



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

Autor:

Ing. Freddy Julian Riascos Salas

Director:

Jaime Andrés Riascos Salas (pertenencia)

*Esta planificación fue realizada en el curso de Gestión de proyectos
entre el 11 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.	9
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.	13
11. Diagrama de Gantt	14
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	11 de marzo de 2025

Acta de constitución del proyecto

Buenos Aires, 11 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 \$ -, con fecha de inicio el 11 de marzo de 2025 y fecha de presentación pública el 20 de julio de 2025.

Se adjunta a esta acta la planificación inicial.

Dr. Ing. Ariel Lutenberg
Director posgrado FIUBA

Xprende
Xprendetech S.A

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, favoreciendo la aplicación de algoritmos avanzados de aprendizaje automático y mejorando 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:** Electrodo 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 (señales cardíacas, respiratorias, músculos) como también por ruidos externos.

Así mismo, la dimensión de estos datos (n -canales \times señal del tiempo) crea una problemática latente en su procesamiento eficaz de tal manera 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 Xprendey es financiado por la misma.

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, para luego enviar los datos a un sistema de preprocesamiento, una vez están óptimos se envían a la nube y posteriormente el modelo seleccionado se entrena, para finalmente predecir el movimiento imaginado en la interfaz de usuario.

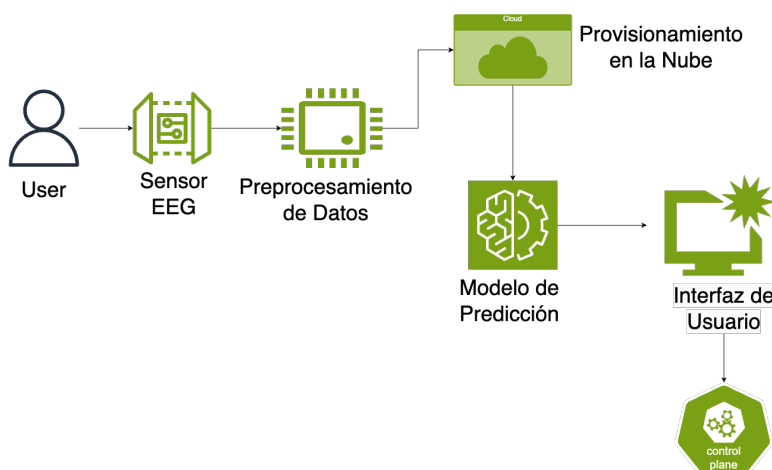


Figura 1. Diagrama del sistema BCI-CLOUD.

2. Identificación y análisis de los interesados

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

Es inusual que una misma persona esté en más de un rol, incluso en proyectos chicos. Si se considera que una persona cumple dos o más roles, entonces **solo dejarla en el rol más importante**.

Por ejemplo, si una persona es Cliente pero también colabora u orienta, dejarla solo como Cliente. Si una persona es el Responsable, **no debe ser colocado también como miembro del equipo**.

Rol	Nombre y Apellido	Organización	Puesto
Cliente	Xprende	Xprendetech S.A	-
Responsable	Ing. Freddy Julian Riascos Salas	FIUBA	Alumno
Orientador	Jaime Andrés Riascos Salas	pertenencia	Director del Trabajo Final
Usuario final	Paciente	-	-

A continuación las principales características de cada interesado.

- Orientador: Mag. Ing. Andrés Salas es experto en desarrollar interfaces cerebro-maquina y va a orientar 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, los cuales 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 performance del sistema.
- Desarrollo y entrenamiento del modelo de predicción de actividades de imaginación motriz, con comparaciones entre distintos enfoques de IA.
- Integración con una infraestructura en la nube escalable y segura en AWS.
- 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 (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 (AWS) 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.
- Adopción del sistema por parte de los usuarios: Se espera que los usuarios finales (personas con discapacidades motoras) puedan adaptarse y beneficiarse de la solución sin requerir un entrenamiento extenso.

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: 12

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

Dificultad: 5
Complejidad: 5
Incertidumbre: 4
Suma: 14 → Story Points: 14
Prioridad: 3

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

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

3. Épica 3 - Infraestructura en la Nube

- 3.1. Como ingeniero, quiero que el procesamiento de datos EEG ocurra en AWS Lambda para mejorar la escalabilidad del sistema.

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

- 3.2. 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: 10
Prioridad: 6

4. Épica 4 - Interfaz de Usuario y Seguridad

- 4.1. 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: 10
Prioridad: 7

- 4.2. 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: 12

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 debe 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 AWS 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.

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.
- AWS 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 JWT.
- La API debe responder con código 200 OK en menos de 300 ms en condiciones normales.
- La documentación de la API 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

En esta sección debe definir las 6 fases de la metodología CRISP-DM. Se pueden ayudar con las siguientes preguntas de guía:

1. Comprensión del negocio. ¿Qué objetivo se intenta cumplir? ¿Qué valor agrega la implementación de IA al problema del negocio? ¿Cuáles son las métricas de éxito que se utilizarán para medir el impacto del producto o servicio?
2. Comprensión de los datos ¿Con qué tipo de datos se trabajará? ¿Cuáles son las fuentes? ¿Qué cantidad? ¿Qué podría decir acerca de su calidad?
3. Preparación de los datos ¿Cuáles consideras que son las características clave? ¿Qué tipo de transformaciones serán necesarias aplicar?
4. Modelado ¿Qué tipo de problema se busca resolver? ¿Clasificación? ¿Predicción? ¿Qué arquitecturas podrían utilizarse?
5. Evaluación del modelo ¿Con qué métricas se evaluará el desempeño del modelo?
6. Despliegue del modelo [opcional] ¿Qué tipo de despliegue se llevará a cabo? ¿Con qué herramientas?

La fase 6 es opcional ya que es posible que aún no cuenten con los conocimientos necesarios para definirla.

9. Desglose del trabajo en tareas

El WBS debe tener relación directa o indirecta con los requerimientos. Son todas las actividades que se harán en el proyecto para dar cumplimiento a los requerimientos. Se recomienda mostrar el WBS mediante una lista indexada:

1. Grupo de tareas 1 (suma h)

1.1. Tarea 1 (tantas h)

1.2. Tarea 2 (tantas h)

1.3. Tarea 3 (tantas h)

2. Grupo de tareas 2 (suma h)

2.1. Tarea 1 (tantas h)

2.2. Tarea 2 (tantas h)

2.3. Tarea 3 (tantas h)

3. Grupo de tareas 3 (suma h)

3.1. Tarea 1 (tantas h)

3.2. Tarea 2 (tantas h)

3.3. Tarea 3 (tantas h)

3.4. Tarea 4 (tantas h)

3.5. Tarea 5 (tantas h)

Cantidad total de horas: tantas.

¡Importante!: la unidad de horas es h y va separada por espacio del número. Es incorrecto escribir “23hs”.

Se recomienda que no haya ninguna tarea que lleve más de 40 h. De ser así se recomienda dividirla en tareas de menor duración.

10. Diagrama de Activity On Node

Armar el AoN a partir del WBS definido en la etapa anterior.

Una herramienta simple para desarrollar los diagramas es el Draw.io (<https://app.diagrams.net/>). Draw.io

Indicar claramente en qué unidades están expresados los tiempos. De ser necesario indicar los caminos semi críticos y analizar sus tiempos mediante un cuadro. Es recomendable usar colores y un cuadro indicativo describiendo qué representa cada color.

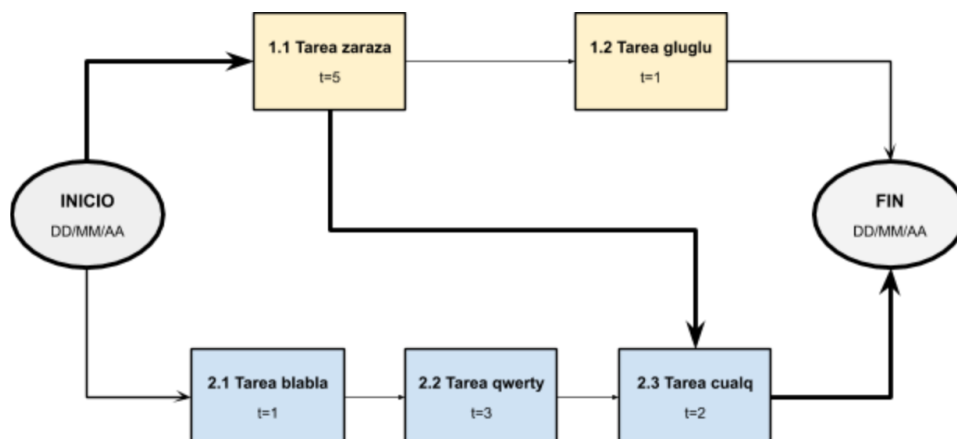


Figura 2. Diagrama de *Activity on Node*.

11. Diagrama de Gantt

Existen muchos programas y recursos *online* para hacer diagramas de Gantt, entre los cuales destacamos:

- Planner
- GanttProject
- Trello + *plugins*. En el siguiente link hay un tutorial oficial:
<https://blog.trello.com/es/diagrama-de-gantt-de-un-proyecto>
- Creately, herramienta online colaborativa.
<https://creately.com/diagram/example/ieb3p3ml/LaTeX>
- Se puede hacer en latex con el paquete *pgfgantt*
<http://ctan.dcc.uchile.cl/graphics/pgf/contrib/pgfgantt/pgfgantt.pdf>

Pegar acá una captura de pantalla del diagrama de Gantt, cuidando que la letra sea suficientemente grande como para ser legible. Si el diagrama queda demasiado ancho, se puede pegar primero la “tabla” del Gantt y luego pegar la parte del diagrama de barras del diagrama de Gantt.

Configurar el software para que en la parte de la tabla muestre los códigos del EDT (WBS).
Configurar el software para que al lado de cada barra muestre el nombre de cada tarea.
Revisar que la fecha de finalización coincida con lo indicado en el Acta Constitutiva.

En la figura 3, se muestra un ejemplo de diagrama de gantt realizado con el paquete de *pgfgantt*. En la plantilla pueden ver el código que lo genera y usarlo de base para construir el propio.

Las fechas pueden ser calculadas utilizando alguna de las herramientas antes citadas. Sin embargo, el siguiente ejemplo fue elaborado utilizando [esta hoja de cálculo](#).

Es importante destacar que el ancho del diagrama estará dado por la longitud del texto utilizado para las tareas (Ejemplo: tarea 1, tarea 2, etcétera) y el valor *x unit*. Para mejorar la apariencia del diagrama, es necesario ajustar este valor y, quizás, acortar los nombres de las tareas.

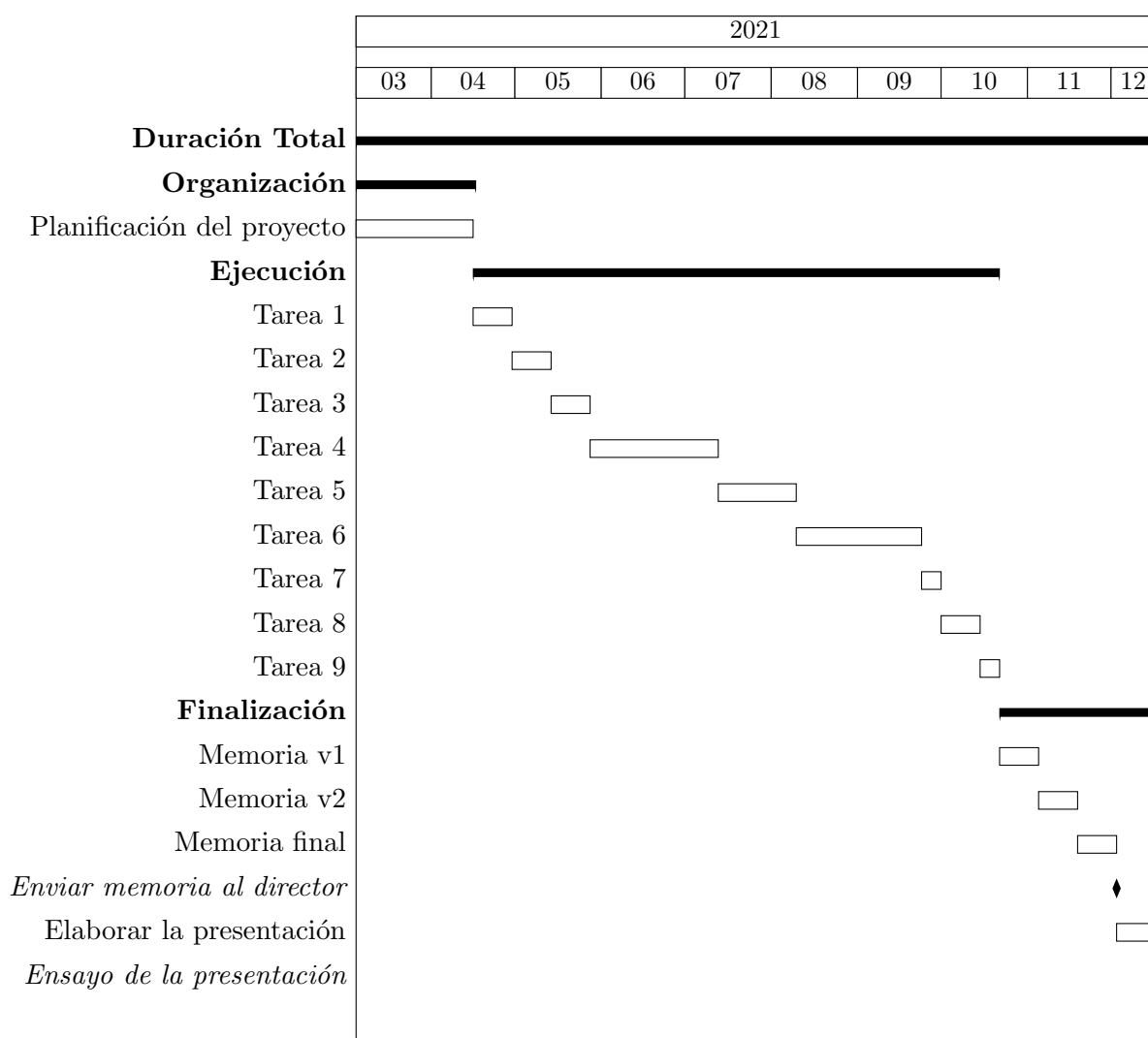


Figura 3. Diagrama de gantt de ejemplo

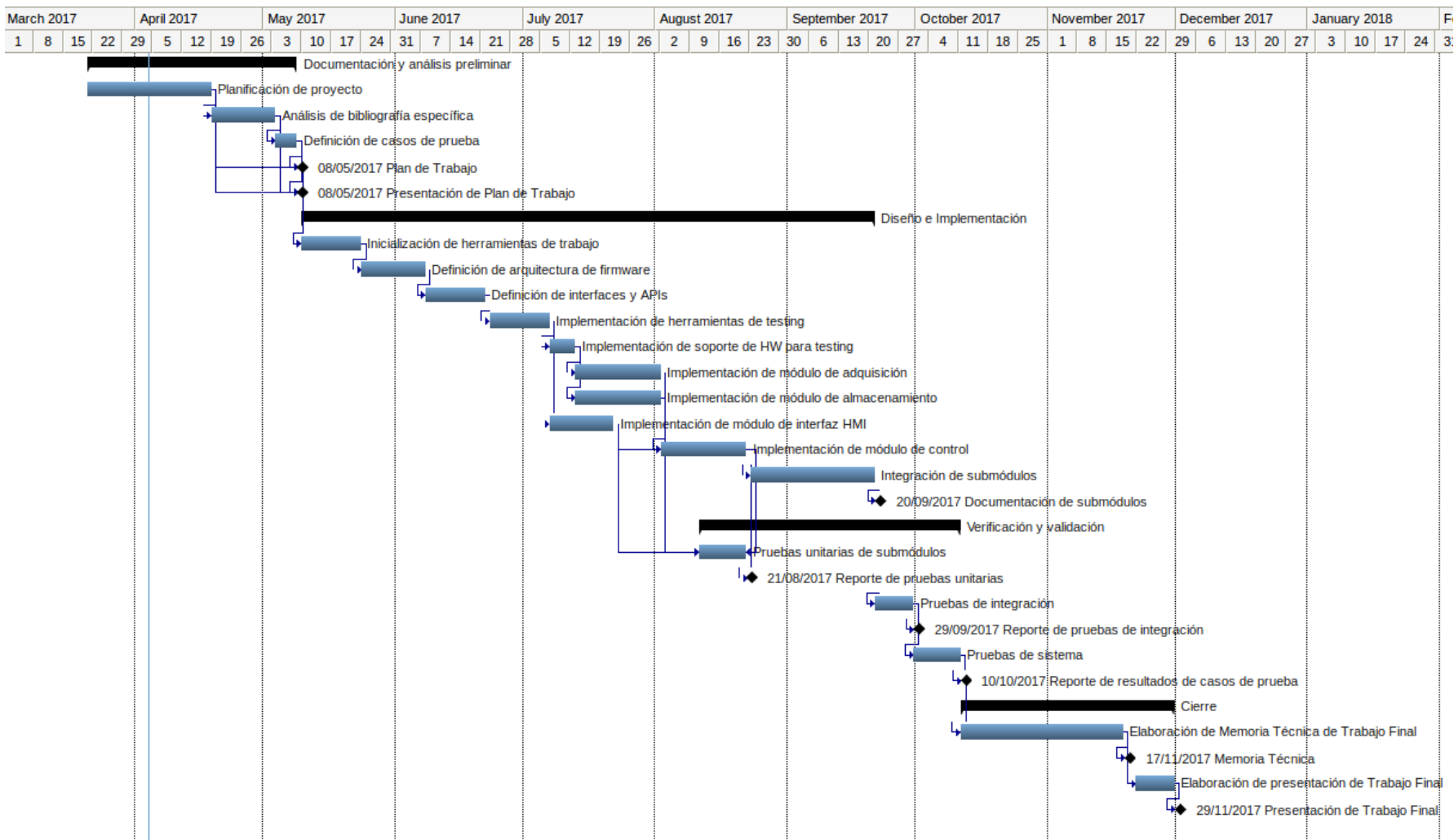


Figura 4. Ejemplo de diagrama de Gantt (apaisado).

12. Presupuesto detallado del proyecto

Si el proyecto es complejo entonces separarlo en partes:

- Un total global, indicando el subtotal acumulado por cada una de las áreas.
- El desglose detallado del subtotal de cada una de las áreas.

IMPORTANTE: No olvidarse de considerar los **COSTOS INDIRECTOS**.

Incluir la aclaración de si se emplea como moneda el peso argentino (ARS) o si se usa moneda extranjera (USD, EUR, etc). Si es en moneda extranjera se debe indicar la tasa de conversión respecto a la moneda local en una fecha dada.

COSTOS DIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
SUBTOTAL			
COSTOS INDIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
SUBTOTAL			
TOTAL			

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...

- Ocurriencia (O): Y.
Justificación...

Riesgo 3:

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

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

Riesgo	S	O	RPN	S*	O*	RPN*

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.