



CARRERA DE ESPECIALIZACIÓN EN INTELEGENCIA ARTIFICIAL

MEMORIA DEL TRABAJO FINAL

Predicción de eventos graves en pacientes hipertensos basado en informes de presurometrías a partir de la aplicación de técnicas de inteligencia artificial

Autor:

Ing. Trinidad Monreal

Director:

Dr. Ing. Roberto A. Bunge (UdeSA)

Jurados:

Nombre del jurado 1 (pertenencia)

Nombre del jurado 2 (pertenencia)

Nombre del jurado 3 (pertenencia)

*Este trabajo fue realizado en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires,
entre octubre de 2022 y agosto de 2023.*

Resumen

En esta memoria se describe el diseño y la implementación de un software de inteligencia artificial desarrollado para el Hospital Alemán. El modelo utiliza datos obtenidos de presurometrías realizadas a pacientes hipertensos, con el propósito de predecir el riesgo de sufrir eventos cardiovasculares graves. Como resultado, este trabajo permite al servicio de cardiología e hipertensión definir estrategias de tratamiento personalizadas para cada grupo de riesgo.

Para llevar a cabo este trabajo se emplearon técnicas de estadística, análisis de datos y criterios de selección de características, así como modelos de aprendizaje profundo para lograr la clasificación.

Índice general

Resumen	I
1. Introducción general	1
1.1. Conceptos básicos de la presión arterial y sus métodos de medición	1
1.1.1. Presión arterial normal e hipertensión arterial	1
1.1.2. Presurometrías	2
1.2. Contexto y motivación	3
1.3. Objetivos, alcance y requerimientos	4
1.3.1. Objetivos	4
1.3.2. Alcance	4
1.3.3. Requerimientos	4
1.4. Estado del arte	5
1.5. Bibliografía	6
2. Introducción específica	9
2.1. Estilo y convenciones	9
2.1.1. Uso de mayúscula inicial para los título de secciones	9
2.1.2. Este es el título de una subsección	9
2.1.3. Figuras	10
2.1.4. Tablas	11
2.1.5. Ecuaciones	12
3. Diseño e implementación	15
3.1. Análisis del software	15
4. Ensayos y resultados	17
4.1. Pruebas funcionales del hardware	17
5. Conclusiones	19
5.1. Conclusiones generales	19
5.2. Próximos pasos	19
Bibliografía	21

Índice de figuras

1.1. Representación esquemática del pulso de presión registrado en la aorta ascendente.	1
1.2. Esquema de un <i>holter</i> de presión arterial.	3
2.1. Ilustración del cuadrado azul que se eligió para el diseño del logo.	10
2.2. Imagen tomada de la página oficial del procesador ¹	11
2.3. ¿Por qué de pronto aparece esta figura?	11
2.4. Tres gráficos simples	11

Índice de tablas

1.1. Clasificación de la presión arterial por niveles	2
1.2. Valores de referencia para definir HTA por MAPA	3
2.1. caption corto	12

Capítulo 1

Introducción general

1.1. Conceptos básicos de la presión arterial y sus métodos de medición

En esta sección, se abordará la definición de la presión arterial normal y la hipertensión, así como el uso de las presurometrías como herramienta complementaria en su diagnóstico y seguimiento.

1.1.1. Presión arterial normal e hipertensión arterial

La presión arterial (PA) es la fuerza por unidad de superficie ejercida por la sangre contra las paredes de las arterias [1]. Sin profundizar en los principios físicos, parece relevante destacar que el corazón bombea la sangre de forma pulsátil. Por este motivo, la PA alterna entre una presión arterial sistólica (PAS) y una presión arterial diastólica (PAD). En la figura 1.1 se expone un registro típico de las pulsaciones de la presión en la raíz de la arteria aorta.

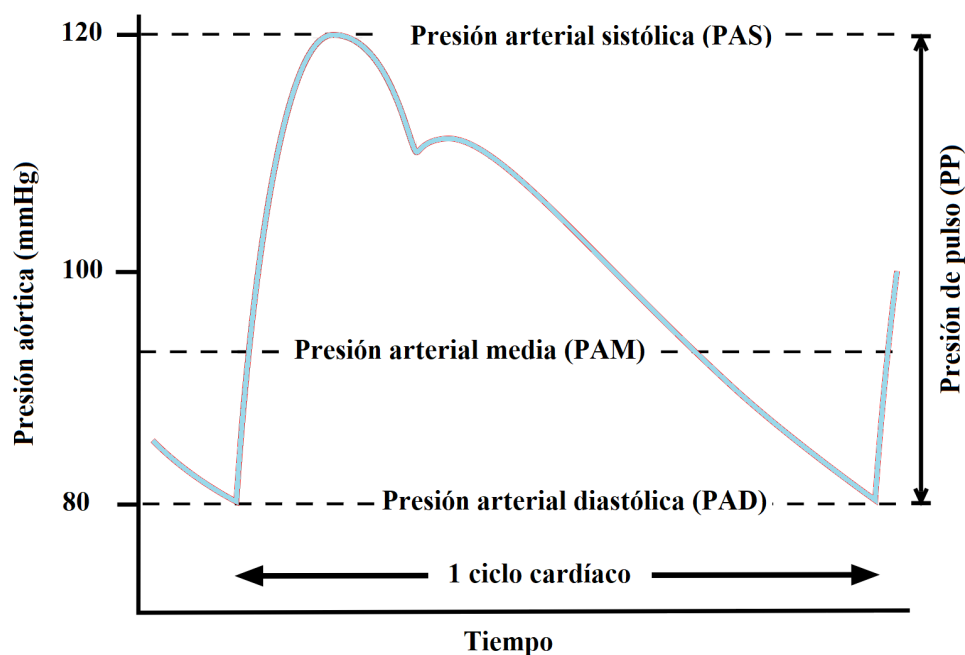


FIGURA 1.1. Representación esquemática del pulso de presión registrado en la aorta ascendente.

En un adulto joven sano, la presión máxima o PAS es de 120 mmHg y la presión mínima o PAD en cada pulso es de 80 mmHg. La diferencia entre estas dos presiones se conoce como la presión de pulso (PP) y ronda unos 40 mmHg. Por otro lado, la presión arterial media (PAM) está determinada en un 60 % por la PAD y en un 40 % por la PAS, dado que se invierte una mayor fracción del ciclo cardíaco en la diástole que en la sístole (2, 3). Así, la expresión matemática que describe a la PAM es la siguiente:

$$PAM = \frac{(2 * PAD + PAS)}{3} \quad (1.1)$$

La PA alta o hipertensión arterial (HTA) es uno de los principales factores de riesgo para las enfermedades cardiovasculares, tales como la enfermedad cerebrovascular, insuficiencia cardíaca, cardiopatía isquémica, enfermedad renal terminal, arteriopatía periférica y retinopatía [7]. Actualmente, se utiliza como guía la clasificación de HTA de la tabla 1.1 [2].

TABLA 1.1. Clasificación de la presión arterial por niveles.

Grado	Presión arterial sistólica		Presión arterial diastólica
Óptima	< 120 mmHg	y	< 80 mmHg
Normal	120-129 mmHg	y/o	80-84 mmHg
Normal-alta	130-139 mmHg	y/o	85-89 mmHg
HTA de grado I	140-159 mmHg	y/o	90-99 mmHg
HTA de grado II	160-179 mmHg	y/o	100-109 mmHg
HTA de grado III	≥ 180 mmHg	y/o	≥ 110 mmHg

1.1.2. Presurometrías

Las mediciones de PA en el consultorio médico son necesarias pero insuficientes para un adecuado diagnóstico, tratamiento y seguimiento de la HTA. El monitoreo ambulatorio de presión arterial (MAPA), también conocido como presurometría, es un examen complementario que permite evaluar la PA en el contexto de la vida cotidiana del paciente. A diferencia de las mediciones de PA en el consultorio, que se realizan en condiciones estandarizadas, el MAPA obtiene un gran número de mediciones a lo largo de un día habitual del paciente. Esto proporciona la capacidad de medir la tensión arterial durante el reposo, sueño, actividad física y mental, trabajo y período postprandial. Conocer la PA ambulatoria permite identificar diferentes patrones de HTA, tales como: HTA diurna, HTA nocturna, HTA durante todo el día, HTA durante el sueño e HTA de guardapolvo blanco (solo presente en el consultorio médico). Por lo tanto, este estudio puede ser un predictor más efectivo de la mortalidad y eventos cardiovasculares que simplemente basarse en la medición de la presión arterial en el consultorio médico [5, 7].

Actualmente, el MAPA es el único método disponible para medir la PA durante la noche, y diversos estudios demuestran que la PA nocturna tiene un mayor valor pronóstico que la PA diurna. Por esta razón, se recomienda incluir el MAPA como parte del diagnóstico de la HTA. Es especialmente útil cuando los valores de PA en el consultorio se encuentran en un rango limítrofe (grado normal-alta según la

tabla 1.1) en varias consultas consecutivas. Las indicaciones actuales para definir la HTA mediante el MAPA se detallan en la tabla 1.2.

TABLA 1.2. Valores de referencia para definir HTA por MAPA.

	Presión arterial sistólica		Presión arterial diastólica	
PA de 24 horas	≥ 130 mmHg	y/o	≥ 80 mmHg	
PA diurna	≥ 135 mmHg	y/o	≥ 85 mmHg	
PA nocturna	≥ 120 mmHg	y/o	≥ 70 mmHg	

El MAPA se lleva a cabo mediante dispositivos conocidos como presurómetros o *holters* de presión arterial. Un técnico en cardiología coloca el presurómetro en el brazo del paciente, y se retira al día siguiente. El instrumento consiste en un manguito de presión arterial conectado a una grabadora, como se muestra en la figura 1.2. Esta realiza un inflado periódico cada 20 a 30 minutos, y los datos se almacenan en una memoria de estado sólido, generalmente en una tarjeta SD. Luego, los datos son analizados mediante el software del dispositivo.

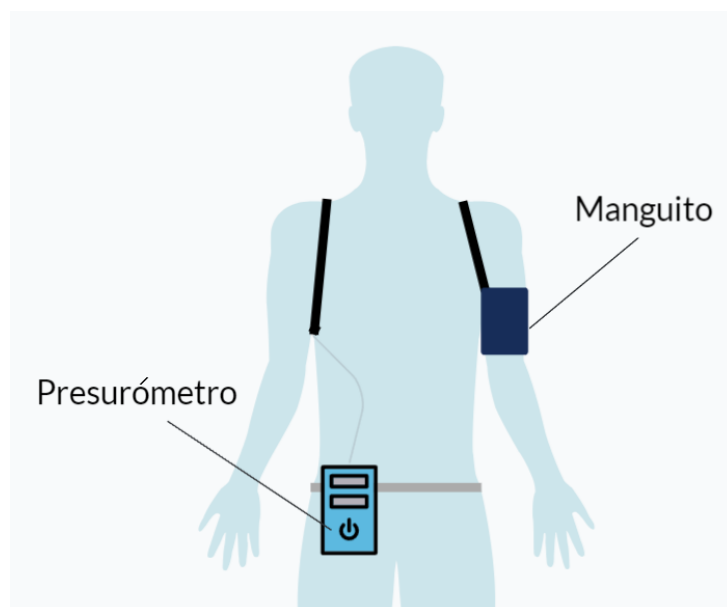


FIGURA 1.2. Esquema de un *holter* de presión arterial.

1.2. Contexto y motivación

La incorporación de técnicas de inteligencia artificial (IA) en la medicina cardiovascular es una de las principales motivaciones en la realización de este trabajo. A medida que la IA se desarrolla en distintos campos, su aplicación en el ámbito de la salud experimenta un crecimiento significativo. Sin embargo, uno de los desafíos clave que la IA enfrenta en la medicina es la limitación de datos disponibles para entrenar modelos de aprendizaje profundo [8].

En el caso particular del Hospital Alemán de Buenos Aires, el servicio de cardiología posee una gran cantidad de datos de informes de presurometrías de pacientes hipertensos. Aunque el personal carece de experiencia en herramientas de aprendizaje automático o aprendizaje profundo, los profesionales médicos

comprenden el potencial de estos datos de MAPA para facilitar la identificación de patrones, factores de riesgo y respuestas al tratamiento de HTA. Además, es importante destacar que este trabajo se alinea con la misión del Hospital Alemán, que busca la actualización constante de tecnologías para garantizar una mejor atención médica basada en la investigación [9].

1.3. Objetivos, alcance y requerimientos

1.3.1. Objetivos

El propósito de este trabajo fue el desarrollo de un software de IA que permite predecir el riesgo de sufrir un evento grave en pacientes hipertensos. En particular, se busca predecir la ocurrencia de eventos cardiovasculares adversos mayores (MACE, por sus siglas en inglés). Este es un criterio de valoración compuesto que es empleado con frecuencia en la investigación cardiovascular. A pesar del uso generalizado del término en ensayos clínicos, las definiciones de MACE pueden diferir [Kip2008]. Para este trabajo, se definió como la combinación de: accidente cerebrovascular no fatal, infarto agudo de miocardio, insuficiencia cardíaca, insuficiencia renal crónica o muerte. De este modo, un valor de MACE equivalente a la unidad indica la existencia de alguno de los eventos graves mencionados anteriormente, mientras que un valor nulo se refiere a la ausencia de estos.

Como resultado, este trabajo permite al servicio de cardiología e hipertensión del Hospital Alemán definir estrategias de tratamiento integral personalizadas para cada grupo de riesgo.

1.3.2. Alcance

Se encuentra dentro del alcance del trabajo elaborar un dataset con variables provenientes de presurometrías. El conjunto de datos debe estar en cumplimiento con la ley 25.326 para garantizar el derecho al honor y a la intimidad de los pacientes en cuestión. Además, es parte del alcance del trabajo seleccionar y elaborar un modelo de inteligencia artificial que prediga MACE en pacientes hipertensos. Asimismo, se incluye en el alcance la definición de métricas para evaluar el correcto desempeño del modelo.

Sin embargo, no se encuentra dentro del alcance del proyecto la instalación del software desarrollado dentro de los establecimientos del Hospital Alemán. Tampoco se encuentra dentro del alcance la implementación de una aplicación visual e interactiva para que utilice el usuario final.

1.3.3. Requerimientos

A continuación, se listan los requerimientos principales del trabajo agrupados por afinidad:

1. Requerimientos funcionales:

- a) El código desarrollado deberá ser capaz de estratificar a los pacientes en diferentes grupos de riesgo.
- b) El área bajo la curva ROC (acrónimo de *Receiver Operating Characteristic*, o característica operativa del receptor) del modelo deberá ser superior a 85 %.

2. Requerimientos de documentación:

- a) El código desarrollado deberá estar bien documentado. Es decir, se deben incluir comentarios que permitan a cualquier persona comprender qué se está haciendo y por qué.

3. Requerimiento de testing:

- a) Los resultados del código desarrollado deberán ser aprobados por el cliente y los usuarios finales.

4. Requerimientos reglamentarios:

- a) Los datos clínicos deberán ser de carácter anónimo, cumpliendo con la ley 25.326 que reglamenta la protección de datos personales. Para ello, se distinguirá a cada paciente mediante un número de identificación.

1.4. Estado del arte

En el presente trabajo se llevó a cabo una exhaustiva revisión de la literatura relacionada con la predicción de MACE a partir de datos de presurometrías. Después de revisar la literatura, no se encontró ningún trabajo que tuviera como objetivo predecir eventos cardíacos mayores a partir de informes de presurometrías. Sin embargo, se hallaron trabajos que si bien no tienen el mismo objetivo que este, proporcionan una perspectiva útil y algunas ideas interesantes para el desarrollo.

En primer lugar, se encontraron trabajos que buscan predecir MACE a partir de otras fuentes, como historias clínicas o resultados de pruebas de laboratorio. Tal es el caso de Huang *et al.* (2017), Zhang *et al.* (2020) y Wang *et al.* (2022), quienes utilizan información proveniente de historiales médicos para predecir eventos cardíacos mayores. Estos trabajos desarrollan modelos de aprendizaje de máquina con resultados aceptables. Sin embargo, es importante tener en cuenta que al emplear información de historiales clínicos se requiere recopilar datos durante un período prolongado. Esto contrasta con el uso de datos de MAPA, que brindan una visión más inmediata y detallada de la PA de los pacientes, permitiendo realizar inferencias más eficientes.

En segundo lugar, existen numerosos estudios que en lugar de centrarse en la predicción de MACE, se enfocan en predecir el riesgo de algunas enfermedades en particular. Se tuvieron en cuenta un total de 17 artículos científicos relevantes: ([Mortazavi2016], [Voors2017], [Samuel2017], [Weng2017], [Bowen2017], [Lorenzoni2019], [Kwon20191], [Kwon20192], [Kwon20193], [Lim2019], [Chen2019], [Awan2019], [Chicco2020], [Adler2020], [Javeed2020], [Cohen2021], [Rao2021]). Si bien los objetivos de estos estudios varían en cada caso, las técnicas de IA utilizadas son similares. Se puede destacar que los modelos de aprendizaje profundo demostraron el mejor rendimiento en la predicción de insuficiencia cardíaca y diabetes. Por otro lado, los modelos de aprendizaje de máquina clásicos obtuvieron mejores resultados en la predicción de HTA.

Si bien existe literatura académica que aborda el tema de la predicción de eventos cardiovasculares, la mayoría de los trabajos se centran en investigaciones de carácter teórico y experimental. Sin embargo, este trabajo se destaca por su enfoque práctico y su objetivo de desarrollar una herramienta concreta que pueda ser implementada de manera efectiva en el Hospital Alemán. Mediante el uso de la

presurometría y la carga inmediata de datos, se espera obtener una inferencia inmediata sobre el riesgo individual de MACE. Esta iniciativa brinda una solución real y aplicable en el entorno clínico, mejorando así la atención y los resultados de los pacientes hipertensos.

1.5. Bibliografía

Las opciones de formato de la bibliografía se controlan a través del paquete de latex *biblatex* que se incluye en la memoria en el archivo memoria.tex. Estas opciones determinan cómo se generan las citas bibliográficas en el cuerpo del documento y cómo se genera la bibliografía al final de la memoria.

En el preámbulo se puede encontrar el código que incluye el paquete biblatex, que no requiere ninguna modificación del usuario de la plantilla, y que contiene las siguientes opciones:

```
\usepackage[backend=bibtex ,
              natbib=true ,
              style=numeric ,
              sorting=none]
{biblatex}
```

En el archivo **reference.bib** se encuentran las referencias bibliográficas que se pueden citar en el documento. Para incorporar una nueva cita al documento lo primero es agregarla en este archivo con todos los campos necesario. Todas las entradas bibliográficas comienzan con @ y una palabra que define el formato de la entrada. Para cada formato existen campos obligatorios que deben completarse. No importa el orden en que las entradas estén definidas en el archivo .bib. Tampoco es importante el orden en que estén definidos los campos de una entrada bibliográfica. A continuación se muestran algunos ejemplos:

```
@ARTICLE{ARTICLE:1 ,
  AUTHOR="John Doe" ,
  TITLE="Title " ,
  JOURNAL="Journal " ,
  YEAR="2017" ,
}

@BOOK{BOOK:1 ,
  AUTHOR="John Doe" ,
  TITLE="The Book without Title " ,
  PUBLISHER="Dummy Publisher " ,
  YEAR="2100" ,
}

@INBOOK{BOOK:2 ,
  AUTHOR="John Doe" ,
  TITLE="The Book without Title " ,
  PUBLISHER="Dummy Publisher " ,
  YEAR="2100" ,
  PAGES="100-200" ,
}
```



```
@MISC{WEBSITE:1 ,  
      HOWPUBLISHED = "\url{http://example.com}" ,  
      AUTHOR = "Intel" ,  
      TITLE = "Example Website" ,  
      MONTH = "12" ,  
      YEAR = "1988" ,  
      URLLDATE = {2012-11-26}  
}
```

Se debe notar que los nombres *ARTICLE:1*, *BOOK:1*, *BOOK:2* y *WEBSITE:1* son nombres de fantasía que le sirve al autor del documento para identificar la entrada. En este sentido, se podrían reemplazar por cualquier otro nombre. Tampoco es necesario poner : seguido de un número, en los ejemplos sólo se incluye como un posible estilo para identificar las entradas.

Las entradas se citan en el documento con el comando:

```
\citep{nombre_de_la_entrada}
```

Y cuando se usan, se muestran así: [1], [2], [3], [4]. Notar cómo se conforma la sección Bibliografía al final del documento.

Finalmente y como se mencionó en la subsección ??, para actualizar las referencias bibliográficas tanto en la sección bibliografía como las citas en el cuerpo del documento, se deben ejecutar las herramientas de compilación PDFLaTeX, BibTeX, PDFLaTeX, PDFLaTeX, en ese orden. Este procedimiento debería resolver cualquier mensaje "Citation xxxxx on page x undefined".

Capítulo 2

Introducción específica

Todos los capítulos deben comenzar con un breve párrafo introductorio que indique cuál es el contenido que se encontrará al leerlo. La redacción sobre el contenido de la memoria debe hacerse en presente y todo lo referido al proyecto en pasado, siempre de modo impersonal.

2.1. Estilo y convenciones

2.1.1. Uso de mayúscula inicial para los título de secciones

Si en el texto se hace alusión a diferentes partes del trabajo referirse a ellas como capítulo, sección o subsección según corresponda. Por ejemplo: “En el capítulo **1** se explica tal cosa”, o “En la sección **2.1** se presenta lo que sea”, o “En la subsección **2.1.2** se discute otra cosa”.

Cuando se quiere poner una lista tabulada, se hace así:

- Este es el primer elemento de la lista.
- Este es el segundo elemento de la lista.

Notar el uso de las mayúsculas y el punto al final de cada elemento.

Si se desea poner una lista numerada el formato es este:

1. Este es el primer elemento de la lista.
2. Este es el segundo elemento de la lista.

Notar el uso de las mayúsculas y el punto al final de cada elemento.

2.1.2. Este es el título de una subsección

Se recomienda no utilizar **texto en negritas** en ningún párrafo, ni tampoco texto subrayado. En cambio sí se debe utilizar *texto en itálicas* para palabras en un idioma extranjero, al menos la primera vez que aparecen en el texto. En el caso de palabras que estamos inventando se deben utilizar “comillas”, así como también para citas textuales. Por ejemplo, un *digital filter* es una especie de “selector” que permite separar ciertos componentes armónicos en particular.

La escritura debe ser impersonal. Por ejemplo, no utilizar “el diseño del firmware lo hice de acuerdo con tal principio”, sino “el firmware fue diseñado utilizando tal principio”.

El trabajo es algo que al momento de escribir la memoria se supone que ya está concluido, entonces todo lo que se refiera a hacer el trabajo se narra en tiempo pasado, porque es algo que ya ocurrió. Por ejemplo, "se diseñó el firmware empleando la técnica de test driven development".

En cambio, la memoria es algo que está vivo cada vez que el lector la lee. Por eso transcurre siempre en tiempo presente, como por ejemplo:

"En el presente capítulo se da una visión global sobre las distintas pruebas realizadas y los resultados obtenidos. Se explica el modo en que fueron llevados a cabo los test unitarios y las pruebas del sistema".

Se recomienda no utilizar una sección de glosario sino colocar la descripción de las abreviaturas como parte del mismo cuerpo del texto. Por ejemplo, RTOS (*Real Time Operating System*, Sistema Operativo de Tiempo Real) o en caso de considerarlo apropiado mediante notas a pie de página.

Si se desea indicar alguna página web utilizar el siguiente formato de referencias bibliográficas, dónde las referencias se detallan en la sección de bibliografía de la memoria, utilizando el formato establecido por IEEE en [5]. Por ejemplo, "el presente trabajo se basa en la plataforma EDU-CIAA-NXP [6], la cual...".

2.1.3. Figuras

Al insertar figuras en la memoria se deben considerar determinadas pautas. Para empezar, usar siempre tipografía claramente legible. Luego, tener claro que **es incorrecto** escribir por ejemplo esto: "El diseño elegido es un cuadrado, como se ve en la siguiente figura:"



La forma correcta de utilizar una figura es con referencias cruzadas, por ejemplo: "Se eligió utilizar un cuadrado azul para el logo, como puede observarse en la figura 2.1".



FIGURA 2.1. Ilustración del cuadrado azul que se eligió para el diseño del logo.

El texto de las figuras debe estar siempre en español, excepto que se decida reproducir una figura original tomada de alguna referencia. En ese caso la referencia de la cual se tomó la figura debe ser indicada en el epígrafe de la figura e incluida como una nota al pie, como se ilustra en la figura 2.2.

FIGURA 2.2. Imagen tomada de la página oficial del procesador¹.

La figura y el epígrafe deben conformar una unidad cuyo significado principal pueda ser comprendido por el lector sin necesidad de leer el cuerpo central de la memoria. Para eso es necesario que el epígrafe sea todo lo detallado que corresponda y si en la figura se utilizan abreviaturas entonces aclarar su significado en el epígrafe o en la misma figura.



FIGURA 2.3. ¿Por qué de pronto aparece esta figura?

Nunca colocar una figura en el documento antes de hacer la primera referencia a ella, como se ilustra con la figura 2.3, porque sino el lector no comprenderá por qué de pronto aparece la figura en el documento, lo que distraerá su atención.

Otra posibilidad es utilizar el entorno *subfigure* para incluir más de una figura, como se puede ver en la figura 2.4. Notar que se pueden referenciar también las figuras internas individualmente de esta manera: 2.4a, 2.4b y 2.4c.



(A) Un caption.



(B) Otro.



(C) Y otro más.

FIGURA 2.4. Tres gráficos simples

El código para generar las imágenes se encuentra disponible para su reutilización en el archivo **Chapter2.tex**.

2.1.4. Tablas

Para las tablas utilizar el mismo formato que para las figuras, sólo que el epígrafe se debe colocar arriba de la tabla, como se ilustra en la tabla 2.1. Observar que sólo algunas filas van con líneas visibles y notar el uso de las negritas para los encabezados. La referencia se logra utilizando el comando `\ref{<label>}` donde label debe estar definida dentro del entorno de la tabla.

¹Imagen tomada de <https://goo.gl/images/i7C70w>

```

\begin{table}[h]
\centering
\caption[caption corto]{caption largo más descriptivo}
\begin{tabular}{l c c}
\toprule
\textrbf{Especie} & \textrbf{Tamaño} & \textrbf{Valor}\\
\midrule
Amphiprion Ocellaris & 10 cm & \$ 6.000 \\
Hepatus Blue Tang & 15 cm & \$ 7.000 \\
Zebrasoma Xanthurus & 12 cm & \$ 6.800 \\
\bottomrule
\hline
\end{tabular}
\label{tab:peces}
\end{table}

```

TABLA 2.1. caption largo más descriptivo

Especie	Tamaño	Valor
Amphiprion Ocellaris	10 cm	\$ 6.000
Hepatus Blue Tang	15 cm	\$ 7.000
Zebrasoma Xanthurus	12 cm	\$ 6.800

En cada capítulo se debe reiniciar el número de conteo de las figuras y las tablas, por ejemplo, figura 2.1 o tabla 2.1, pero no se debe reiniciar el conteo en cada sección. Por suerte la plantilla se encarga de esto por nosotros.

2.1.5. Ecuaciones

Al insertar ecuaciones en la memoria dentro de un entorno *equation*, éstas se numeran en forma automática y se pueden referir al igual que como se hace con las figuras y tablas, por ejemplo ver la ecuación 2.1.

$$ds^2 = c^2 dt^2 \left(\frac{d\sigma^2}{1 - k\sigma^2} + \sigma^2 [d\theta^2 + \sin^2 \theta d\phi^2] \right) \quad (2.1)$$

Es importante tener presente que si bien las ecuaciones pueden ser referidas por su número, también es correcto utilizar los dos puntos, como por ejemplo “la expresión matemática que describe este comportamiento es la siguiente:”

$$\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \Psi + V(\mathbf{r}) \Psi = -i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} \quad (2.2)$$

Para generar la ecuación 2.1 se utilizó el siguiente código:

```

\begin{equation}
\label{eq:metric}
ds^2 = c^2 dt^2 \left( \frac{d\sigma^2}{1-k\sigma^2} + \right.
\sigma^2 \left[ d\theta^2 + \sin^2 \theta d\phi^2 \right] \left. \right)
\end{equation}

```

Y para la ecuación 2.2:

```
\begin{equation}
\label{eq:schrodinger}
\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2\Psi + V(\mathbf{r})\Psi =
-i\hbar \frac{\partial\Psi}{\partial t}
\end{equation}
```


Capítulo 3

Diseño e implementación

3.1. Análisis del software

La idea de esta sección es resaltar los problemas encontrados, los criterios utilizados y la justificación de las decisiones que se hayan tomado.

Se puede agregar código o pseudocódigo dentro de un entorno `lstlisting` con el siguiente código:

```
\begin{lstlisting}[caption= "un epígrafe descriptivo"]
las líneas de código irían aquí...
\end{lstlisting}
```

A modo de ejemplo:

```
1 #define MAX_SENSOR_NUMBER 3
2 #define MAX_ALARM_NUMBER 6
3 #define MAX_ACTUATOR_NUMBER 6
4
5 uint32_t sensorValue[MAX_SENSOR_NUMBER];
6 FunctionalState alarmControl[MAX_ALARM_NUMBER]; //ENABLE or DISABLE
7 state_t alarmState[MAX_ALARM_NUMBER]; //ON or OFF
8 state_t actuatorState[MAX_ACTUATOR_NUMBER]; //ON or OFF
9
10 void vControl() {
11
12     initGlobalVariables();
13
14     period = 500 ms;
15
16     while(1) {
17
18         ticks = xTaskGetTickCount();
19
20         updateSensors();
21
22         updateAlarms();
23
24         controlActuators();
25
26         vTaskDelayUntil(&ticks, period);
27     }
28 }
```

CÓDIGO 3.1. Pseudocódigo del lazo principal de control.

Capítulo 4

Ensayos y resultados

4.1. Pruebas funcionales del hardware

La idea de esta sección es explicar cómo se hicieron los ensayos, qué resultados se obtuvieron y analizarlos.

Capítulo 5

Conclusiones

5.1. Conclusiones generales

La idea de esta sección es resaltar cuáles son los principales aportes del trabajo realizado y cómo se podría continuar. Debe ser especialmente breve y concisa. Es buena idea usar un listado para enumerar los logros obtenidos.

Algunas preguntas que pueden servir para completar este capítulo:

- ¿Cuál es el grado de cumplimiento de los requerimientos?
- ¿Cuán fielmente se pudo seguir la planificación original (cronograma incluido)?
- ¿Se manifestó algunos de los riesgos identificados en la planificación? ¿Fue efectivo el plan de mitigación? ¿Se debió aplicar alguna otra acción no contemplada previamente?
- Si se debieron hacer modificaciones a lo planificado ¿Cuáles fueron las causas y los efectos?
- ¿Qué técnicas resultaron útiles para el desarrollo del proyecto y cuáles no tanto?

5.2. Próximos pasos

Acá se indica cómo se podría continuar el trabajo más adelante.

Bibliografía

- [1] John Doe. «Title». En: *Journal* (2017).
- [2] John Doe. *The Book without Title*. Dummy Publisher, 2100.
- [3] John Doe. «The Book without Title». En: Dummy Publisher, 2100, págs. 100-200.
- [4] Intel. *Example Website*. <http://example.com>. Dic. de 1988. (Visitado 26-11-2012).
- [5] IEEE. *IEEE Citation Reference*. 1.^a ed. IEEE Publications, 2016. URL: <http://www.ieee.org/documents/ieeecitationref.pdf> (visitado 26-09-2016).
- [6] Proyecto CIAA. *Computadora Industrial Abierta Argentina*. Visitado el 2016-06-25. 2014. URL: <http://proyecto-ciaa.com.ar/devwiki/doku.php?id=start>.