejoramiento continuo del contenido práctico de aprendizaje.

Se comienza con un chequeo de los materiales solicitados al Departamento de Informática del Campus San Joaquín, los cuales son sometidos a pruebas básicas de funcionamiento para asegurar que estos se encuentren con la misma configuración y seteo de parámetros.

Después de proporcionar los materiales y registrar a los participantes, se procede a entregar el enunciado de la experiencia el cual resume todas las instrucciones, ejercicios y consejos necesarios para un correcto desarrollo del laboratorio.

Se comprueba el correcto funcionamiento de las plataformas necesarias para la experimentación, específicamente el correcto acceso a *Google Colaboratory* con permisos para ejecutar *notebooks* (.ipynb). Luego, se les da la bienvenida a los participantes comentando el contexto y los objetivos del proyecto de memoria, para luego proceder a dar lectura del enunciado y resolver el ejercicio de configuración e instalación de controladores para la placa de desarrollo *Arduino Nano 33 BLE Sense*. Después de responder las dudas que puedan surgir en el proceso de lectura y configuración, comienza el trabajo individual por parte de los estudiantes hasta completar todos los ejercicios propuestos.

Finalmente, al terminar los ejercicios y haber respaldado los desarrollos, los estudiantes proceden a responder una encuesta de salida ligada al grado de satisfacción con la experiencia práctica de laboratorio realizada.

Tabla 11: Protocolo de aplicación para experiencia Deep Learning & IoT.  
Fuente: Elaboración Propia.

| Lugar  | LPA                         |  |
|--------|-----------------------------|--|
| Fecha  | Martes 14 de Junio del 2022 |  |
| Bloque | Horario                     | Actividad  |
| 1      | 8:15 - 8:50                 | Checklist Materiales<br>Prueba Placas<br>Checklist Participantes<br>Entrega Enunciado<br>Preparación Plataformas |
| 2      | 8:50 - 9:05                 | Bienvenida<br>Lectura Enunciado<br>Ejercicio 1 en conjunto   |
| 3      | 9:05 - 10:35                | Desarrollo Experiencia   |
| 4      | 10:35 - 10:45               | Encuesta Salida<br>Checklist Salida<br>Entrega Materiales  |

#### 4.4.2. RESULTADOS

Teniendo en cuenta que el proceso de implementación considera la propuesta de solución descrita en secciones anteriores, es necesario poder calificar los desarrollos entregados por los participantes considerando las estrategias de evaluación descritas dentro de la misma propuesta de solución. En particular, para la tercera experiencia de laboratorio se diseña una rúbrica descrita por la Tabla 8.

Considerando las calificaciones obtenidas y el registro temporal realizado por el ayudante de la experiencia, se tienen las condiciones de poder entregar los resultados cuantitativos asociados al proceso de implementación de la tercera experiencia práctica de laboratorio.

## I. CALIFICACIONES

Media aritmética: **95.4 [Pts]**

Mediana: **96 [Pts]**

Calificación mayor: **100 [Pts]**

Calificación menor: **88 [Pts]**

## II. DURACIÓN

Tiempo Preparación: **24 [min]**

Lectura enunciado: **9 [min]**

Hora inicio: **08:39 [Hrs]**

Primer estudiante finalizar: **09:40 [Hrs]**

Último estudiante finalizar: **10:18 [Hrs]**

Media duración experiencia: **74 [min]**



Figura 16: Imágenes Implementación Experiencia N°3: Deep Learning & IoT.  
Fuente: Elaboración Propia.

### 4.4.3. ENCUESTA DE SALIDA

El proceso de implementación de experiencias considera un entorno de validación inclusivo, que permita generar las condiciones para obtener la mayor cantidad de observaciones por parte de los principales beneficiarios de este proyecto. Para cumplir lo anterior, es de vital importancia poder conocer el grado de satisfacción que tuvieron los estudiantes en las distintas etapas del proceso.

Con respecto al grado de conocimiento de los contenidos en estudio, la totalidad de los estudiantes (100 %) habían escuchado sobre el concepto IoT, además también reconocen haber estudiado contenidos relacionados a IoT en asignaturas TIC.

La Figura 17 resume el grado de conformidad que tuvieron los estudiantes ante diversos aspectos de la experiencia implementada. Se observa que siete de los ocho participantes se sienten muy conformes con el contenido e instrucciones del enunciado, el desempeño del ayudante y el cumplimiento de los objetivos propuestos para la experiencia, lo que se traduce en que al menos un 88 % de los estudiantes han otorgado el máximo puntaje posible.

Los participantes restantes han otorgado seis grados de conformidad en todas las áreas de consulta (Escala de 1 a 7 puntos).

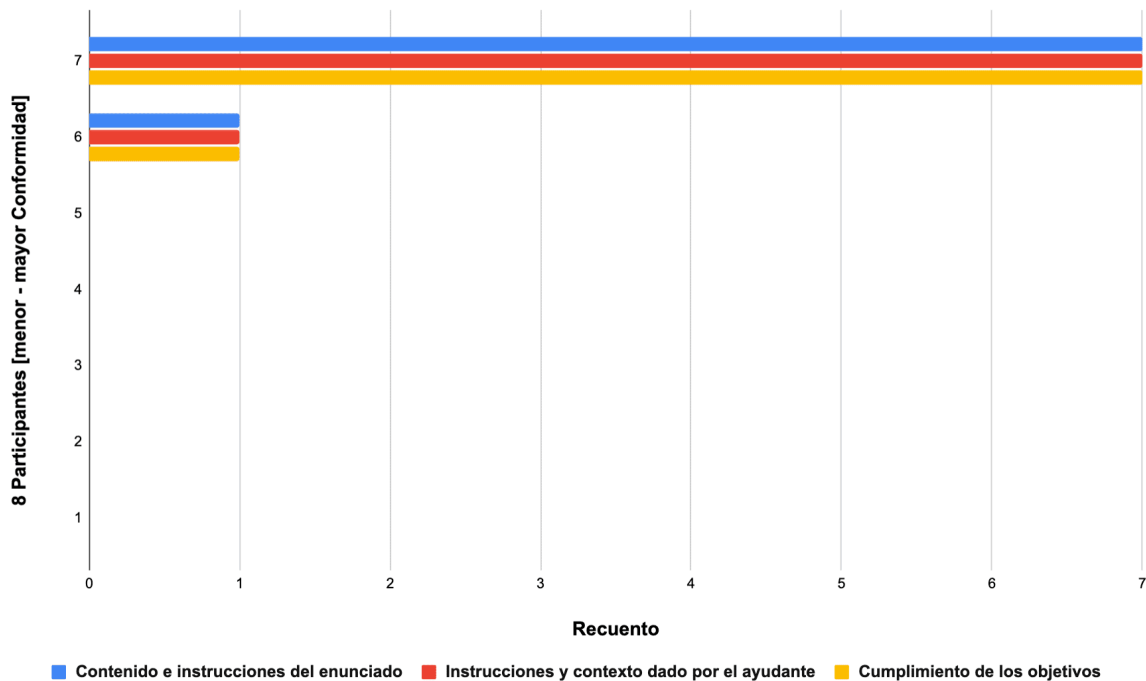


Figura 17: [Parte 1 de 2] Encuesta de Salida Experiencia N°3: Deep Learning & IoT.  
Fuente: Elaboración Propia.

La Figura 18 resume los grados de importancia que otorgaron los participantes a la implementación de experiencias prácticas de laboratorio bajo distintos contextos considerados. En primer lugar, se observa que cuatro de los ocho participantes califican como muy importante la implementación de experiencias prácticas de laboratorio dentro del Departamento de Informática de la UTFSM, los cuales alcanzan el 50 % de los encuestados. Los restantes participantes han otorgado niveles de importancia de seis puntos (Escala de 1 a 7 puntos).

En otro aspecto, tres de los ocho encuestados manifiestan como muy importante las experiencias prácticas de laboratorio para la asignatura TIC actualmente en curso. En esta área se obtienen los resultados más bajos de todas las preguntas, obteniendo incluso cinco puntos por parte de dos participantes (Escala de 1 a 7).

Finalmente, el nivel de importancia para la incorporación de experiencias prácticas bajo el contexto IoT en asignaturas TIC genera prometedores resultados. Seis de los ocho estudiantes consideran de gran importancia la propuesta, correspondiente al 75 % de los encuestados. Además, los restantes participantes otorgan un nivel de importancia un punto menor, equivalente al valor seis de siete niveles máximos.

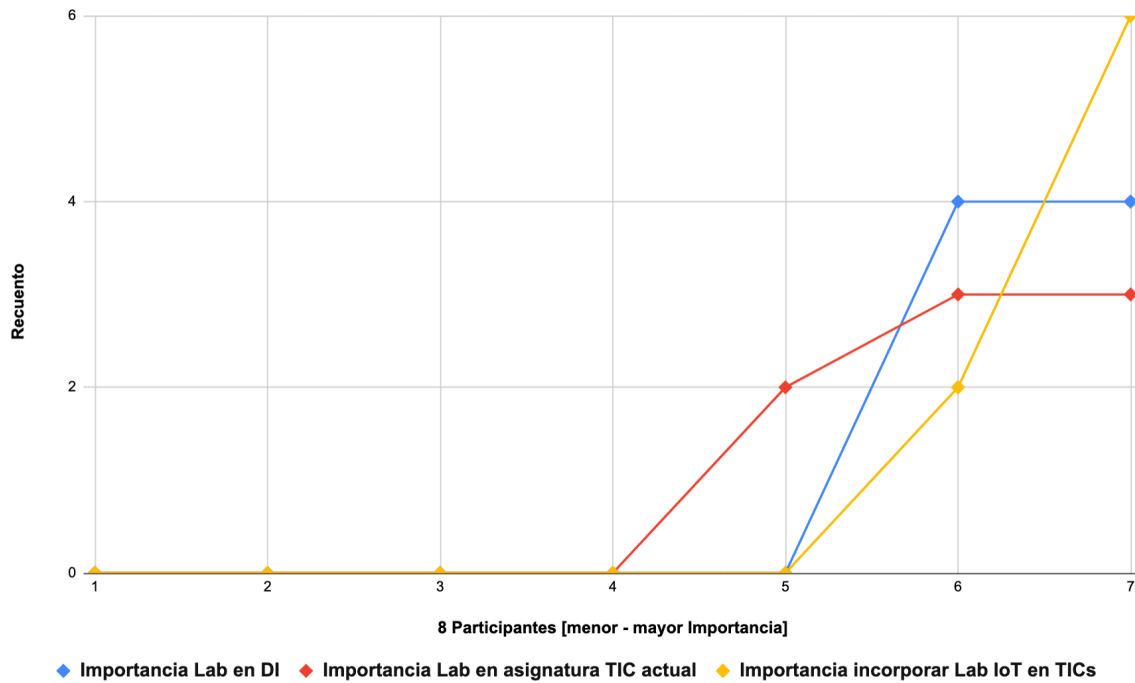


Figura 18: [Parte 2 de 2] Encuesta de Salida Experiencia N°3: Deep Learning & IoT.  
Fuente: Elaboración Propia.

#### 4.4.4. OBSERVACIONES

Dentro del proceso de implementación, es muy importante poder identificar los posibles factores que pueden afectar en la calidad del contenido de aprendizaje en estudio, así como también, las posibles dudas que puedan surgir por parte de los participantes, todo lo anterior, con el fin de mejorar la experiencia práctica de laboratorio. A continuación, se presentan las observaciones registradas por el ayudante en las etapas de implementación y posterior revisión de los desarrollos.

##### I OBSERVACIONES DURANTE EL PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN

- 1 Un estudiante informa que el Notebook con glosa NB-03 presenta problemas al conectarse a Internet a través de WIFI, se procede a entregar un nuevo equipo para el desarrollo de la experiencia.
- 2 En el ejercicio 2, se observan inconvenientes en el proceso de traspaso del modelo pre compilado en la plataforma colab hacia el archivo "model.cpp" del ejemplo en Arduino IDE. Se recomienda a los estudiantes que copien y peguen solo el código hexadecimal generado por el documento anexo.

- 3 En el ejercicio 3, se identifica un inconveniente visual al momento de buscar la librería “AlfES” en el gestor de Arduino IDE, en particular, algunos estudiantes confunden la letra “I” con la letra “L”, lo que provoca que el software no encuentre dicha librería.
- 4 En el ejercicio 3, un estudiante se percata de un error lingüístico en el enunciado de la experiencia, en particular, menciona que la palabra “predecido” no existe semánticamente y sugiere que se puede cambiar por la palabra “predicho”.
- 5 En el ejercicio 5, el ayudante de la experiencia se percata que falta la palabra “LED” en la instrucción que comienza con la frase “Cuando el LED naranja de la placa ....”.

## II OBSERVACIONES DURANTE EL PROCESO DE REVISIÓN

- 1 Todos los estudiantes cumplieron con los formatos de entrega mencionados al comienzo de la experiencia.
- 2 Se observa que los valores de “Loss” en los modelos de entrenamiento en tiempo real varían significativamente entre cada estudiante, posiblemente por la destreza de cada usuario en replicar y seguir las instrucciones presentes en el enunciado, sin embargo, se observa que esto no fue impedimento para lograr los aprendizajes esperados en cada ejercicio.
- 3 El formato de entrega y el lenguaje empleado por cada estudiante en las respuestas de desarrollo permite lograr inferir un grado previo de aprendizaje y adaptación hacia las instrucciones del enunciado. Lo anterior, puede explicar la disminución en los tiempos medios de duración de la experiencia.
- 4 El uso de librerías compatibles con el software Arduino IDE permite reducir los tiempos de configuración y/o momentos de confusión en el proceso de paso a paso, permitiendo enfocarse en lo que realmente agrega valor para el estudiante.
- 5 Se observa que el uso de preguntas “intermedias” realizadas entre el paso a paso permiten ayudar al estudiante a comprender de mejor manera los objetivos de cada ejercicio.

### 4.5. CORRECCIÓN DE FEEDBACK

Aplicando una filosofía de mejora continua y acatando la metodología de trabajo propuesta en la introducción de este escrito, se procede a corregir las principales observaciones encontradas en el proceso de implementación y revisión de cada experiencia de laboratorio. El resultado consolidado de mejoras se resume en los enunciados presentes en Anexos A. En este apartado se procede a dar detalles sobre el tipo de modificaciones realizadas considerando las observaciones más relevantes por cada experiencia práctica de laboratorio.

#### 4.5.1. MEJORAS PARA EXPERIENCIA N°1: ONBOARDING IOT

La Tabla 12 resume las principales mejoras realizadas al enunciado de la primera experiencia práctica de laboratorio, teniendo como base las observaciones registradas en el proceso de implementación [I] y en el proceso de revisión [R]. El enunciado consolidado considera las mejoras realizadas y puede ser revisado desde Anexos A1.

Tabla 12: Mejoras realizadas para experiencia OnBoarding IoT.  
Fuente: Elaboración Propia.

| Observación  | Mejora realizada   |
|--|--|
| 1. [I] Al menos un estudiante se confundió sobre cuál LED es el que debe parpadear (Led verde = On/Off; Led Naranja = Utilizado en la experiencia).  | En el ejercicio 2, queda explícito el color del <i>led</i> en experimentación.   |
| 4. [I] En <i>Windows</i> , al ejecutar un nuevo <i>script</i> se cambia el puerto de conexión en <i>Arduino IDE</i> , se debe volver a configurar de forma manual.   | En las instrucciones de que indican cargar un <i>script</i> , se agrega la glosa:<br><br>"Verifique que el puerto de conexión esté correctamente configurado". |
| 7. [I] Se observa un desconocimiento general sobre el funcionamiento de un giroscopio y sus aplicaciones.  | Al comienzo del ejercicio 4, se agrega una breve explicación sobre el funcionamiento de un giroscopio.   |
| 8. [I] Mencionar en el enunciado que desactivando la opción " <i>AutoScroll</i> " se pueden copiar y pegar las mediciones a registrar.   | En las instrucciones respectivas, se agrega la glosa "Desactive la opción <i>AutoScroll</i> para poder manipular el texto".                                    |
| 9. [I] Se observan problemas en comprender el sentido horario y antihorario en el funcionamiento del giroscopio.<br><br>1. [R] La mayoría de inconvenientes detectados tienen que ver con una confusión entre las direcciones de sentido horario y antihorario en la actividad N°4 sobre el uso del acelerómetro y giroscopio. | Se agregan símbolos de ayuda para recordar el sentido de giro necesario para el desarrollo del ejercicio.  |
| 10. [I] Estudiantes recomiendan agregar al enunciado la altura sobre el nivel del mar de los distintos campus de la universidad.   | Se agrega los valores aproximados de altura sobre el nivel del mar. San Joaquín ≈ 550 [m.s.n.m]; Casa Central ≈ 19 [m.s.n.m].                                  |

#### 4.5.2. MEJORAS PARA EXPERIENCIA N°2: BLE

La Tabla 13 resume las principales mejoras realizadas al enunciado de la segunda experiencia práctica de laboratorio, teniendo como base las observaciones registradas en el proceso de implementación [I] y en el proceso de revisión [R]. El enunciado consolidado considera las mejoras realizadas y puede ser revisado desde Anexos A7.

Tabla 13: Mejoras realizadas para experiencia BLE.  
Fuente: Elaboración Propia.

| Observación   | Mejora realizada  |
|---|---|
| 1. [I] Estudiantes indican tener confusión al conectarse a la app “nRF connect for mobile”, principalmente al reconocer el servicio generado por el script “LED”.   | En ejercicio 2, se agrega la glosa, “Generalmente se encuentra en una lista desplegable con el ID del servicio”, para guiar a los estudiantes a evitar confusiones. |
| 4. [I] Al no existir un valor de distancia de alejamiento entre la placa y el smartphone en el ejercicio 2.5, algunos estudiantes interpretaban esto como alejarse de forma exagerada. (más de 5 metros).   | Se sugiere poner una distancia prudente de 1 metro de separación en el enunciado del ejercicio 2.5  |
| 5. [I] Estudiantes reportan diferencia de interfaz gráfica en la app “nRF connect for mobile” específicamente al configurar un advertiser (Ejercicio 3). Se debe considerar este cambio de interfaz entre iOS & Android para corregir el enunciado de la experiencia. | Se agregan configuraciones personalizadas según sistema operativo en uso para el ejercicio N°3.   |
| 5. [R] La mayor dificultad observada se encuentra en el ejercicio 3, en donde se denota una confusión entre el identificador del servicio y el UUID de las características.   | Dicha confusión puede ser resuelta estudiando la imagen 2 presente en marco teórico.  |

#### 4.5.3. MEJORAS PARA EXPERIENCIA N°3: DEEP LEARNING & IOT

La Tabla 14 resume las principales mejoras realizadas al enunciado de la tercera experiencia práctica de laboratorio, teniendo como base las observaciones registradas en el proceso de implementación [I] y en el proceso de revisión [R]. El enunciado consolidado considera las mejoras realizadas y puede ser revisado desde Anexos A15.

Tabla 14: Mejoras realizadas para experiencia Deep Learning & IoT.  
Fuente: Elaboración Propia.

| Observación   | Mejora realizada  |
|---|---|
| 2. [I] En el ejercicio 2, se observan inconvenientes en el proceso de traspaso del modelo pre compilado en la plataforma colab hacia el archivo "model.cpp" del ejemplo en Arduino IDE.   | Se recomienda a los estudiantes que copien y peguen solo el código hexadecimal generado por el documento anexo. |
| 3. [I] En el ejercicio 3, se identifica un inconveniente visual al momento de buscar la librería "AlfES" en el gestor de Arduino IDE, en particular, algunos estudiantes confunden la letra "I" con la letra "L", lo que provoca que el software no encuentre dicha librería. | Se agrega la glosa, "No confundir I (i) con L" en la instrucción respectiva.                                    |
| 4. [I] En el ejercicio 3, un estudiante se percató de un error lingüístico en el enunciado de la experiencia, en particular, menciona que la palabra "predecido" no existe semánticamente y sugiere que se puede cambiar por la palabra "predicho".                           | Se realiza la corrección respectiva.  |
| 5. [I] En el ejercicio 5, el ayudante de la experiencia se percató que falta la palabra "LED" en la instrucción que comienza con la frase "Cuando el LED naranja de la placa ....".   | Se agrega la palabra faltante.  |

## **CAPÍTULO 5**

### **CONCLUSIONES**

La presente sección tiene como principal objetivo resumir los aprendizajes del autor en las distintas etapas que considera este proyecto de memoria. Se comienza con los aspectos generales que otorgan el contexto de la retrospectiva en estudio, para luego poder analizar con mayor profundidad etapas claves del proceso. Las conclusiones generadas se complementan con un análisis sobre la escalabilidad de la solución propuesta y el trabajo futuro identificado como fuente de inspiración para la mejora continua.

#### **5.1. ASPECTOS GENERALES**

La ausencia de experiencias prácticas de laboratorio bajo el contexto IoT en asignaturas TIC del Departamento de Informática de la UTFSM, es el problema central que origina este proyecto de memoria.

Con el fin de generar resiliencia en las causas descritas, se centraron los esfuerzos en crear contenido práctico de laboratorio relacionado a IoT, específicamente, se diseñaron tres experiencias prácticas con diferentes resultados de aprendizaje.

Para lograr obtener contenidos acordes al estado del arte del paradigma en estudio, se estableció un marco teórico de referencia que resume los principales aspectos que se deben considerar en el aprendizaje inicial del campo IoT. Este marco teórico constituye la base para la obtención de los resultados de aprendizaje determinados para cada experiencia de laboratorio.

Teniendo en cuenta la importancia del aseguramiento de la calidad en procesos de enseñanza-aprendizaje, se estudiaron criterios generados por expertos en la materia, para lograr desarrollar un marco de trabajo que logre reflejar la exigencia y la calidad de los procesos de aprendizaje, de esta forma se puede maximizar el éxito del contenido práctico de laboratorio en desarrollo. El estudio de los documentos asociados logró resumirse en diez principios de diseño para experiencias de laboratorio IoT y, a la vez, constituyen un instrumento de comparación para la validación de la propuesta de solución.

Los esfuerzos para contar con una base sólida de calidad para el diseño de experiencias prácticas de laboratorio continuaron con la determinación del método de evaluación aplicado en el proceso de implementación. Se logra determinar que para considerar el grado de logro obtenido por cada estudiante y la necesidad de tener un mecanismo de evaluación lo más objetivo posible, es necesario contar con un método de evaluación en base a rúbricas, las cuales consideren todos los resultados de aprendizaje propuestos para cada experiencia. Para lo anterior, se obtuvo una escala de evaluación para experiencias de laboratorio basada

en cuatro niveles, los cuales desacoplan el contenido teórico personalizado con el grado de logro obtenido para la correcta resolución de los ejercicios.

Considerando que el contenido práctico de laboratorio necesita del *hardware* necesario para un correcto desarrollo de la experiencia y que los objetivos de esta memoria demandan la utilización de sensores inalámbricos. Se estudió las cualidades de las placas de desarrollo como *hardware* principal de uso para las experiencias prácticas de laboratorio en diseño. En detalle, el hecho de incorporar sensores de múltiple exploración, su compatibilidad con el estándar de comunicación BLE y la capacidad de ejecutar modelos de aprendizaje profundo vía *TensorFlow Lite*, permitieron catalogar a la placa de desarrollo *Arduino Nano 33 BLE Sense* como el *hardware* ideal para el logro de los resultados de aprendizaje en cada experiencia de laboratorio implementada.

La determinación de los alcances y limitaciones de cada experiencia práctica de laboratorio diseñada, permitieron adaptar de mejor manera los resultados de aprendizaje presentes como objetivos en los enunciados consolidados (presentes en Anexos A). En este punto, se observa que la utilización de principios de diseño motivó a generar una estructura clara y prolija que se mantuvo constante durante la creación de las tres experiencias de laboratorio, lo cual permite comparar de mejor forma los resultados de rendimiento obtenidos entre cada experiencia implementada.

Debido al grado de ausencia de contenido de aprendizaje práctico relacionado a IoT, se emplean estrategias de validación colectivas y que consideren a los principales beneficiarios del proyecto. Para lo anterior, se decide implementar las experiencias de laboratorio considerando condiciones específicas. En primer lugar, establecer las actividades principales a realizar, permitió generar un modelo base para la creación de los protocolos de aplicación adaptados a cada experiencia. En segundo lugar, la determinación de las condiciones del entorno de experimentación han podido asegurar las condiciones mínimas de experimentación, las cuales fueron adecuadas para el cumplimiento de todos los objetivos descritos en cada experiencia. En tercer lugar, describir los requisitos para los participantes objetivos permitió asimilar las condiciones de las futuras implementaciones, emulando un perfil de estudiante con los conocimientos similares a los que participaron en los distintos procesos de implementación. Finalmente, los resultados mínimos esperados otorgaron un alto nivel de exigencia acorde al contexto educativo, provocando que la distribución de tiempo y esfuerzo en el diseño de cada experiencia sea repartido estratégicamente para cumplir con las expectativas.

Aplicando la filosofía de mejora continua, se solicitó a los estudiantes proporcionar sus observaciones y mejoras para cada experiencia de laboratorio implementada. Lo anterior, permitió poder analizar el grado de conformidad con el contenido práctico de aprendizaje recibido y el grado de importancia que otorgan hacia la incorporación de experiencias prácticas de laboratorio en distintos aspectos dentro del Departamento de Informática. Se obtuvieron resultados prometedores y que permitieron realizar al menos cuatro mejoras al enunciado de cada experiencia.

## 5.2. CONCLUSIONES SOBRE EL MARCO DE TRABAJO

El diseño de experiencias prácticas de laboratorio bajo el contexto IoT, demanda un conocimiento significativo sobre la elaboración de contenido para el aprendizaje, lo que dependiendo de la calidad del material, genera un determinante para obtener buenos resultados en la etapa de validación.

Para mitigar los factores relacionados a fallas de diseños que puedan afectar el correcto aprendizaje de los estudiantes y, de la misma manera, poder establecer un sistema de aseguramiento de la calidad del contenido práctico diseñado, se propuso la creación de un marco de trabajo con inspiración experta. En detalle, se obtuvieron diez principios de diseño que permitieron incorporar el conocimiento experto adquirido en las experiencias de laboratorio diseñadas. Por lo anterior, es importante analizar sobre su grado de cumplimiento y poder concluir los principales aprendizajes de cada postulado resumidos en la Tabla 5.

- El primer principio de diseño posee un nivel de cobertura global y se enfoca en la creación de enunciados detallados que incluyan aplicaciones del mundo real. Lo anterior, se ve reflejado en la descripción de los materiales y plataformas en cada experiencia diseñada, además el consolidado de secciones conforman un instrumento de apoyo y guía que satisface los requisitos del principio de diseño en estudio. Las experiencias motivan a los estudiantes a explorar el entorno de experimentación utilizando los sensores inalámbricos incorporados, cambiando su estado y alterando las mediciones registradas.
- El segundo principio de diseño exige pautas de evaluación objetivas con base en el grado de logro en los resultados de aprendizaje. En este punto, se desarrolló un enfoque de evaluación en base a rúbricas, las cuales utilizan una escala de calificación específica que desacopla el contenido teórico con el grado de logro obtenido para la correcta resolución de los ejercicios.
- El tercer principio de diseño evidencia la necesidad de incentivar la creatividad y permitir la diversidad de respuestas para un mismo ejercicio. Ante esto, se implementó un enfoque de evaluación basado en objetivos de rápido desarrollo, los cuales se centran en exigir a los estudiantes a crear una solución propia con un objetivo específico. Además, se incentivó la libre respuesta en las preguntas relativas a describir el fenómeno observado e interpretar la utilidad para el procedimiento en desarrollo.
- El cuarto principio de diseño posee una cobertura global y exige reflejar en objetivos los resultados de aprendizaje descritos para cada experiencia de laboratorio, en particular, se logran identificar un objetivo principal y objetivos secundarios en los enunciados de cada experiencia diseñada.
- El quinto principio de diseño es relativo al diseño acotado de ejercicios en tiempo y esfuerzo, en particular, las actividades de desarrollo y modificación de *scripts* pre-diseñados respaldan el principio en estudio, los estudiantes pueden reflexionar sobre

mejoras en sus desarrollos y poder realizar constantes pruebas sobre la marcha, implementando una estrategia de ensayo y error.

- El sexto principio de diseño motiva el uso de lenguaje formal mediante respuestas de justificación propia. Para lograr lo anterior, se fomentó el uso de preguntas que detallen el fenómeno en estudio, permitiendo la inferencia sobre un análisis primario del suceso y el contexto de experimentación.
- El séptimo principio formaliza el uso de rúbricas como instrumento de evaluación para las experiencias de laboratorio diseñadas. La escala de logro relativa a los resultados de aprendizaje de cada experiencia se logró desarrollar ajustando el rango de calificación acorde a las exigencias USM.
- Los tres últimos principios poseen un nivel de cobertura específico y están relacionados con los resultados de aprendizaje a considerar por cada experiencia de laboratorio. Los objetivos principales de cada experiencia aseguran los contenidos solicitados, siendo conceptos introductorios, estudio de protocolos de comunicación y aplicaciones IoT, los contenidos centrales considerados, respectivamente.

### **5.3. CONCLUSIONES SOBRE EL CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS**

En este proyecto de memoria se emplearon dos enfoques de objetivos relacionados con describir de forma clara y precisa los alcances y la metodología de trabajo a emplear para resolver la falta de experiencias prácticas de laboratorio bajo el contexto IoT.

Se describe como objetivo general de esta memoria el principal aspecto que otorga valor al trabajo realizado, es decir, el diseño y evaluación de tres experiencias prácticas de laboratorio utilizando sensores inalámbricos. Luego, se describen cuatro objetivos específicos que representan la metodología de trabajo adoptada para el logro del objetivo general. En este punto, se concentran las ideas de estado del arte IoT, marco de trabajo para el diseño de experiencias prácticas de laboratorio, implementación de las experiencias y validación inclusiva.

El capítulo de propuesta de solución resume las tres experiencias prácticas de laboratorio a diseñar, las cuales con la determinación de los participantes objetivo y los resultados de aprendizaje considerados, generan las condiciones para ser aplicadas a estudiantes de pregrado. Con respecto al uso de sensores inalámbricos, se observa que todas las experiencias diseñadas utilizan los módulos proporcionados por la placa de desarrollo en uso, logrando explorar el entorno de experimentación de la misma forma que realizan los sensores en sistemas IoT del mundo real.

Los objetivos específicos de este proyecto de memoria, comienzan con el desarrollo de un marco de trabajo que considere los contenidos temáticos de las experiencias diseñadas. En

este punto, los principios de diseño satisfacen los requisitos del objetivo específico en análisis, incorporando conocimiento de aprendizaje experto y adecuado al contexto USM.

El análisis sobre el cumplimiento del marco de trabajo en las experiencias de laboratorio diseñadas, respalda el segundo objetivo específico, en donde la retroalimentación de los *stakeholders* estuvo enfocada en la encuesta de salida y los desarrollos obtenidos por cada estudiante en la fase de implementación.

El detalle del marco de trabajo y los criterios de validación, incluyeron la determinación del entorno de experimentación ideal, los resultados de aprendizaje esperados y los factores adaptativos de las rúbricas utilizadas como método de calificación. Además, la descripción de los protocolos de aplicación, permitieron implementar las experiencias de laboratorio emulando condiciones ideales, respetando los requisitos del tercer objetivo específico de esta memoria.

El cuarto objetivo específico exige la validación de las experiencias de laboratorio diseñadas, en este punto, se consideraron tres aspectos principales para obtener una validación objetiva y prolija de la propuesta de solución documentada. En primer lugar, la retroalimentación de los estudiantes mediante la encuesta de salida fue un aspecto clave para conocer el grado de importancia y de conformidad que otorgaron los estudiantes al contenido práctico implementado. Luego, los desarrollos obtenidos en cada experiencia de laboratorio implementada, permiten extraer potenciales mejoras para los enunciados de estas, estableciendo un proceso de mejora continua. Finalmente, pero no menos importante, se consideran los tiempos de desarrollo y las calificaciones obtenidas como índices de validación que reflejan el grado de seriedad que otorgaron los estudiantes al proceso de implementación.

#### **5.4. CONCLUSIONES SOBRE LA VALIDEZ DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA**

Como se propuso en los objetivos específicos de este proyecto de memoria, el proceso de validación de experiencias determina el grado de cumplimiento y satisfacción que se obtiene con respecto a la calidad del contenido práctico de aprendizaje diseñado e implementado. En particular, se identifican tres aspectos relevantes para lograr respaldar la solución propuesta lo más objetivamente posible.

En primer lugar, la retroalimentación de los estudiantes obtenida a través de la encuesta de salida, se enfoca en dos aspectos principales. Por un lado, se recopila el grado de conformidad que los participantes otorgan al contenido del enunciado, el desempeño del ayudante a cargo de la experiencia y el cumplimiento de los objetivos propuestos. Se observa, que de los siete niveles de importancia disponibles para votar, se han obtenido registros de conformidad mayores o iguales a cinco puntos, aún mejor, en todas las experiencias implementadas se observa que más de la mitad de los estudiantes otorgan el máximo puntaje posible en las preguntas de conformidad (Figuras 11, 14 y 17). Lo anterior representa un gran respaldo para las experiencias diseñadas y genera evidencia para validar el uso del marco de trabajo

utilizado. Por otro lado, se registra el grado de importancia que otorgan los estudiantes a la implementación de experiencias prácticas de laboratorio en el Departamento de Informática de la UTFSM, en la asignatura TIC en curso y experiencias IoT en asignaturas TIC en general. Se observa que al menos la mitad de los estudiantes consideran como muy importante la implementación de experiencias prácticas de laboratorio en todos los aspectos analizados, calificando con puntajes de al menos seis puntos en grado de importancia. Además, los mejores resultados recopilados son relativos a la importancia de incorporar experiencias prácticas de laboratorio bajo el contexto IoT en asignaturas TIC, en donde al menos un 75 % de los estudiantes han otorgado el máximo puntaje posible en grado de importancia. Lo anterior, genera evidencia para respaldar los datos obtenidos en la encuesta inicial y refuerza la motivación por realizar prácticas en el paradigma IoT. (Figuras 12, 15 y 18)

Con respecto a los desarrollos obtenidos del proceso de implementación, se obtuvieron observaciones bajo dos contextos específicos, los cuales corresponden a las registradas durante la implementación de las experiencias y aquellas observadas durante el proceso de revisión y calificación en base a la rúbrica correspondiente. En general, se obtuvieron al menos cuatro observaciones por cada contexto en estudio, las cuales dependiendo de su grado de valor al contenido de aprendizaje diseñado, se tomaron en cuenta para la etapa de corrección de *feedback*. Se observa que las mejoras realizadas están relacionadas en ayudar a los estudiantes a facilitar el proceso de comprensión de la actividad en desarrollo y para comprender el funcionamiento de sistemas en uso (como el funcionamiento de un giroscopio). Lo anterior, permite generar evidencia para aseverar que los contenidos de aprendizaje fueron exitosamente adaptados a los participantes de las experiencias, permitiendo mitigar las brechas de conocimiento previo necesario para el correcto desarrollo de los ejercicios. Cabe destacar que todos los estudiantes que participaron de los procesos de implementación terminaron exitosamente las experiencias de laboratorio en su totalidad.

Los tiempos registrados y las calificaciones obtenidas refuerzan los aprendizajes anteriormente descritos. Considerando la mediana de las calificaciones entre todas las experiencias, se observa que se logra una calificación media de al menos 94 puntos, teniendo en cuenta una escala de cero a cien puntos. Lo anterior, se puede complementar con el rango de calificaciones obtenidas entre todas las experiencias de laboratorio. En detalle, todas las calificaciones obtenidas se encuentran entre [73-100] puntos, inclusive, lo que genera evidencia estadística del alto interés que tuvieron los participantes en estudiar contenidos prácticos relacionados a IoT.

Finalmente, un aspecto importante a analizar, es el aumento constante en la media y mediana de las calificaciones obtenidas entre las tres experiencias de laboratorio, y además, la disminución constante en la media de duración de la experiencia entre estas mismas. Se infiere que el comportamiento observado debe ser a causa del formato unificado utilizado para el diseño de las experiencias de laboratorio, ya que, los estudiantes de manera inconsistente adquieren práctica de la correcta lectura del enunciado y el tiempo de adaptación se reduce en las siguientes implementaciones. Este hallazgo es fundamental cuando se desea adaptar el uso de experiencias prácticas de laboratorio en bloques de tiempo ajustados.

## 5.5. ESCALABILIDAD DE LA SOLUCIÓN

En general, las experiencias prácticas de laboratorio diseñadas están ligadas a los requisitos de materiales y plataformas disponibles para su correcta implementación. Sin embargo, si se desea analizar el grado de dificultad que tiene el poder implementar las experiencias de laboratorio ante un gran número de estudiantes, se aconseja tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Las experiencias prácticas de laboratorio implementadas fueron diseñadas para ser implementadas por cada estudiante de forma individual. Por lo tanto, la capacidad de estudiantes en experimentación simultáneamente depende de la cantidad de placas de desarrollo disponibles y de la infraestructura descrita en los criterios de validación.
- Considerando que la evaluación de los resultados de aprendizaje requiere de un proceso de calificación en base a rúbricas, debe considerarse el personal de apoyo necesario para entregar una pronta calificación y aceptar los procesos de apelación respectivos.
- La adaptación de las experiencias de laboratorio diseñadas en ambientes híbridos y/o remotos, debe considerar estrategias de aseguramiento del material y plataformas necesarias para el correcto desarrollo. En detalle, solo es necesario asegurar una correcta configuración inicial de la placa de desarrollo para lograr que el estudiante comience con su trabajo individual. Lo anterior se respalda en los protocolos de aplicación descritos en las Tablas 9, 10 y 11.

## 5.6. TRABAJO FUTURO

Considerando la importancia de mantener mejoras en los enunciados de cada experiencia práctica de laboratorio diseñada, y a la vez, implementar mecanismos de mejora continua. Se consideran los siguientes aspectos como trabajo futuro de este proyecto de memoria.

- Se aconseja la elaboración de un manual guía para apoyar a los ayudantes en el proceso de implementación de las experiencias, con el fin de asegurar la calidad de estas.
- Se recomienda crear una estrategia para respaldar o actualizar las librerías utilizadas en cada experiencia de laboratorio.
- Se recomienda como buena práctica, elaborar ejercicios extras por cada experiencia de laboratorio, con el fin de utilizarlos como reemplazo de los originales para evitar que los estudiantes realicen los mismos ejemplos en el largo plazo.
- Es aconsejable analizar el grado de adaptación que pueden tener las experiencias de laboratorio utilizando otras placas de desarrollo del mercado, mitigando los problemas de stock en compras futuras.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [Al-Fuqaha *et al.*, 2015] Al-Fuqaha, A., Guiana, M., y et al. (2015). Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications.
- [Alliance, 2016] Alliance, O. M. (2016). OMA device management protocol.
- [Arduino, 2022] Arduino (2022). Docs for Arduino Nano 33 BLE Sense.
- [Arellanes *et al.*, 2019] Arellanes, D., Lau, K., y et al. (2019). Decentralized data flows in algebraic service compositions for the scalability of IoT systems.
- [Arrow, 2015] Arrow (2015). Protocolos para la Internet de las Cosas.
- [Avago, 2022] Avago (2022). Digital Proximity, Ambient Light, RGB and Gesture Sensor.
- [Basal y Kumar, 2020] Basal, S. y Kumar, D. (2020). IoT ecosystem: A survey on devices, gateways, operating systems, middleware and communication.
- [Bierzynski *et al.*, 2017] Bierzynski, K., Escobar, A., y et al. (2017). Cloud, fog and edge: Cooperation for the future?
- [Bonetto *et al.*, 2012] Bonetto, R., But, N., y et al. (2012). Secure communication for smart IoT objects: Protocol stacks, use cases and practical examples.
- [Buenrostro *et al.*, 2018] Buenrostro, E., Cyrus, D., y et al. (2018). Security of IoT devices.
- [Chi y Yan, 2014] Chi, Q. y Yan, H. (2014). A reconfigurable smart sensor interface for industrial WSN in IoT environment.
- [CNA, 2015] CNA (2015). Criterios de evaluación para acreditación de carreras profesionales...
- [Glaroudis *et al.*, 2020] Glaroudis, D., Iossifides, A., y et al. (2020). Survey, comparison and research challenges of IoT application protocols for smart farming.
- [Goyal, 2018] Goyal, K. K. (2018). A literature survey on Internet of Things (IoT).
- [Hevia, 2021] Hevia, L. (2021). INF309 Trabajo de Título I - Análisis de encuestas de calidad de la carrera. Análisis realizado en la asignatura Trabajo de Título I.
- [IEEE, 2022] IEEE (2022). IEEE 802.11 Wireless Local Area Networks.
- [IoT, 2019] IoT, P. F. (2019). 47 per cent of IoT problems can be solved if we unlock interoperability.
- [ITSM4IoT, 2021] ITSM4IoT (2021). Necesidades de estandarización en IoT.

- [Jeon *et al.*, 2018] Jeon, K. E., She, J., y et al. (2018). Ble beacons for internet of things applications: Survey, challenges, and opportunities.
- [Kim y Song, 2018] Kim, J. y Song, J. (2018). A secure device-to-device link establishment scheme for lorawan.
- [Laurence, 2020] Laurence, G. (2020). Gartner survey reveals 47in iot despite the impact of covid-19.
- [Mark, 2017] Mark, H. (2017). Leading the iot.
- [Mekki *et al.*, 2018] Mekki, K., Bajic, E., y et al. (2018). Overview of cellular lpwan technologies for iot deployment: Sigfox, lorawan, and nb-iot.
- [Montrucchio *et al.*, 2018] Montrucchio, B., Moraru, S. A., y et al. (2018). Mobility for the internet of things.
- [Ostermainer, 2015] Ostermainer, A. B. (2015). The web as an interface to the physical world.
- [Peng, 2021] Peng, S. (2021). *Blockchain for Big Data: AI, IoT and Cloud Perspectives*. CRC Press.
- [Sampieri y Collado, 2006] Sampieri, R. H. y Collado, C. F. (2006). *Metodología de la investigación*, volumen 3. McGraw-Hill.
- [Sehrawat y Gill, 2019] Sehrawat, D. y Gill, N. S. (2019). Smartsensors: Analysis of different types of iot sensors.
- [Sethi y et al, 2017] Sethi, P. y et al (2017). Internet of things: Architectures, protocols, and applications.
- [Singh y Baranwal, 2018] Singh, M. y Baranwal, G. (2018). Quality of service (qos) in internet of things.
- [STLife, 2022a] STLife (2022a). Capacitive digital sensor for relative humidity and temperature.
- [STLife, 2022b] STLife (2022b). inemo inertial module: 3d accelerometer, 3d gyroscope, 3d magnetometer.
- [STLife, 2022c] STLife (2022c). Mems audio sensor omnidirectional digital microphone.
- [STLife, 2022d] STLife (2022d). Mems nano pressure sensor: 260-1260 hpa absolute digital output barometer.
- [Tiele *et al.*, 2018] Tiele, A., Esfahani, S., y et al. (2018). Design and development of a low-cost, portable monitoring device for indoor environment quality.

- [Ullah *et al.*, 2017] Ullah, F., Habib, M. A., y et al. (2017). Semantic interoperability for big-data in heterogeneous iot infrastructure for healthcare.
- [Umar, 2018] Umar, B. (2018). Evaluation of iot device management tools.
- [UTFSM, 2016] UTFSM, U. T. F. S. M. (2016). Modelo educativo institucional.
- [Wilder-James, 2012] Wilder-James, E. (2012). What is big data?, an introduction to the big data landscape.
- [Xiaojiang *et al.*, 2020] Xiaojiang, X., Jianli, W., y et al. (2020). Services and key technologies of the internet of things.
- [Yu *et al.*, 2018] Yu, W., Liang, F., y He, X. (2018). A survey on the edge computing for the internet of things.
- [Zhong *et al.*, 2015] Zhong, C. L., Zhu, Z., y et al. (2015). Study on the iot architecture and gateway technology.
- [Zikria *et al.*, 2019] Zikria, Y. B., Kim, S. W., y et al. (2019). Internet of things (iot) operating systems management: Opportunities, challenges, and solution.

## ANEXOS

Los enunciados consolidados de las experiencias prácticas de laboratorio diseñadas y sus rúbricas respectivas, se ordenan en base a lo descrito en la Tabla 15.

Tabla 15: Índice para enunciados y rúbricas  
Fuente: Elaboración Propia.

| Documento                                      | Páginas Inicio - Fin |
|--|----------------------|
| Enunciado Experiencia N°1: OnBoarding IoT      | A1 - A6              |
| Enunciado Experiencia N°2: BLE                 | A7 - A14             |
| Enunciado Experiencia N°3: Deep Learning & IoT | A15 - A23            |
| Rúbrica Experiencia N°1: OnBoarding IoT        | B1                   |
| Rúbrica Experiencia N°2: BLE                   | B2                   |
| Rúbrica Experiencia N°3: Deep Learning & IoT   | B3 - B4              |



## Experiencia N°1: Onboarding IoT

<SIGLA> - <Nombre Asignatura>

<Semestre>

<Fecha>

### Introducción

El término IoT (Internet of Things | Internet de las Cosas) debe su origen al británico Kevin Ashton quién por el año 1999 se encontraba desarrollando una propuesta de estudio relacionada a la incorporación de tecnología RFID (Radio Frequency Identification) a los servicios de paquetería. Tecnología que hoy se utiliza en servicios de tracking y delivery.

Dentro de sus preocupaciones se encontraba la necesidad de lograr un título de alto impacto que llame la atención a sus potenciales benefactores y los mantenga atentos durante su presentación. Para ello su intención era incluir la palabra *internet* debido a su auge y popularidad.

Teniendo en cuenta el área en estudio, nace de esta forma el concepto “*internet of things*” (Internet de las cosas), permitiendo incorporar a cualquier tipo de producto un sistema RFID.

En la actualidad IoT se ha convertido en un paradigma dentro de la industria informática, creando una nueva área que estudia la interacción de dispositivos con recursos limitados con la capacidad de interactuar entre sí utilizando internet, pasando del “Internet de las cosas” a “Internet para las cosas”.

### Objetivos

#### 1. Objetivo Principal:

Comprender el concepto de IoT a través de procedimientos empíricos pre-diseñados.

#### 2. Objetivos Secundarios:

1. Introducir los conceptos básicos de IoT utilizando la placa de desarrollo Arduino nano 33 BLE Sense como fuente de sensores inalámbricos.
2. Programar, compilar y configurar placas de desarrollo vía Arduino IDE.

3. Interactuar con sensores inalámbricos de temperatura, humedad, gestos, color, proximidad y presión atmosférica.
4. Relacionar procedimientos empíricos con actividades del mundo real.

## Materiales

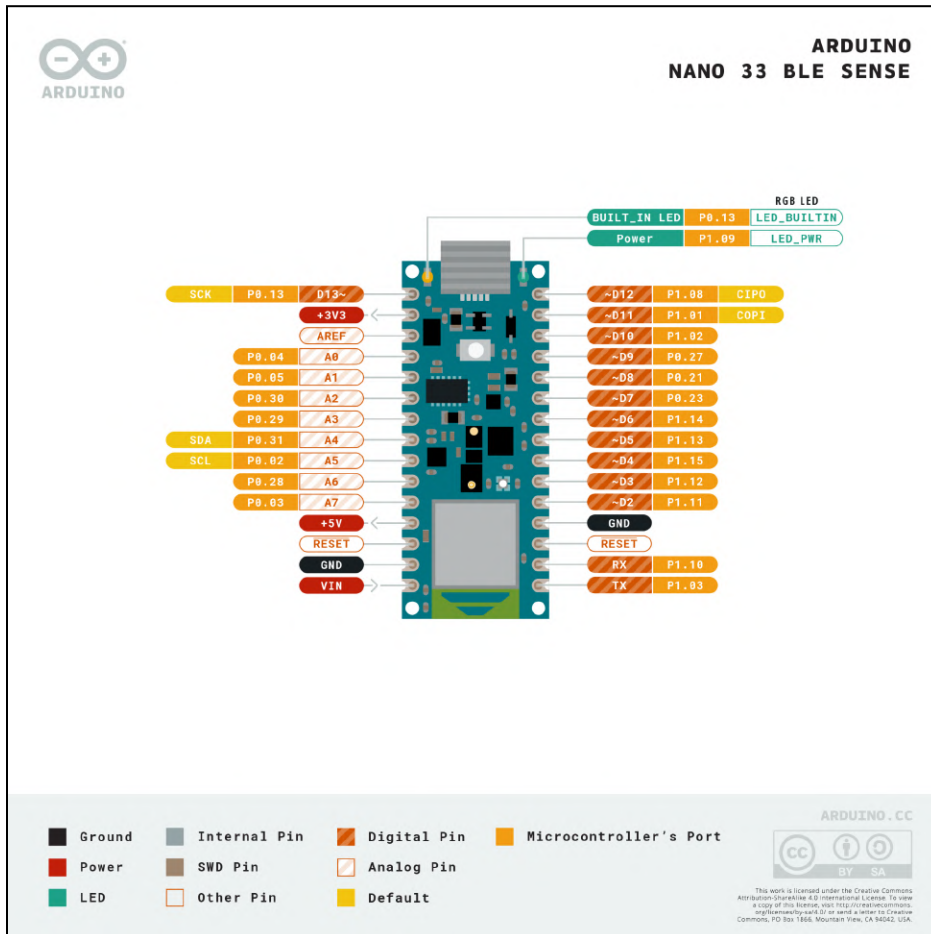
- 1 Placa Arduino nano 33 BLE Sense
- 1 cable USB A -> Micro USB
- Notebook con puerto USB A

## Plataformas

- Arduino IDE [<https://www.arduino.cc/en/software>]

## Marco Teórico

### 1. Datasheet Arduino nano 33 BLE Sense

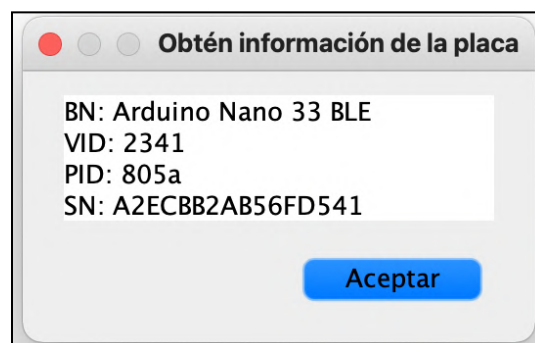


## Procedimiento empírico

---

### 1. Configurar placa de desarrollo en Arduino IDE

- Abrir software Arduino IDE
- Conectar la placa Arduino nano 33 BLE Sense al ordenador
- Dentro del software ir a “Herramientas/Placa/Gestor de Tarjetas”
- En la nueva ventana emergente buscar “*nano 33 ble sense*”
- Instalar la última versión de “Arduino Mbed OS Nano Boards”
- Cerrar la ventana y comprobar que en la ruta Herramientas/Placa se encuentre seleccionada la placa “Arduino Nano 33 BLE”
- Si sigue la ruta “Herramientas/Obtener información de la placa” debe ver una ventana emergente parecida a la imagen inferior



> Entregue una captura de pantalla con la información de su placa.

### 2. Primeros pasos: Blink

Blink es un script precargado en Arduino IDE diseñado como ejemplo inicial (“*Hello World!*”). Su principal función es controlar un LED anaranjado incorporado en la placa de desarrollo y poder probar diversas configuraciones.

- Con la placa configurada, siga la siguiente ruta en Arduino IDE: “Archivo/Ejemplos/Basic/Blink”
- Se debe abrir una nueva ventana con el siguiente script pre-diseñado

```
void setup() {  
  // initialize digital pin LED_BUILTIN as an output.  
  pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);  
}
```

```
// the loop function runs over and over again forever
void loop() {
  digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH); // turn the LED on (HIGH is the voltage level)
  delay(1000); // wait for a second
  digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW); // turn the LED off by making the voltage LOW
  delay(1000); // wait for a second
}
```

- Cargue el script en la placa de desarrollo presionando el ícono “⇌” de la esquina superior izquierda (Verifique que el puerto de conexión esté correctamente configurado)
- Observe y explique lo sucedido en la caja de texto inferior

> Modifique el script de Blink para que el LED parpadee tres veces a intervalos de 5 segundos.

### 3. Temperatura y Humedad: HTS221

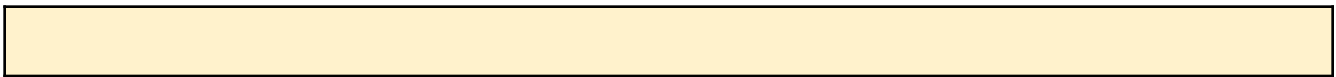
- Para medir la temperatura y humedad ambiental utilizando la placa de desarrollo nano 33 BLE sense instale la librería “Arduino\_HTS221” en la ruta “Herramientas/Administrar Bibliotecas”
- Abra el ejemplo “ReadSensors” de la librería instalada en el paso anterior
- Cargue el script en la placa de desarrollo presionando el ícono “⇌” de la esquina superior izquierda (Verifique que el puerto de conexión esté correctamente configurado)
- Abra el monitor serie presionando la lupa de la esquina superior derecha.
- Registre el output de salida de al menos tres mediciones en la caja inferior. (Desactive la opción *AutoScroll* para poder manipular el texto)

> Modifique el script de ReadSensors para parpadee un LED cada vez que la humedad registrada sea superior al 50%.

#### 4. Acelerómetro y Giroscopio: LSM9DS1

Los giroscopios, o girómetros, son dispositivos que miden o mantienen el movimiento de rotación. Uno de los usos puede ser para equilibrar un robot, un giroscopio puede ser usado para medir la rotación de la posición de equilibrio y enviar correcciones a un motor.

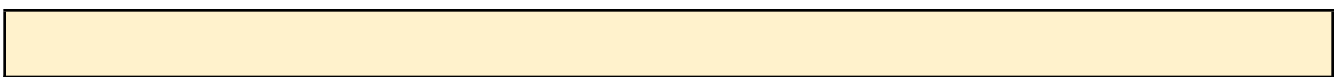
- Para obtener datos relacionados a detección de movimiento (Acelerómetro y Giroscopio) utilizando la placa de desarrollo nano 33 BLE sense instale la librería “Arduino\_LSM9DS1” en la ruta “Herramientas/Administrar Bibliotecas”
- Abra el ejemplo “SimpleGyroscope” de la librería instalada en el paso anterior
- Cargue el script en la placa de desarrollo presionando el ícono “↔” de la esquina superior izquierda (Verifique que el puerto de conexión esté correctamente configurado)
- Abra el monitor serie presionando la lupa de la esquina superior derecha.
- Registre el output de salida de al menos tres mediciones en la caja inferior. (Desactive la opción *AutoScroll* para poder manipular el texto)



> Modifique el script de SimpleGyroscope para que muestre un mensaje en el monitor serial cada vez que se detecte un giro horario (↻) y antihorario (↺) tomando como referencia el eje x (Eje longitudinal a la placa)

#### 5. Proximidad y Detección de Gestos: APDS-9960

- Para obtener datos relacionados a proximidad y detección de gestos utilizando la placa de desarrollo nano 33 BLE sense instale la librería “Arduino\_APDS9960” en la ruta “Herramientas/Administrar Bibliotecas”
- Abra el ejemplo “FullExample” de la librería instalada en el paso anterior
- Cargue el script en la placa de desarrollo presionando el ícono “↔” de la esquina superior izquierda (Verifique que el puerto de conexión esté correctamente configurado)
- Abra el monitor serie presionando la lupa de la esquina superior derecha.
- Realice movimientos entre 10 y 20 [cm] sobre la placa para modificar los valores del sensor de proximidad.
- Registre el output de salida de al menos tres mediciones en la caja inferior.



> Modifique el script de FullExample para que parpadee un led con mayor frecuencia a medida que un objeto se acerque a la placa (Entre 10 y 20 [cm]).

## 6. Presión Barométrica: LPS22HB

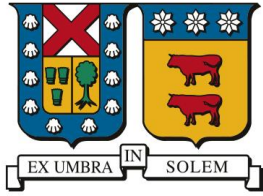
- Para obtener datos relacionados a presión barométrica utilizando la placa de desarrollo nano 33 BLE sense instale la librería “Arduino\_LPS22HB” en la ruta “Herramientas/Administrar Bibliotecas”
- Abra el ejemplo “ReadPressure” de la librería instalada en el paso anterior
- Cargue el script en la placa de desarrollo presionando el ícono “↔” de la esquina superior izquierda (Verifique que el puerto de conexión esté correctamente configurado)
- Abra el monitor serie presionando la lupa de la esquina superior derecha.
- Registre el output de salida de al menos tres mediciones en la caja inferior. (Desactive la opción *AutoScroll* para poder manipular el texto)



> Modifique el script de ReadPressure para que muestre un mensaje en el monitor serial correspondiente a los metros sobre el nivel del mar [m.s.n.m] de su actual posición dada una presión atmosférica en [kPa] (San Joaquín  $\approx$  550 [m.s.n.m]; Casa Central  $\approx$  19 [m.s.n.m])

### Hint:

```
int p_altitud(float P){
  int altitud;
  altitud=0;
  // kPa to mbar
  P = P*10;
  if (P>44 && P<1070){
    altitud = round(((44330.7606715224)*(1-pow(P/1013.25,1/5.2559))));
  }
  return altitud;
}
```



## Experiencia N°2: BLE

<SIGLA> - <Nombre Asignatura>  
<Semestre>  
<Fecha>

### Introducción

BLE (Bluetooth Low Energy | Bluetooth de baja energía) es una tecnología inalámbrica diseñada en 2011 con el fin de utilizarse como medio de comunicación de corto alcance. En la actualidad existen múltiples tipos de dispositivos que utilizan esta tecnología como principal medio de envío y recepción de datos. Su frecuencia de funcionamiento se sitúa en la banda de 2.4 [GHz] al igual que las redes WiFi y la versión de Bluetooth Clásica.

Dentro del contexto IoT, la extracción, transformación y propagación de datos generados demandan requisitos específicos y cada vez más exigentes, por lo cual saber diferenciar entre distintos protocolos y tecnologías de comunicación es de suma importancia en un sistema con recursos limitados.

¿Qué cualidades posee BLE como tecnología inalámbrica útil en el contexto IoT?

### Objetivos

#### 1. Objetivo Principal:

Comprender la importancia de BLE como tecnología IoT a través de procedimientos empíricos pre-diseñados.

#### 2. Objetivos Secundarios:

1. Introducir los conceptos básicos de IoT utilizando la placa de desarrollo Arduino nano 33 BLE Sense como sensor de bajo consumo.
2. Programar, compilar y configurar placas de desarrollo vía Arduino IDE.
3. Interactuar con sensores inalámbricos de temperatura, humedad, gestos, color, proximidad y presión atmosférica.
4. Utilizar Sniffers BLE en Smartphones.

## Materiales

---

- 1 Placa Arduino nano 33 BLE Sense
- 1 cable USB A -> Micro USB
- Notebook con puerto USB A

## Plataformas

---

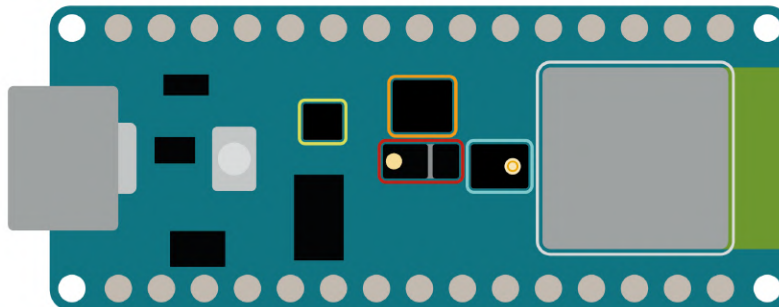
- Arduino IDE [<https://www.arduino.cc/en/software>]
- App Móvil nRF Connect
  - iOS: <https://apps.apple.com/cl/app/nrf-connect-for-mobile/id1054362403>
  - Android: [https://play.google.com/store/apps/details?id=no.nordicsemi.android.mcp&hl=es\\_CL&gl=US](https://play.google.com/store/apps/details?id=no.nordicsemi.android.mcp&hl=es_CL&gl=US)
- App Móvil PhyPhox
  - iOS: <https://apps.apple.com/us/app/phyphox/id1127319693>
  - Android: [https://play.google.com/store/apps/details?id=de.rwth\\_aachen.phyphox&hl=es\\_CL&gl=US](https://play.google.com/store/apps/details?id=de.rwth_aachen.phyphox&hl=es_CL&gl=US)

## Marco Teórico

---

### 1. [Distribución Sensores Arduino nano 33 BLE Sense](#)

NANO 33 BLE SENSE

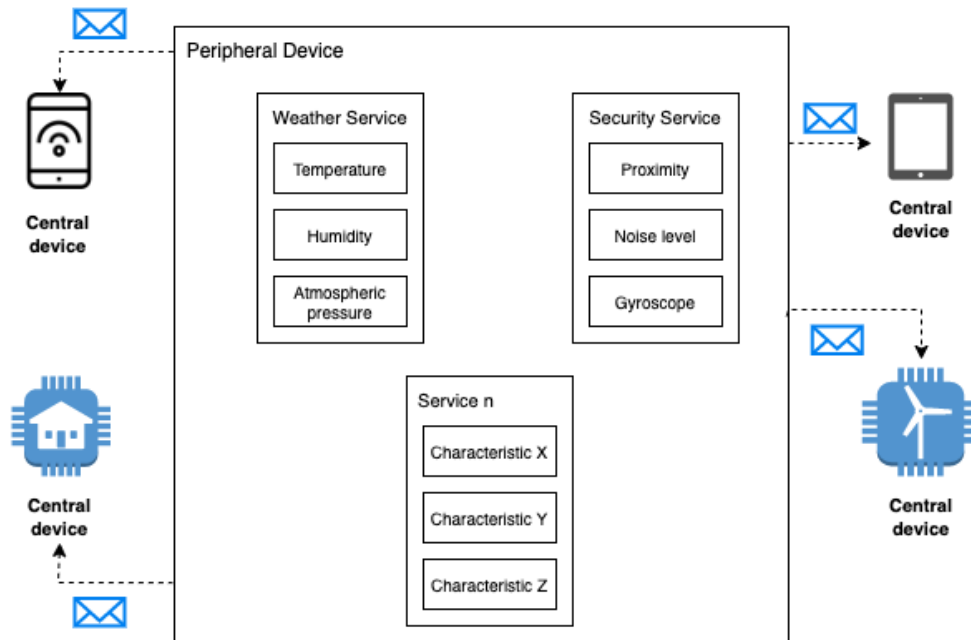


- ◆ Color, brightness, proximity and gesture sensor
- ◆ Digital microphone
- ◆ Motion, vibration and orientation sensor
- ◆ Temperature, humidity and pressure sensor
- ◆ Arm Cortex-M4 microcontroller and BLE module

Fuente: <https://store-usa.arduino.cc/products/arduino-nano-33-ble-sense-with-headers>

## 2. Arquitectura de funcionamiento en BLE

En una arquitectura BLE se reconocen dos principales roles. Un dispositivo periférico (*Peripheral device*) encargado de informar el estado de todos los servicios conectados en él hacia el exterior. Por otro lado, un dispositivo central (Central device) se suscribe a las notificaciones del dispositivo periférico, recibiendo el último estado informado por cada servicio.

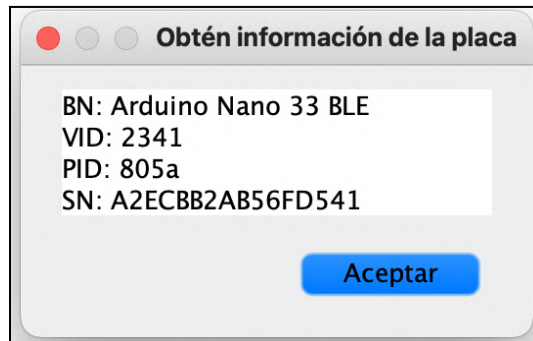


Fuente: <https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/arduinooble/> [Modificada]

## Procedimiento empírico

### 1. Configurar placa de desarrollo en Arduino IDE

- Abrir software Arduino IDE
- Conectar la placa Arduino nano 33 BLE Sense al ordenador
- Dentro del software ir a “Herramientas/Placa/Gestor de Tarjetas”
- En la nueva ventana emergente buscar “*nano 33 ble sense*”
- Instalar la última versión de “Arduino Mbed OS Nano Boards” (Sólo si no esta previamente instalada)
- Cerrar la ventana y comprobar que en la ruta [Herramientas/Placa/Arduino Mbed OS Nano Boards] se encuentre seleccionada la placa “Arduino Nano 33 BLE”
- Si sigue la ruta “Herramientas/Obtener información de la placa” debe ver una ventana emergente parecida a la imagen inferior



> Entregue una captura de pantalla con la información de su placa.


## 2. Primeros pasos: LED BLE

LED es un script de prueba en Arduino IDE diseñado como ejemplo inicial BLE (*"Hello World!"*). Su principal función es poder apagar/encender un LED incorporado en la placa de desarrollo y poder controlar su funcionamiento remotamente.

- Para crear un dispositivo periférico (Peripheral Device) utilizando la placa de desarrollo nano 33 BLE sense instale la librería "ArduinoBLE" en la ruta "Herramientas/Administrar Bibliotecas"
- En la ruta "Archivo/Ejemplos/ArduinoBLE/Peripheral" Abra el ejemplo "LED", se abrirá una ventana con el código fuente.
- Para evitar interferencias, reemplace los identificadores de las siguientes líneas de código por su Rol USM o Rut (Sin dígito verificador):

```
BLEService ledService("19B10000-E8F2-537E-4F6C-ROL_USM");
```

```
BLE.setLocalName("ROL_USM");
```

- Guarde el script como una copia (Archivo/Guardar Como)
- Cargue el script en la placa de desarrollo presionando el ícono "⇌" de la esquina superior izquierda.
- Abra el monitor serie presionando la lupa  de la esquina superior derecha.
- Abra la aplicación nRF Connect en su Smartphone.
- En la sección Scanner busque el servicio con el mismo nombre configurado en los pasos anteriores (Asegúrese de que su dispositivo esté escaneando frames)
- Presione el botón "Connect" en el servicio.
- En la nueva ventana ir a la opción "Client"

- En la tabla de atributos debe haber una característica con UUID que termine con "A1214" (Generalmente se encuentra en una lista desplegable con el ID del servicio)
- Presionar la flecha hacia arriba de esta característica.
- Poniendo atención en la placa arduino, enviar un 1 como tipo "UnsignedInt" (unit 8) desde la App.

**2.1 ¿Qué pasa en la placa arduino justo después que se envía el valor 1 desde la APP?**

- Ahora Intente enviar un cero como tipo "UnsignedInt" (unit 8).

**2.2 ¿Qué pasa en la placa arduino justo después que se envía el valor cero desde la APP?**

**2.3 ¿Cuál es el mayor valor de tipo UnsignedInt (unit 8) que puede enviar desde la App?**

- Enviando ceros y unos intercalados desde la App observe el delay que existe desde que envía un frame hasta que reacciona la placa arduino, responda las siguientes preguntas:

**2.4 Estime visualmente, ¿Cuál es el delay existente entre la placa arduino y su smartphone aproximadamente?**

- a) 1 segundo
- b) 2 segundos
- c) más de 2 segundos
- d) Casi instantáneamente (milisegundos)

**2.5 Si realiza la misma prueba alejando su smartphone de la placa (aproximadamente un metro de distancia), ¿Cuál es el delay existente entre la placa arduino y su smartphone aproximadamente?**

- a) 1 segundo
- b) 2 segundos
- c) más de 2 segundos
- d) Casi instantáneamente (milisegundos)

**2.6**


> Modifique el script de LED para que cuando se envíe un valor 33 como tipo UnsignedInt (unit 8) desde la App, la placa arduino comience a parpadear un led a intervalos de un segundo.

### 3. Capturando datos: Arduino como dispositivo central (Central device)

Además de conocer las características de BLE en dispositivos periféricos, es necesario experimentar la forma en que se puede obtener los datos de estos dispositivos utilizando BLE. Para lo anterior, es necesario configurar un *Central device* en modo escucha bajo las condiciones de esta tecnología.

- Abra la aplicación nRF Connect en su Smartphone.
- En la sección Peripheral (Advertisement) cree un nuevo advertiser presionando el botón “add advertiser” (plus button [iOS]; ADVERTISER [Android])
- En nombre escriba su Rol USM o Rut (Sin dígito verificador) y agregue un nuevo servicio presionando el botón “add service”
- Seleccione “Device Information” y guarde los cambios. Asegúrese que el advertiser esté activo y sin posibilidad de editar.
- En Arduino IDE, vaya a la ruta “Archivo/Ejemplos/ArduinoBLE/Central” Abra el ejemplo “PeripheralExplorer”, se abrirá una ventana con el código fuente.
- Modifique el nombre del periférico a buscar por su Rol USM o Rut (Sin dígito verificador), el mismo que configuró en la creación del advertiser, como se muestra en el siguiente ejemplo:

```
if (peripheral.localName() == "Rol_USM") {
```

- Guarde el script como una copia (Archivo/Guardar Como)
- Cargue el script en la placa de desarrollo presionando el ícono “⇄” de la esquina superior izquierda.
- Abra el monitor serie presionando la lupa  de la esquina superior derecha.

#### 3.1 ¿Qué pasa en el monitor serial?, ¿Tiene sentido lo obtenido? Explique


#### 3.2 ¿Cuál es el UUID del servicio escaneado?

#### 3.3

> Entregue el output generado en el monitor serial

#### 4. Detectando Frames: Arduino como Sniffer

Conocer la forma en que una arquitectura de red define los protocolos encargados de detectar e interactuar con los dispositivos heterogéneos del entorno permite poder comprender de mejor manera los desafíos de un sistema IoT. ¿Cómo un dispositivo periférico informa su presencia en los dispositivos centrales?, ¿Que se necesita para poder extraer datos de un dispositivo periférico determinado?, ¿Existe interferencia?, practiquemos.

- Para crear un Sniffer BLE Arduino IDE, vaya a la ruta “Archivo/Ejemplos/ArduinoBLE/Central” Abra el ejemplo “Scan”, se abrirá una ventana con el código fuente.
- Cargue el script en la placa de desarrollo presionando el ícono “↔” de la esquina superior izquierda.
- Abra el monitor serie presionando la lupa  de la esquina superior derecha, desactive el Autoscroll si desea observar los atributos con detención.

##### 4.1 Responda, ¿Cuál de estos atributos se observan al escanear un dispositivo periférico?

- a) UUID
- b) Nombre & dBm
- c) Address & RSSI
- d) Nombre del fabricante

##### 4.2 Responda según su intuición, ¿Qué significan el/los atributo(s) observado(s)?

##### 4.3

> Modifique el script “Scan” para sólo capture frames de dos dispositivos periféricos de su preferencia.

#### 5. Tasa de transferencia en BLE: Phyphox

Phyphox es una Aplicación móvil para generar experimentos sobre BLE. En este apartado se utilizará esta App para intentar obtener la tasa de transferencia media de envío de registros por segundo, es decir, la cantidad de mensajes (registros) que se pueden enviar en un segundo.

- Descargue y descomprima el archivo “nano\_pyphox\_v1” desde la web oficial:
  - [https://hebergement.universite-paris-saclay.fr/phyphox/nano\\_phyphox\\_v1.zip](https://hebergement.universite-paris-saclay.fr/phyphox/nano_phyphox_v1.zip)
- Abra este archivo en Arduino IDE y reemplace el nombre por su Rol\_USM (para evitar interferencias)

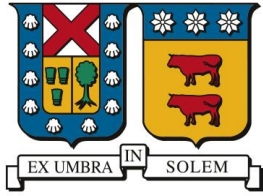
char board\_name[] = "Rol\_USM";

- Cargue el script en la placa de desarrollo presionando el ícono “⇨” de la esquina superior izquierda.
- En su smartphone, abrir la aplicación Phyphox.
- Agregue un nuevo set de experimentos presionando el botón plus (+).
- Seleccione añadir experimento desde un código QR.



- Agregue todos los experimentos y luego seleccione en la sección “Arduino Nano 33 BLE Sense” el experimento “*Temperature and Humidity*”.
- Seleccione el dispositivo BLE que posee su Rol\_USM.
- Configure la prueba como ejecución cronometrada de duración 10 segundos.
- Presione el botón “*Play*” y observe.
- En opciones del experimento puede exportar los resultados del procedimiento.

**5.1 Basándose en los datos obtenidos del experimento en Phyphox, ¿Cuántos registros por segundo se pueden enviar vía BLE aproximadamente?**



## Experiencia N°3: Deep Learning & IoT

<SIGLA> - <Nombre Asignatura>  
<Semestre>  
<Fecha>

### Introducción

DL (*Deep Learning* | Aprendizaje profundo) es una técnica de ML (*Machine Learning* | Aprendizaje automático) que utiliza un grafo de computación como arquitectura base para recibir datos de entrada  $[x]$  y transformarlos en una salida  $[y=f(x)]$

Una de las características más importantes de este tipo de arquitectura es la posibilidad de modificar la función de transformación  $f(x)$  variando los parámetros presentes dentro del grafo de computación, por ejemplo, se puede aumentar el peso de conexión existente en la unión de dos nodos (en adelante, neuronas). Del mismo modo, se puede distribuir la configuración de las neuronas, aumentar conexiones entre estas y agregar nuevas capas intermedias, todo esto con el propósito de adaptarse de mejor manera a los datos de entrada (*dataset*) y de esta forma, obtener un modelo de aprendizaje que sea representativo del fenómeno en la etapa de inferencia.

¿Qué características posee una arquitectura IoT que podrían ser útiles para la creación de modelos de Deep Learning?, ¿En qué fase se encuentran las mayores ventajas?

### Objetivos

#### 1. Objetivo Principal:

Comprender el potencial rol que ocupa una arquitectura IoT en la creación de modelos de Deep Learning.

#### 2. Objetivos Secundarios:

1. Introducir los conceptos básicos de IoT utilizando la placa de desarrollo Arduino nano 33 BLE Sense como sensor de bajo consumo.
2. Programar, compilar y configurar placas de desarrollo vía Arduino IDE.
3. Programar, compilar y configurar modelos de Deep Learning utilizando TensorFlow Lite.

4. Entrenar modelos de Deep Learning para predicción en tiempo real.
5. Ejecutar modelos de Deep Learning en placa de desarrollo Arduino Nano 33 BLE Sense.

## Materialles

---

- 1 Placa Arduino nano 33 BLE Sense
- 1 cable USB A -> Micro USB
- Notebook con puerto USB A

## Plataformas

---

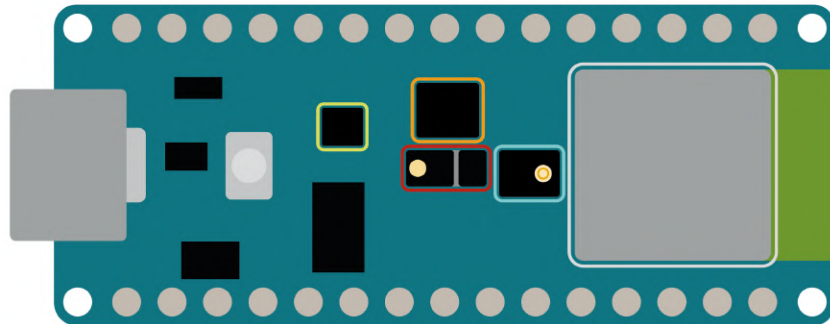
- Arduino IDE [<https://www.arduino.cc/en/software>]
- Google Colaboratory [<https://colab.research.google.com/?hl=es>]

## Marco Teórico

---

### 1. Distribución Sensores Arduino nano 33 BLE Sense

NANO 33 BLE SENSE

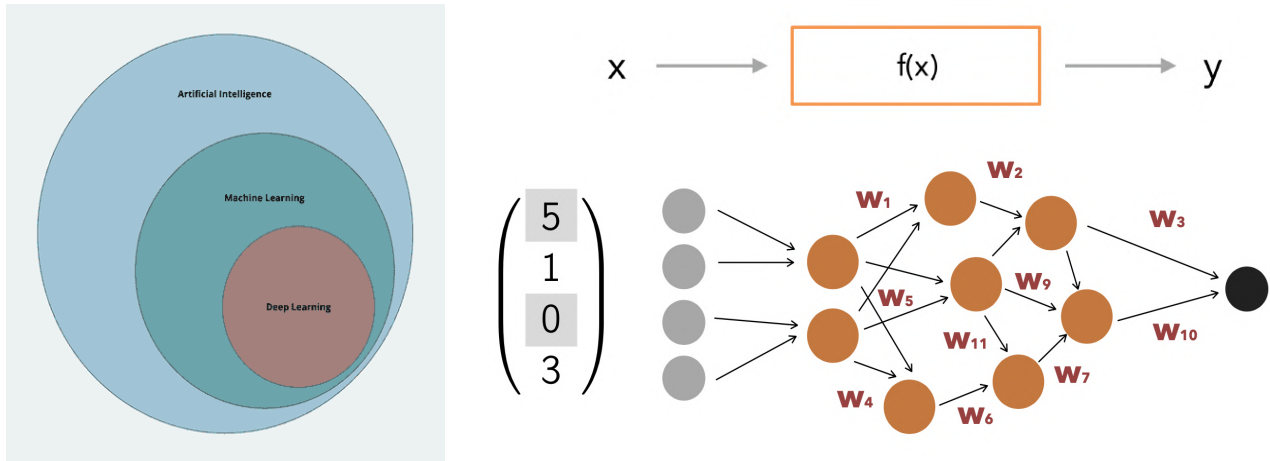


- ◆ Color, brightness, proximity and gesture sensor
- ◆ Digital microphone
- ◆ Motion, vibration and orientation sensor
- ◆ Temperature, humidity and pressure sensor
- ◆ Arm Cortex-M4 microcontroller and BLE module

Fuente: <https://store-usa.arduino.cc/products/arduino-nano-33-ble-sense-with-headers>

## 2. Arquitectura básica de una Red Neuronal Artificial (ANN)

*Deep Learning* se considera como un campo de estudio del *Machine Learning* que le da a las computadoras la capacidad de aprender sin ser programadas explícitamente. En particular, una red neuronal artificial (ANN) de tipo *Feed Forward* (FF) utiliza un grafo de computación para adaptar los pesos de conexión en cada neurona y, de esta forma, “aprender” de los datos de entrada.

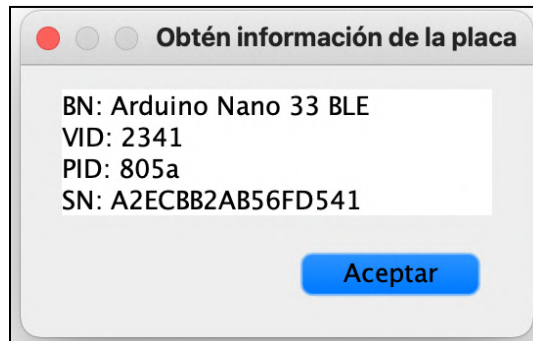


Fuente: <https://docs.arduino.cc/tutorials/nano-33-ble-sense/edge-impulse> & Ñanculef. (2020). Arquitectura Básica de Redes Neuronales. UTFSM, v1, 18.

## Procedimiento empírico

### 1. Configurar placa de desarrollo en Arduino IDE

- Abrir software Arduino IDE
- Conectar la placa Arduino nano 33 BLE Sense al ordenador
- Dentro del software ir a “Herramientas/Placa/Gestor de Tarjetas”
- En la nueva ventana emergente buscar “*nano 33 ble sense*”
- Instalar la última versión de “Arduino Mbed OS Nano Boards” (Solo si no esta previamente instalada)
- Cerrar la ventana y comprobar que en la ruta [Herramientas/Placa/Arduino Mbed OS Nano Boards] se encuentre seleccionada la placa “Arduino Nano 33 BLE”
- Si sigue la ruta “Herramientas/Obtener información de la placa” debe ver una ventana emergente parecida a la imagen inferior




### 1.1

> Entregue una captura de pantalla con la información de su placa.

## 2. Primeros pasos: Hello World

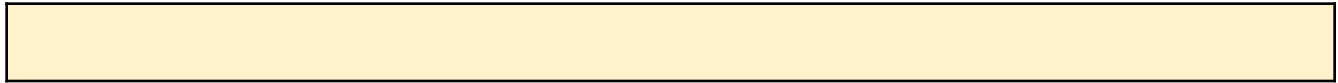
Hello World es un script de prueba en Arduino IDE diseñado como ejemplo inicial de la librería TensorFlow Lite. Su principal función es poder emular una red neuronal *Feed Forward* (FF) pre compilada para predecir el valor de la función trigonométrica SIN(x) dado un x de entrada.

- Para poder ejecutar un modelo de *Deep Learning* pre entrenado en la placa Arduino nano 33 BLE sense, es necesario obtener este modelo desde cero. Para ello, se utilizará el documento anexo a este ejercicio proporcionado por su ayudante.
- Siga las instrucciones de este anexo para obtener un código hexadecimal que representa el modelo pre entrenado requerido.
- Una vez obtenido este modelo, ingrese a Arduino IDE e instale la librería "Arduino\_TensorFlowLite" en la ruta "Herramientas/Administrar Bibliotecas"
- En la ruta "Archivo/Ejemplos/Arduino\_TensorFlowLite" Abra el ejemplo "hello\_world", se abrirá una ventana con el código fuente.
- Para poder editar este ejemplo, guarde el script como una copia (Archivo/Guardar Como)
- Reemplace el código hexadecimal presente en la pestaña "model.cpp" por el código obtenido en el documento anexo. (Respete el mismo formato que el archivo original)
- Guarde los cambios realizados y cargue el script en la placa de desarrollo presionando el ícono "↩" de la esquina superior izquierda.
- Abra el monitor serie presionando la lupa  de la esquina superior derecha.

### 2.1 ¿Qué se observa en el monitor serial?, ¿Qué representa?, ¿Para qué podría ser útil?

- Ahora abra el *Serial plotter* en la ruta "Herramientas/Serial Plotter", se abrirá una ventana.

## 2.2 ¿Qué se observa en el serial plotter?, ¿Qué representa?, ¿Para qué podría ser útil?



2.3 Estime visualmente, ¿Cuál es el delay existente entre la predicción obtenida desde la red neuronal y su representación en el serial plotter?

- a) 1 segundo
- b) 2 segundos
- c) Casi instantáneamente (milisegundos)
- d) más de 2 segundos

2.4 Estime visualmente desde el serial plotter, ¿Donde se puede observar el error de predicción de los valores obtenidos por la red neuronal?

- a) En los valores de la abscisa (eje x)
- b) En la frecuencia de la gráfica
- c) En la suavidad de la curva
- d) En el tamaño de la gráfica

2.5


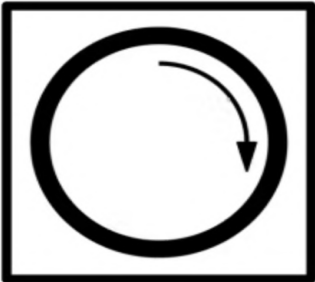
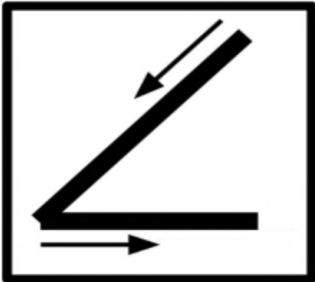
> Entregue una captura de pantalla de su serial plotter y del monitor serial


2.6

> Entregue el código hexadecimal del modelo pre entrenado generado en el documento anexo.

### 3. Reconocimiento de gestos: Simple Gesture Recognition

*Simple gesture recognition* es un script de la librería AlfES diseñado para entrenar una red neuronal y predecir tres gestos realizados por el usuario. En esta ocasión, se simularán tres gestos detallados en la tabla inferior. Para una mayor efectividad en el proceso de entrenamiento, se recomienda completar estos gestos en menos de un segundo de duración y de la forma más prolija posible.

| Gesto 1   | Gesto 2   | Gesto 3   |
|---|---|---|
|  |  |  |

- Para crear un clasificador de gestos, ingrese a Arduino IDE e instale la librería “AlfES for Arduino” en la ruta “Herramientas/Administrar Bibliotecas” (No confundir I (i) con L).
- En la ruta “Archivo/Ejemplos/AlfES for Arduino/1\_Nano\_33\_BLE\_Sense” Abra el ejemplo “2\_simple\_gesture\_recognition”, se abrirá una ventana con el código fuente.
- Cargue el script en la placa de desarrollo presionando el ícono “⇨” de la esquina superior izquierda.
- Abra el monitor serie presionando la lupa  de la esquina superior derecha.
- Tome su placa Arduino Nano 33 BLE Sense y realice el primer gesto. (Es importante que el gesto no dure más de un segundo y que al finalizar el movimiento la placa quede estática en la posición final del gesto)
- Repita el mismo gesto otras cuatro veces, observe la información entregada por el monitor serial.
- Repita los pasos anteriores para capturar los gestos 2 y 3.
- Una vez capturado todos los gestos, verá en el monitor serial como se entrena la red neuronal pre diseñada para el experimento, espere al mensaje “*Training finished*”.
- Llegó la etapa de predicción (clasificación), realice el gesto 1 usando su placa Arduino nano 33 BLE Sense.

**3.1 ¿Qué pasa en el monitor serial?, ¿Tiene sentido lo obtenido? Explique**

**3.2 ¿Cuál gesto ha recibido mayor porcentaje?, ¿Por qué? Explique**

- Ahora realice los gestos 2 y 3.


**3.3 ¿Qué varía en el monitor serial?, ¿Por qué? Explique**

**3.4**

> Entregue el output generado en el monitor serial, asegúrese de haber predicho correctamente los 3 gestos al menos una vez.

#### 4. Detección inteligente de colores: Color Detection

*Color detection* es un script que nos permite poder capturar la data de tres colores diferentes y utilizar esta información para poder entrenar una red neuronal artificial. La idea es poder predecir el grado de similitud de un objeto particular hacia estos tres colores previamente definidos.

- Para crear un clasificador inteligente de colores ingrese a Arduino IDE e instale la librería “AlfES for Arduino” en la ruta “Herramientas/Administrar Bibliotecas” (solo si no está previamente instalada)
- En la ruta “Archivo/Ejemplos/AlfES for Arduino/1\_Nano\_33\_BLE\_Sense” Abra el ejemplo “0\_color\_detection”, se abrirá una ventana con el código fuente.
- Cargue el script en la placa de desarrollo presionando el ícono “↵” de la esquina superior izquierda.
- Abra el monitor serie presionando la lupa  de la esquina superior derecha.
- Utilizando el sensor de color de su placa Arduino Nano 33 BLE Sense, capture la data acercando el sensor al color rojo.



##### 4.1 ¿Qué pasa en el monitor serial?, ¿Tiene sentido lo obtenido? Explique

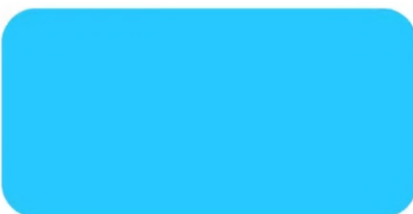
- Realice el mismo procedimiento para los restantes colores.



- Después de capturar los colores, el script comienza a entrenar la red neuronal.

##### 4.2 ¿Cuántas Epochs utilizó el script para entrenar el dataset?, ¿Cuál es el último valor de Loss?

- Finalizado el entrenamiento, se puede utilizar el clasificador. Escanee con su placa alguno de los siguientes colores según su preferencia.



**4.3 ¿Qué output arroja el monitor serial al escanear un color?, ¿Tiene coherencia? Explique.**

**4.4 Responda según su intuición, ¿Qué significan el/los atributo(s) observado(s)?**

- Ahora escanee un objeto cercano de color similar a los trabajados previamente.

**4.5 ¿Tiene coherencia los valores obtenidos?, ¿Se puede decir que la red neuronal predice correctamente? Fundamente.**

**4.6 Estime visualmente, ¿Cuál es el delay existente entre el escaneo de un color y la predicción realizada por la red neuronal?**

- a) Casi instantáneamente (milisegundos)
- b) 1 segundo
- c) 2 segundos
- d) más de 2 segundos


**4.7**

> Entregue el output generado en el monitor serial, asegúrese de haber predicho correctamente los 3 colores al menos una vez.

## **5. Detección inteligente de Voz: Micro Speech**

*Micro Speech* es un script de la librería TensorFlow Lite que detecta palabras claves en el discurso, en esta oportunidad, se configura para poder detectar los monosílabos ingleses "Yes" & "No".

- Para crear un detector inteligente de Voz ingrese a Arduino IDE e instale la librería "Arduino\_TensorFlowLite" en la ruta "Herramientas/Administrar Bibliotecas" (solo si no está previamente instalada)

- En la ruta “Archivo/Ejemplos/Arduino\_TensorFlowLite” Abra el ejemplo “micro\_speech”, se abrirá una ventana con el código fuente.
- Cargue el script en la placa de desarrollo presionando el ícono “↔” de la esquina superior izquierda.
- Abra el monitor serie presionando la lupa  de la esquina superior derecha.
- Cuando el LED naranja de la placa Arduino nano 33 BLE Sense esté parpadeando significa que se encuentra en “modo escucha” para detectar las palabras claves “Yes/No”, dejará de predecir cuando el led naranja se encienda sin parpadear.
- En modo escucha, diga la palabra “No” (/noou/) cerca de su placa Arduino Nano 33 BLE Sense. (Si es necesario intente varias veces)

**5.1 Cuando se detecta la palabra “No”, ¿De qué color se enciende el Led RGB?**

- a) Verde
- b) Azul
- c) Rojo
- d) Amarillo

**5.2 ¿Qué mensaje arroja el monitor serial cuando se detecta la palabra clave “No”?**

- En modo escucha, diga la palabra “Yes” (/ieees/) cerca de su placa Arduino Nano 33 BLE Sense. (Si es necesario intente varias veces)

**5.3 Cuando se detecta la palabra “Yes”, ¿De qué color se enciende el Led RGB?**

- a) Verde
- b) Azul
- c) Rojo
- d) Amarillo

**5.4 ¿Qué mensaje arroja el monitor serial cuando se detecta la palabra clave “Yes”?**

- En modo escucha, diga una palabra totalmente diferente cerca de su placa Arduino Nano 33 BLE Sense. (Si es necesario intente varias veces)

**5.5 Cuando no se detectan palabras claves (“unknown”), ¿De qué color se enciende el Led RGB?**

- a) Verde
- b) Azul
- c) Rojo
- d) Amarillo



### Pauta de evaluación experiencia de laboratorio N°1: OnBoarding IoT

|                       |  |
|-----------------------|--|
| Nombre del Estudiante |  |
| ROL USM               |  |
| Fecha                 |  |
| Evaluador             |  |

|   | Nivel           | Descripción   | Puntaje |
|---|-----------------|---|---------|
| O | Óptimo          | Ha logrado el desempeño óptimo, cumpliendo todos los aspectos en el desarrollo de la actividad.                                   | 5       |
| S | Satisfactorio   | Ha logrado un desempeño satisfactorio al desarrollar la actividad, sólo debe atender algunas observaciones para la optimización.  | 3       |
| B | Básico          | Ha logrado un desempeño básico, cumpliendo con la tarea de manera parcial. Debe corregir algunos aspectos relevantes de la tarea. | 1       |
| I | Insatisfactorio | No ha logrado cumplir con lo mínimo esperado en el desempeño o no ha completado la tarea.   | 0       |

| Categoría           | Factor | Indicador                                       | I | B | S | O |
|---------------------|--------|---|---|---|---|---|
| Output              | x1     | 1.1 Primeros pasos: Blink                       |   |   |   |   |
| Desarrollo          | x3     | 1.2 Primeros pasos: Blink                       |   |   |   |   |
| Output              | x1     | 2.1 Temperatura y Humedad: HTS221               |   |   |   |   |
| Desarrollo          | x3     | 2.2 Temperatura y Humedad: HTS221               |   |   |   |   |
| Output              | x1     | 3.1 Acelerómetro y Giroscopio: LSM9DS1          |   |   |   |   |
| Desarrollo          | x3     | 3.2 Acelerómetro y Giroscopio: LSM9DS1          |   |   |   |   |
| Output              | x1     | 4.1 Proximidad y Detección de Gestos: APDS-9960 |   |   |   |   |
| Desarrollo          | x3     | 4.2 Proximidad y Detección de Gestos: APDS-9960 |   |   |   |   |
| Output              | x1     | 5.1 Presión Barométrica: LPS22HB                |   |   |   |   |
| Desarrollo          | x3     | 5.2 Presión Barométrica: LPS22HB                |   |   |   |   |
| <b>Subtotal</b>     |        |   |   |   |   |   |
| <b>Calificación</b> |        |   |   |   |   |   |

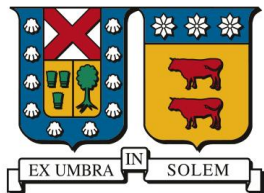


**Pauta de evaluación experiencia de laboratorio N°2: BLE**

|                       |  |       |  |
|-----------------------|--|-------|--|
| Nombre del Estudiante |  |       |  |
| ROL USM               |  | Fecha |  |
| Evaluador             |  |       |  |

|   | Nivel           | Descripción   | Puntaje |
|---|-----------------|---|---------|
| O | Óptimo          | Ha logrado el desempeño óptimo, cumpliendo todos los aspectos en el desarrollo de la actividad.                                   | 5       |
| S | Satisfactorio   | Ha logrado un desempeño satisfactorio al desarrollar la actividad, sólo debe atender algunas observaciones para la optimización.  | 3       |
| B | Básico          | Ha logrado un desempeño básico, cumpliendo con la tarea de manera parcial. Debe corregir algunos aspectos relevantes de la tarea. | 1       |
| I | Insatisfactorio | No ha logrado cumplir con lo mínimo esperado en el desempeño o no ha completado la tarea.   | 0       |

| Categoría           | Factor | Indicador  | I | B | S | O |
|---------------------|--------|--|---|---|---|---|
| Respaldo            | x1     | 1.1 Configurar placa de desarrollo en Arduino IDE      |   |   |   |   |
| Justificación       | x1     | 2.1 Primeros pasos: LED BLE                            |   |   |   |   |
| Justificación       | x1     | 2.2 Primeros pasos: LED BLE                            |   |   |   |   |
| Justificación       | x1     | 2.3 Primeros pasos: LED BLE                            |   |   |   |   |
| Alternativas        | x1     | 2.4 Primeros pasos: LED BLE                            |   |   |   |   |
| Alternativas        | x1     | 2.5 Primeros pasos: LED BLE                            |   |   |   |   |
| Desarrollo          | x3     | 2.6 Primeros pasos: LED BLE                            |   |   |   |   |
| Justificación       | x1     | 3.1 Capturando datos: Arduino como dispositivo central |   |   |   |   |
| Justificación       | x1     | 3.2 Capturando datos: Arduino como dispositivo central |   |   |   |   |
| Desarrollo          | x3     | 3.3 Capturando datos: Arduino como dispositivo central |   |   |   |   |
| Alternativas        | x1     | 4.1 Detectando Frames: Arduino como Sniffer            |   |   |   |   |
| Justificación       | x1     | 4.2 Detectando Frames: Arduino como Sniffer            |   |   |   |   |
| Desarrollo          | x3     | 4.3 Detectando Frames: Arduino como Sniffer            |   |   |   |   |
| Justificación       | x1     | 5.1 Tasa de transferencia en BLE: Phyphox              |   |   |   |   |
| <b>Subtotal</b>     |        |  |   |   |   |   |
| <b>Calificación</b> |        |  |   |   |   |   |



**Pauta de evaluación experiencia de laboratorio N°3: DL & IoT**

|                       |  |       |  |
|-----------------------|--|-------|--|
| Nombre del Estudiante |  |       |  |
| ROL USM               |  | Fecha |  |
| Evaluador             |  |       |  |

|          | Nivel           | Descripción   | Puntaje |
|----------|-----------------|---|---------|
| <b>O</b> | Óptimo          | Ha logrado el desempeño óptimo, cumpliendo todos los aspectos en el desarrollo de la actividad.                                   | 3       |
| <b>S</b> | Satisfactorio   | Ha logrado un desempeño satisfactorio al desarrollar la actividad, sólo debe atender algunas observaciones para la optimización.  | 2       |
| <b>B</b> | Básico          | Ha logrado un desempeño básico, cumpliendo con la tarea de manera parcial. Debe corregir algunos aspectos relevantes de la tarea. | 1       |
| <b>I</b> | Insatisfactorio | No ha logrado cumplir con lo mínimo esperado en el desempeño o no ha completado la tarea.   | 0       |

| Categoría     | Factor | Indicador  | I | B | S | O |
|---------------|--------|--|---|---|---|---|
| Respaldo      | x1     | 1.1 Configurar placa de desarrollo en Arduino IDE        |   |   |   |   |
| Justificación | x1     | 2.1 Primeros pasos: Hello World                          |   |   |   |   |
| Justificación | x1     | 2.2 Primeros pasos: Hello World                          |   |   |   |   |
| Alternativas  | x1     | 2.3 Primeros pasos: Hello World                          |   |   |   |   |
| Alternativas  | x1     | 2.4 Primeros pasos: Hello World                          |   |   |   |   |
| Desarrollo    | x3     | 2.5 Primeros pasos: Hello World                          |   |   |   |   |
| Desarrollo    | x3     | 2.6 Primeros pasos: Hello World                          |   |   |   |   |
| Justificación | x1     | 3.1 Reconocimiento de gestos: Simple Gesture Recognition |   |   |   |   |
| Justificación | x1     | 3.2 Reconocimiento de gestos: Simple Gesture Recognition |   |   |   |   |
| Justificación | x1     | 3.3 Reconocimiento de gestos: Simple Gesture Recognition |   |   |   |   |
| Desarrollo    | x3     | 3.4 Reconocimiento de gestos: Simple Gesture Recognition |   |   |   |   |
| Justificación | x1     | 4.1 Detección inteligente de colores: Color Detection    |   |   |   |   |
| Justificación | x1     | 4.2 Detección inteligente de colores: Color Detection    |   |   |   |   |
| Justificación | x1     | 4.3 Detección inteligente de colores: Color Detection    |   |   |   |   |



|                         |    |   |  |  |  |  |
|-------------------------|----|---|--|--|--|--|
| Justificación           | x1 | 4.4 Detección inteligente de colores: Color Detection |  |  |  |  |
| Justificación           | x1 | 4.5 Detección inteligente de colores: Color Detection |  |  |  |  |
| Alternativas            | x1 | 4.6 Detección inteligente de colores: Color Detection |  |  |  |  |
| Desarrollo              | x3 | 4.7 Detección inteligente de colores: Color Detection |  |  |  |  |
| Alternativas            | x1 | 5.1 Detección inteligente de Voz: Micro Speech        |  |  |  |  |
| Justificación           | x1 | 5.2 Detección inteligente de Voz: Micro Speech        |  |  |  |  |
| Alternativas            | x1 | 5.3 Detección inteligente de Voz: Micro Speech        |  |  |  |  |
| Justificación           | x1 | 5.4 Detección inteligente de Voz: Micro Speech        |  |  |  |  |
| Alternativas            | x1 | 5.5 Detección inteligente de Voz: Micro Speech        |  |  |  |  |
| <b>Subtotal</b>         |    |   |  |  |  |  |
| <b>Calificación (*)</b> |    |   |  |  |  |  |

(\*) Se consideran 7 puntos base en la calificación final