



Interfaces Cerebro-Cloud para la predicción de actividades de imaginación motriz

Autor:

Ing. Freddy Julian Riascos Salas

Director:

Mg. Ing. Jaime Andrés Riascos Salas (Potsdam Embodied Cognition
Group PECoG)

*Esta planificación fue realizada en el curso de Gestión de proyectos
entre el 4 de marzo de 2025 y el 22 de abril de 2025.*

Índice

1. Descripción técnica-conceptual del proyecto a realizar.	5
2. Identificación y análisis de los interesados	7
3. Propósito del proyecto	7
4. Alcance del proyecto	8
5. Supuestos del proyecto.	8
6. Product backlog.	9
7. Criterios de aceptación de historias de usuario	11
8. Fases de CRISP-DM	12
9. Desglose del trabajo en tareas	13
10. Diagrama de Activity On Node.	14
11. Diagrama de Gantt	15
12. Presupuesto detallado del proyecto	17
13. Gestión de riesgos	17
14. Gestión de la calidad	18
15. Procesos de cierre	19

Registros de cambios

Revisión	Detalles de los cambios realizados	Fecha
0	Creación del documento	4 de marzo de 2025
1	Se completa hasta el 5 punto inclusive	20 de marzo de 2025
2	Se completa hasta el 8 punto inclusive	28 de marzo de 2025

Acta de constitución del proyecto

Buenos Aires, 4 de marzo de 2025

Por medio de la presente se acuerda con el Ing. Freddy Julian Riascos Salas que su Trabajo Final de la Carrera de Especialización en Inteligencia Artificial se titulará “Interfaces Cerebro-Cloud para la predicción de actividades de imaginación motriz” y consistirá en *evaluar una interfaz cerebro-computadora (Brain-Computer Interface, BCI) con soporte en la nube para la detección de patrones de imaginación motriz*. El trabajo tendrá un presupuesto preliminar estimado de 600 horas y un costo estimado de \$25000, con fecha de inicio el 4 de marzo de 2025 y fecha de presentación pública el octubre de 2025.

Se adjunta a esta acta la planificación inicial.

Dr. Ing. Ariel Lutenberg
Director posgrado FIUBA

Xprende
Xprendetech S.A

Mg. Ing. Jaime Andrés Riascos Salas
Director del Trabajo Final

1. Descripción técnica-conceptual del proyecto a realizar

Las interfaces cerebro-computadora (*Brain-Computer Interfaces*, BCI) han emergido como una tecnología innovadora que permite la comunicación directa entre el cerebro humano y dispositivos externos. En particular, la predicción de actividades de imaginación motriz a través de BCI han cobrado relevancia en campos que varían desde la rehabilitación, robótica, control de prótesis hasta sistemas domóticos, videojuegos y realidad virtual.

La integración de las BCI con tecnologías en la nube permite el almacenamiento, procesamiento y análisis eficiente de grandes volúmenes de datos cerebrales. Esto favorece la aplicación de algoritmos avanzados de aprendizaje automático y mejora la precisión de la interpretación de señales cerebrales.

1.1 Conceptos fundamentales

Interfaces cerebro-computadora

Los BCI son sistemas que registran la actividad cerebral mediante técnicas como la electroencefalografía (EEG) y traducen estas señales en comandos computacionales. Existen distintos tipos de BCI:

- Invasivas: electrodos implantados directamente en el cerebro.
- No invasivas: uso de sensores externos como EEG, MEG o fNIRS.

Imaginación motriz

La imaginación motriz se refiere a la capacidad de representar mentalmente movimientos sin ejecutarlos físicamente. Durante este proceso, se activan patrones específicos en la corteza motora, los cuales pueden ser detectados mediante EEG y utilizados para el control de dispositivos externos.

Computación en la nube y BCI

El uso de servicios en la nube permite procesar grandes volúmenes de datos EEG en tiempo real obteniendo beneficios como:

- Almacenamiento y procesamiento escalable de datos cerebrales.
- Acceso remoto para análisis colaborativo.
- Implementación de modelos de aprendizaje automático en infraestructura distribuida.

1.2 Problema actual

Al presente, las personas con discapacidades motoras severas enfrentan grandes dificultades en la interacción con su entorno. Los sistemas actuales de BCI presentan limitaciones en términos de precisión, latencia, accesibilidad, recopilación, análisis y clasificación de las señales EEG. Normalmente, estos datos se encuentran contaminados por distintos artefactos biológicos, tales como señales cardíacas, respiratorias o músculos, como también por ruidos externos.

Así mismo, la dimensión de estos datos, dada por la cantidad de canales y señal de tiempo, crea una problema de procesamiento y dimensionalidad. Todas estas dificultades evitan que

el clasificador reciba características latentes de la señal y así realizar la predicción de forma adecuada y rápida.

1.3 Solución propuesta

La interfaz Cerebro-Cloud sugerida integra un modelo de predicción basado en aprendizaje automático con una arquitectura en la nube que permita la adquisición, procesamiento y transmisión de señales cerebrales en tiempo real. Esto proporcionará una solución más precisa, escalable y accesible para el control de dispositivos mediante imaginación motriz.

En comparación con el estado del arte actual, la solución se destaca en:

- Precisión mejorada: uso de modelos de inteligencia artificial optimizados para la interpretación de señales eléctricas (electroencefalografía, EEG).
- Reducción de latencia: procesamiento distribuido en la nube.
- Accesibilidad: plataforma escalable con acceso a la información para usuarios y especialistas.

Este interfaz BCI-Cloud tiene como objetivo mejorar la calidad de vida de personas con discapacidades motoras al proporcionar una herramienta en la nube para la comunicación y control de dispositivos protésicos.

El proyecto se enmarca dentro de un programa de innovación tecnológica de la empresa Xprende, que cuenta con financiamiento para su ejecución.

1.4 Descripción funcional y diagrama en bloques

La solución propuesta consta de los siguientes módulos principales:

- Adquisición de señales EEG: sensores no invasivos capturan la actividad cerebral del usuario.
- Preprocesamiento de datos: filtrado y eliminación de ruido en las señales EEG.
- Modelo de predicción: algoritmos de aprendizaje automático analizan los datos y determinan la intención motriz.
- Transmisión en la nube: los datos procesados se envían a servidores remotos para análisis y almacenamiento.
- Interfaz usuario-dispositivo: una interfaz que traduce la predicción en comandos para dispositivos externos, como prótesis o interfaces de control.

En la figura 1 se presenta el diagrama de bloques del sistema BCI-Cloud. Se observa que el usuario inicial genera datos con el sensor EEG. Luego envía los datos a un sistema de preprocesamiento. Una vez que los datos se encuentran óptimos se envían a la nube. Seguidamente el modelo seleccionado se entrena. Finalmente el modelo predice el movimiento imaginado en la interfaz de usuario.

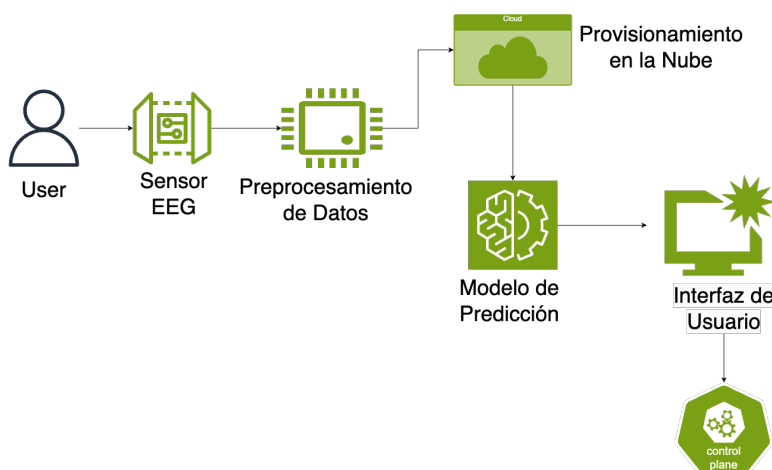


Figura 1. Diagrama del sistema BCI-Cloud.

2. Identificación y análisis de los interesados

A continuación, se presentan los principales actores involucrados en el desarrollo del proyecto y su respectiva función:

Rol	Nombre y Apellido	Organización	Puesto
Cliente	Ing. Miguel Amaya	Xprendetech S.A	-
Responsable	Ing. Freddy Julian Riascos Salas	FIUBA	Alumno
Orientador	Mg. Ing. Jaime Andrés Riascos Salas	Potsdam Embodied Cognition Group PECoG	Director del Trabajo Final
Usuario final	Paciente	-	-

A continuación las principales características de cada interesado.

- Orientador: el Mg. Ing. Andrés Salas es experto en desarrollar interfaces cerebro-maquina y dará orientación con la definición de los requerimientos y el desarrollo del sistema BCI-Cloud.
- Usuario final: usuario con discapacidad motora severa, quien se beneficiaría directamente del control del dispositivo y la interfaz.

3. Propósito del proyecto

La intención del proyecto es diseñar y desarrollar una plataforma basada en BCI-Cloud que facilite la predicción de actividades de imaginación motriz en personas con discapacidades motoras severas. A través de la integración de inteligencia artificial y computación en la nube, se busca ofrecer una solución innovadora que permita mejorar la interacción con el entorno mediante el control preciso de dispositivos electrónicos y protésicos.

4. Alcance del proyecto

El proyecto comprenderá los siguientes componentes:

- Modelo de predicción basado en algoritmos de aprendizaje automático para la interpretación de señales EEG. Se evaluarán distintos modelos como CNNs, RNNs y *Transformers* para determinar el que mejor performe en términos de precisión y latencia.
- Datos adquiridos de sensores EEG, que se utilizarán para entrenar y validar el modelo. Se garantizará que la adquisición de datos cumpla con estándares de calidad y se preprocesen para eliminar ruido.
- Código de la infraestructura en la nube.
- Documentación técnica y científica, que detalla el diseño, implementación y validación del sistema.
- Pruebas y validaciones realizadas con usuarios objetivo para evaluar el desempeño y precisión del modelo. Se incluirán métricas clave que garanticen el óptimo desempeño del sistema.
- Desarrollo y entrenamiento del modelo de predicción de actividades de imaginación motriz, con comparaciones entre distintos enfoques de inteligencia artificial.
- Integración con una infraestructura en la nube escalable y segura en *Amazon Web Services*.
- Adquisición y procesamiento de señales cerebrales mediante sensores EEG.
- Evaluación del sistema con usuarios finales para validar su precisión y usabilidad.
- Generación de documentación técnica para futuras mejoras e implementación.
- Optimización del procesamiento en la nube para reducir latencia y mejorar la eficiencia del sistema.

El presente proyecto no incluye:

- Desarrollo de hardware EEG propio. Para ello se utilizarán dispositivos comerciales disponibles en el mercado.
- Implementación de interfaces cerebro-máquina más allá de la imaginación motriz.
- Integración con sistemas de salud o bases de datos clínicas.

5. Supuestos del proyecto

- Disponibilidad de datos EEG de calidad: se asume que los datos recopilados mediante sensores EEG serán suficientes y de calidad adecuada para el entrenamiento del modelo sin necesidad de un preprocesamiento excesivo.
- Recursos computacionales: se cuenta con acceso a instancias de cómputo en la nube, tales como las brindadas por *Amazon Web Services*, que permitan el entrenamiento y despliegue del modelo de inteligencia artificial sin limitaciones de procesamiento o almacenamiento.

- Factibilidad técnica de integración: se considera viable la integración entre los sensores EEG, la infraestructura en la nube y la interfaz de usuario.
- Condiciones regulatorias favorables: no existen restricciones legales o normativas que impidan la recopilación y procesamiento de datos EEG.

6. Product backlog

1. Épica 1 - Adquisición y procesamiento de señales EEG

1.1. HU1

Como ingeniero, quiero capturar señales EEG para alimentar el modelo de predicción.

Dificultad: 5

Complejidad: 4

Incertidumbre: 3

Suma: 12 → *Story Points*: 13

Prioridad: 1

1.2. HU2

Como ingeniero, quiero que las señales EEG sean filtradas y normalizadas automáticamente para mejorar la calidad del entrenamiento del modelo.

Dificultad: 4

Complejidad: 2

Incertidumbre: 2

Suma: 8 → *Story Points*: 8

Prioridad: 2

2. Épica 2 - Inteligencia artificial y modelado

2.1. HU3

Como ingeniero, quiero entrenar un modelo de inteligencia artificial con señales EEG preprocesadas para predecir actividades de imaginación motriz con alta precisión.

Dificultad: 5

Complejidad: 5

Incertidumbre: 4

Suma: 14 → *Story Points*: 21

Prioridad: 3

2.2. HU4

Como ingeniero, quiero optimizar el modelo de inteligencia artificial para que el tiempo de respuesta sea menor a 5000 ms, una precisión de 80% y mejorar la experiencia del usuario.

Dificultad: 4

Complejidad: 3
Incertidumbre: 3
Suma: 10 → *Story Points*: 13
Prioridad: 4

3. Épica 3 - Infraestructura en la nube

3.1. HU5

Como ingeniero, quiero que el procesamiento de datos EEG ocurra en *Amazon Web Services* AWS Lambda para mejorar la escalabilidad del sistema.

Dificultad: 5
Complejidad: 4
Incertidumbre: 3
Suma: 12 → *Story Points*: 13
Prioridad: 5

3.2. HU6

Como ingeniero, quiero una API REST para conectar los dispositivos EEG con la nube y enviar los datos en tiempo real.

Dificultad: 4
Complejidad: 3
Incertidumbre: 3
Suma: 10 → *Story Points*: 13
Prioridad: 6

4. Épica 4 - Interfaz de usuario y seguridad

4.1. HU7

Como usuario final, quiero visualizar mis señales EEG en una interfaz gráfica para entender cómo se interpretan mis actividades cerebrales.

Dificultad: 5
Complejidad: 3
Incertidumbre: 2
Suma: 10 → *Story Points*: 13
Prioridad: 7

4.2. HU8

Como ingeniero, quiero que los datos EEG sean almacenados y transmitidos de manera segura para cumplir con las normativas de privacidad.

Dificultad: 5
Complejidad: 5
Incertidumbre: 2
Suma: 12 → *Story Points*: 13
Prioridad: 8

7. Criterios de aceptación de historias de usuario

1. Épica 1 - Adquisición y procesamiento de señales EEG

1.1. Criterios de aceptación HU1

- Se deben capturar datos EEG con una frecuencia mínima de 250 Hz.
- Los datos deben ser transmitidos a la nube con una latencia máxima de 5000 ms.
- La adquisición de datos debe ser continua y sin interrupciones durante al menos 30 minutos de prueba.
- Los archivos generados deben almacenarse en *Amazon Web Services* seleccionando el mejor sistema de almacenamiento teniendo en cuenta costo y beneficio.

1.2. Criterios de aceptación HU2

- Las señales EEG deben ser preprocesadas eliminando ruido y artefactos antes del almacenamiento.
- Los datos normalizados deben ser accesibles en una base de datos en la nube.
- La precisión del filtrado debe validarse con al menos un 95 % de efectividad en la eliminación de ruido.

2. Épica 2 - Inteligencia artificial y modelado

2.1. Criterios de aceptación HU3

- El modelo de predicción debe alcanzar una precisión mínima del 85 % en validación cruzada.
- Se deben entrenar al menos tres arquitecturas y seleccionar la mejor.
- Se deben generar logs detallados del proceso de entrenamiento con métricas de desempeño.

2.2. Criterios de aceptación HU4

- El modelo optimizado debe tener un tiempo de inferencia menor a 5000 ms.
- La implementación debe utilizar hardware optimizado en la nube.
- Se debe medir la latencia en diferentes condiciones de carga y garantizar estabilidad.
- Los resultados de predicción deben ser accesibles en tiempo real a través de una API REST.

3. Épica 3 - Infraestructura en la nube

3.1. Criterios de aceptación HU5

- La infraestructura debe ser escalable, permitiendo hasta 1000 eventos concurrentes.
- Se debe garantizar un 85.9 % de disponibilidad del servicio en producción.
- *Amazon Web Services* Lambda debe procesar eventos EEG en tiempo real con ejecución máxima de 15 segundos.

3.2. Criterios de aceptación HU6

- La API REST debe permitir la recepción de datos EEG con un *endpoint* dedicado.
- Debe incluir autenticación y autorización mediante *tokens Json Web Tokens*.

- La API REST debe responder con código 200 OK en menos de 300 ms en condiciones normales.
- La documentación de la API REST debe estar disponible con ejemplos de uso.

4. Épica 4 - Interfaz de usuario y seguridad

4.1. Criterios de aceptación HU7

- La interfaz debe permitir visualizar las señales EEG en gráficos.
- Se debe permitir la exportación de datos en formatos CSV y JSON.

4.2. Criterios de aceptación HU8

- Los datos EEG deben ser cifrados en tránsito y en reposo.
- El sistema debe incluir una política de retención y eliminación de datos.

8. Fases de CRISP-DM

Comprensión del negocio

Objetivo: desarrollar un modelo de inteligencia artificial que analice señales EEG para predecir la intención de movimiento en usuarios, lo que facilitarían aplicaciones en neurorehabilitación y control de dispositivos.

Valor agregado: automatización del análisis de señales cerebrales para mejorar la accesibilidad a tecnologías BCI.

Métricas de éxito:

- Precisión mínima del modelo: 85 %.
- Latencia de predicción menor a 5000 ms.
- Disponibilidad del sistema: 85 % en producción.
- Cumplimiento de normativas de seguridad.

Comprensión de los datos

- Tipo de datos: señales de series temporales EEG obtenidas de dispositivos de adquisición neurofisiológica.
- Fuentes: sensores EEG comerciales como *OpenBCI*, *Emotiv* o bases de datos públicas.
- Cantidad: al menos 100,000 registros diarios procesados en *Amazon Web Services*.
- Calidad: se esperan encontrar ruidos, artefactos musculares y variabilidad intersujeto.

Preparación de los datos

Las características claves a tener en cuenta para las señales EEG son:

- Bandas de frecuencia.

- Espectrogramas de señales EEG.
- Características temporales obtenidas con algoritmos de *STFT* y *Wavelet*.

Las transformaciones que podrían ser requeridas para las señales EEG son:

- Filtrado pasa bandas.
- Normalización de señales.
- Eliminación de artefactos usando algoritmos de análisis de componentes principales.

Modelado

El problema se define como una clasificación de señales EEG para la predicción de imaginación motriz. Mientras las arquitecturas candidatas para este problema son redes neuronales como CNNs, RNNs y *Transformers*.

Evaluación del modelo

Se podría utilizar el *accuracy* para conocer la precisión de aciertos en la predicción de clases de imaginación motriz. Además el *F1-score* y la matriz de confusión para obtener el balance entre precisión y exhaustividad y los falsos positivos y falsos negativos.

Despliegue del modelo

El modelo se implementará con un sistema basado en la nube con *Amazon Web Services* Lambda para procesamiento, una API REST para enviar los datos a la nube y una fuente de almacenamiento que proporcione un costo beneficio en los datos durante el tiempo.

9. Desglose del trabajo en tareas

1. Formación técnica (140h)
 - 1.1. Estudio del estado del arte. (40h)
 - 1.2. Capacitación en señales de series de tiempo EGG. (40h)
 - 1.3. Capacitación en el uso de BCI basada en imaginación motora. (40h)
 - 1.4. Capacitación en el uso de AWS para el procesamiento y despliegue de los modelos. (20h)
2. Preparación de los datos para desarrollar el modelo (20h)
 - 2.1. Búsqueda de fuentes. (4h)
 - 2.2. Implementación de descarga de datos (4h)
 - 2.3. Preparación de los datos. (12h)
3. Búsqueda e implementación de 3 modelos de aprendizaje(124h)
 - 3.1. Estudio de bibliografía del primero modelo. (10h)
 - 3.2. Implementación del primero modelo. (40h)

- 3.3. Estudio de bibliografía del segundo modelo. (10h)
- 3.4. Implementación del segundo modelo. (20h)
- 3.5. Estudio de bibliografía del tercer modelo. (10h)
- 3.6. Implementación del tercer modelo. (20h)
- 3.7. Análisis de ventajas y desventajas de cada implementación. (10h)
- 3.8. Selección del mejor modelo basado en el análisis de cada implementación. (4h)
- 4. Implementación de la infraestructura en AWS(120h)
 - 4.1. Configuración del almacenamiento de datos. (20h)
 - 4.2. Configuración de la arquitectura escalable. (20h)
 - 4.3. Configuración del procesamiento de datos. (20h)
 - 4.4. Configuración de la seguridad en los datos. (20h)
 - 4.5. Configuración de la política de retención y eliminación de datos. (20h)
 - 4.6. Añadir los *endpoints* para comunicación de los datos. (10h)
 - 4.7. Elaboración de la documentación del código de infraestructura (10h)
- 5. Implementación de la interfaz de usuario (100h)
 - 5.1. Desarrollo de código para exportar datos. (40h)
 - 5.2. Desarrollo de código para visualizar las señales EEG. (40h)
 - 5.3. Desarrollo de código para visualizar la predicción de imaginación motora. (10h)
 - 5.4. Elaboración de la documentación del código de interfaz de usuario. (10h)
- 6. Elaboración de la documentación y presentación (56h)
 - 6.1. Escritura de las memorias del proyecto. (40h)
 - 6.2. Elaboración de la presentación final. (20)
 - 6.3. Ensayo de la presentación final. (16h)

Cantidad total de horas: 600.

10. Diagrama de Activity On Node

En la figura 2 se visualiza el diagrama de *Activity on Node* del proyecto. Se indica en color rojo el camino crítico y el tiempo de cada tarea esta en horas.

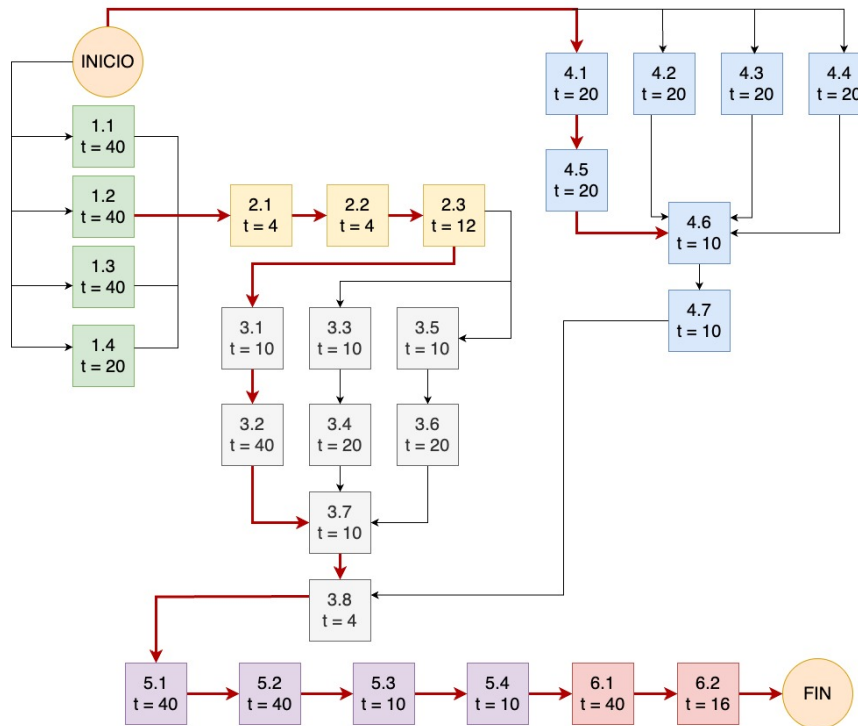


Figura 2. Diagrama de *Activity on Node*.

11. Diagrama de Gantt

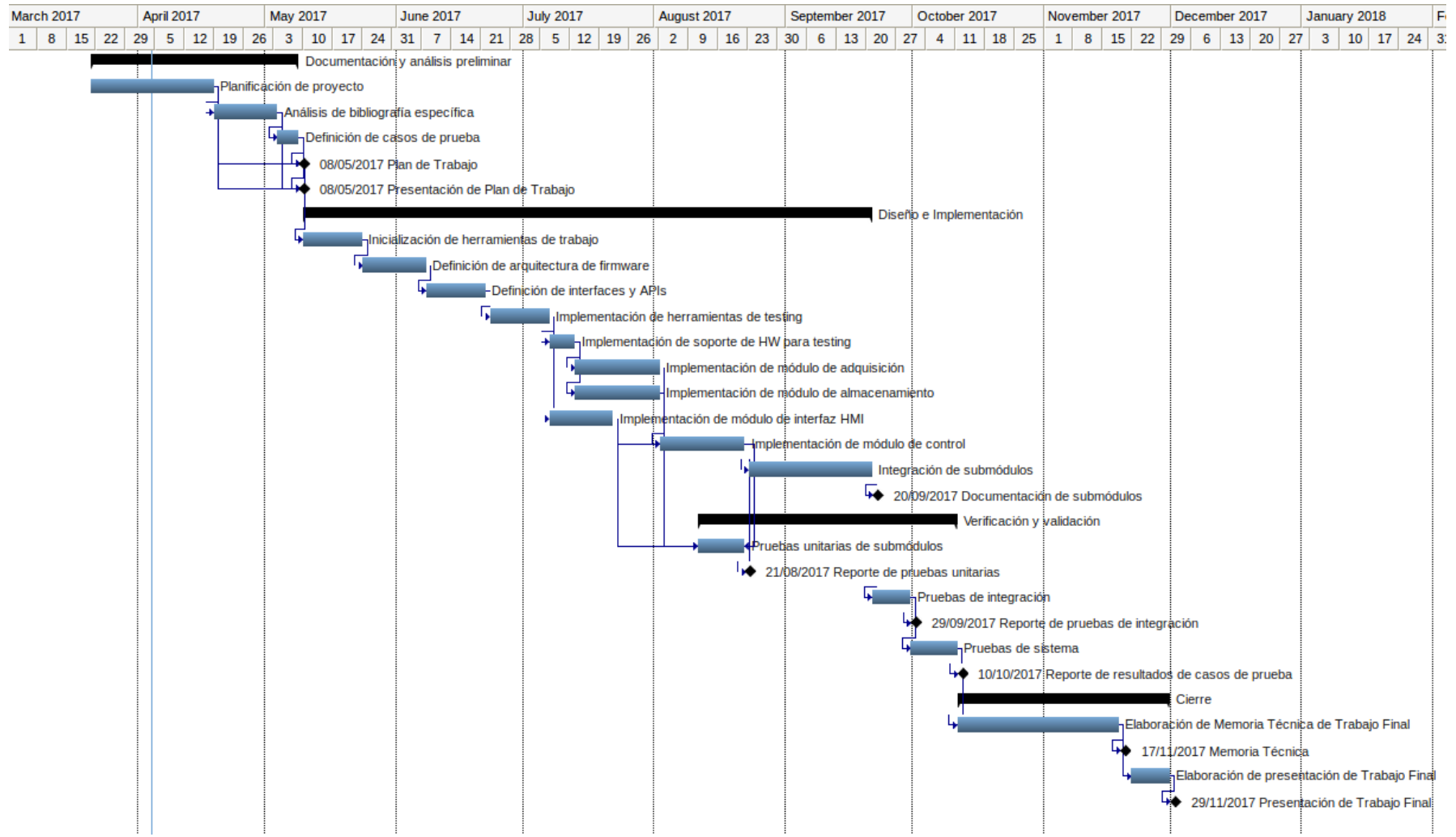


Figura 3. Diagrama de Gantt (apaisado).

12. Presupuesto detallado del proyecto

COSTOS DIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Honorarios del ingeniero	600	\$40	\$24000
Computación en la nube			\$200
Almacenamiento en la nube AWS			\$50
SUBTOTAL			\$24250
COSTOS INDIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
15 % de costos directos			\$3638
SUBTOTAL			\$3638
TOTAL			\$27888

13. Gestión de riesgos

a) Identificación de los riesgos (al menos cinco) y estimación de sus consecuencias:

Riesgo 1: detallar el riesgo (riesgo es algo que si ocurre altera los planes previstos de forma negativa)

- Severidad (S): mientras más severo, más alto es el número (usar números del 1 al 10).
Justificar el motivo por el cual se asigna determinado número de severidad (S).
- Probabilidad de ocurrencia (O): mientras más probable, más alto es el número (usar del 1 al 10).
Justificar el motivo por el cual se asigna determinado número de (O).

Riesgo 2:

- Severidad (S): X.
Justificación...
- Ocurrencia (O): Y.
Justificación...

Riesgo 3:

- Severidad (S): X.
Justificación...
- Ocurrencia (O): Y.
Justificación...

Riesgo	S	O	RPN	S*	O*	RPN*

b) Tabla de gestión de riesgos: (El RPN se calcula como $RPN=S \times O$)

Criterio adoptado:

Se tomarán medidas de mitigación en los riesgos cuyos números de RPN sean mayores a...

Nota: los valores marcados con (*) en la tabla corresponden luego de haber aplicado la mitigación.

c) Plan de mitigación de los riesgos que originalmente excedían el RPN máximo establecido:

Riesgo 1: plan de mitigación (si por el RPN fuera necesario elaborar un plan de mitigación).
Nueva asignación de S y O, con su respectiva justificación:

- Severidad (S*): mientras más severo, más alto es el número (usar números del 1 al 10). Justificar el motivo por el cual se asigna determinado número de severidad (S).
- Probabilidad de ocurrencia (O*): mientras más probable, más alto es el número (usar del 1 al 10). Justificar el motivo por el cual se asigna determinado número de (O).

Riesgo 2: plan de mitigación (si por el RPN fuera necesario elaborar un plan de mitigación).

Riesgo 3: plan de mitigación (si por el RPN fuera necesario elaborar un plan de mitigación).

14. Gestión de la calidad

Elija al menos diez requerimientos que a su criterio sean los más importantes/críticos/que aportan más valor y para cada uno de ellos indique las acciones de verificación y validación que permitan asegurar su cumplimiento.

- Req #1: copiar acá el requerimiento con su correspondiente número.
 - Verificación para confirmar si se cumplió con lo requerido antes de mostrar el sistema al cliente. Detallar.
 - Validación con el cliente para confirmar que está de acuerdo en que se cumplió con lo requerido. Detallar.

Tener en cuenta que en este contexto se pueden mencionar simulaciones, cálculos, revisión de hojas de datos, consulta con expertos, mediciones, etc.

Las acciones de verificación suelen considerar al entregable como “caja blanca”, es decir se conoce en profundidad su funcionamiento interno.

En cambio, las acciones de validación suelen considerar al entregable como “caja negra”, es decir, que no se conocen los detalles de su funcionamiento interno.

15. Procesos de cierre

Establecer las pautas de trabajo para realizar una reunión final de evaluación del proyecto, tal que contemple las siguientes actividades:

- Pautas de trabajo que se seguirán para analizar si se respetó el Plan de Proyecto original:
 - Indicar quién se ocupará de hacer esto y cuál será el procedimiento a aplicar.
- Identificación de las técnicas y procedimientos útiles e inútiles que se emplearon, los problemas que surgieron y cómo se solucionaron:
 - Indicar quién se ocupará de hacer esto y cuál será el procedimiento para dejar registro.
- Indicar quién organizará el acto de agradecimiento a todos los interesados, y en especial al equipo de trabajo y colaboradores:
 - Indicar esto y quién financiará los gastos correspondientes.