



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

Autor:

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. Requerimientos	9
7. Historias de usuarios (<i>Product backlog</i>).	10
8. Entregables principales del proyecto	10
9. Desglose del trabajo en tareas	10
10. Diagrama de Activity On Node.	11
11. Diagrama de Gantt	11
12. Presupuesto detallado del proyecto	15
13. Gestión de riesgos	15
14. Gestión de la calidad	16
15. Procesos de cierre	17

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 Freddy Julian Riascos Salas que su Trabajo Final de la Carrera de Especialización en Sistemas Embebidos 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 x 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.

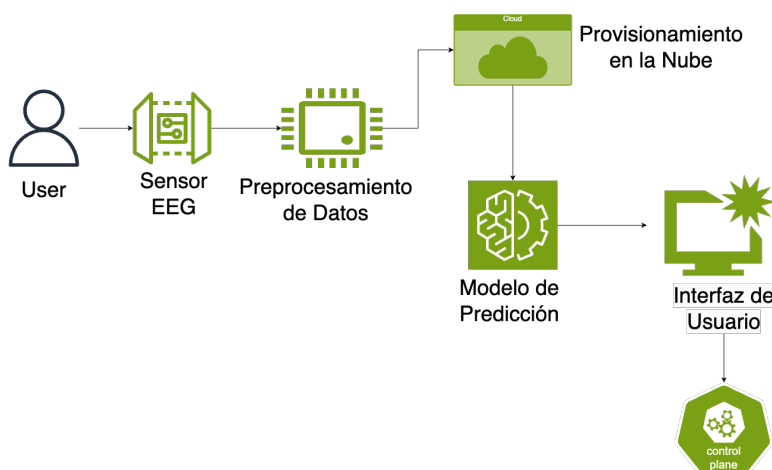


Figura 1. Diagrama del sistema BCI-CLOUD.

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	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. Requerimientos

1. Requerimientos funcionales:

- 1.1. El sistema debe permitir la adquisición de señales EEG en tiempo real.
- 1.2. El sistema debe realizar el procesamiento de datos para alimentar el modelo.
- 1.3. La infraestructura en la nube debe procesar y devolver predicciones con una latencia menor a 800ms.
- 1.4. El sistema debe tener una integración para la comunicación y envío de datos EEG a la nube.

2. Requerimientos de documentación:

- 2.1. Se debe entregar documentación técnica sobre la arquitectura del sistema, modelos utilizados y configuración en la nube.
- 2.2. Se debe incluir una memoria técnica con los resultados del entrenamiento del modelo.

3. Requerimiento de testing:

- 3.1. El modelo debe ser validado con un conjunto de datos independientes.
- 3.2. La API debe ser sometida a pruebas de carga para garantizar la estabilidad de solicitudes concurrentes.

4. Requerimientos de la interfaz:

- 4.1. La interfaz debe permitir la interpretación de las señales para mostrar la acción imaginada. (esto no se si es posible pero para añadir una web o algo grafico)
- 4.2. La interfaz debe permitir exportar los datos procesados en formatos CSV y JSON.

5. Requerimientos Regulatorios y de Seguridad:

- 5.1. Toda la comunicación de datos entre los dispositivos y la nube debe estar cifrada con TLS/SSL.

7. Historias de usuarios (*Product backlog*)

Descripción: en esta sección se deben incluir las historias de usuarios y su ponderación (*history points*). Recordar que las historias de usuarios son descripciones cortas y simples de una característica contada desde la perspectiva de la persona que desea la nueva capacidad, generalmente un usuario o cliente del sistema. La ponderación es un número entero que representa el tamaño de la historia comparada con otras historias de similar tipo.

Se debe indicar explícitamente el criterio para calcular los *story points* de cada historia.

El formato propuesto es:

1. “Como [rol] quiero [tal cosa] para [tal otra cosa].”

Story points: 8 (complejidad: 3, dificultad: 2, incertidumbre: 3)

8. Entregables principales del proyecto

Los entregables del proyecto son (ejemplo):

- Manual de usuario.
- Diagrama de circuitos esquemáticos.
- Código fuente del firmware.
- Diagrama de instalación.
- Memoria del trabajo final.
- etc...

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

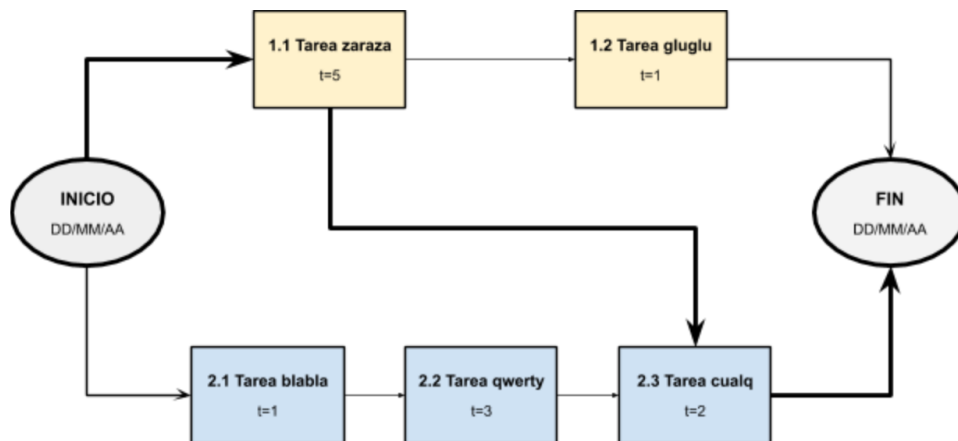


Figura 2. Diagrama de *Activity on Node*.

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.

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.

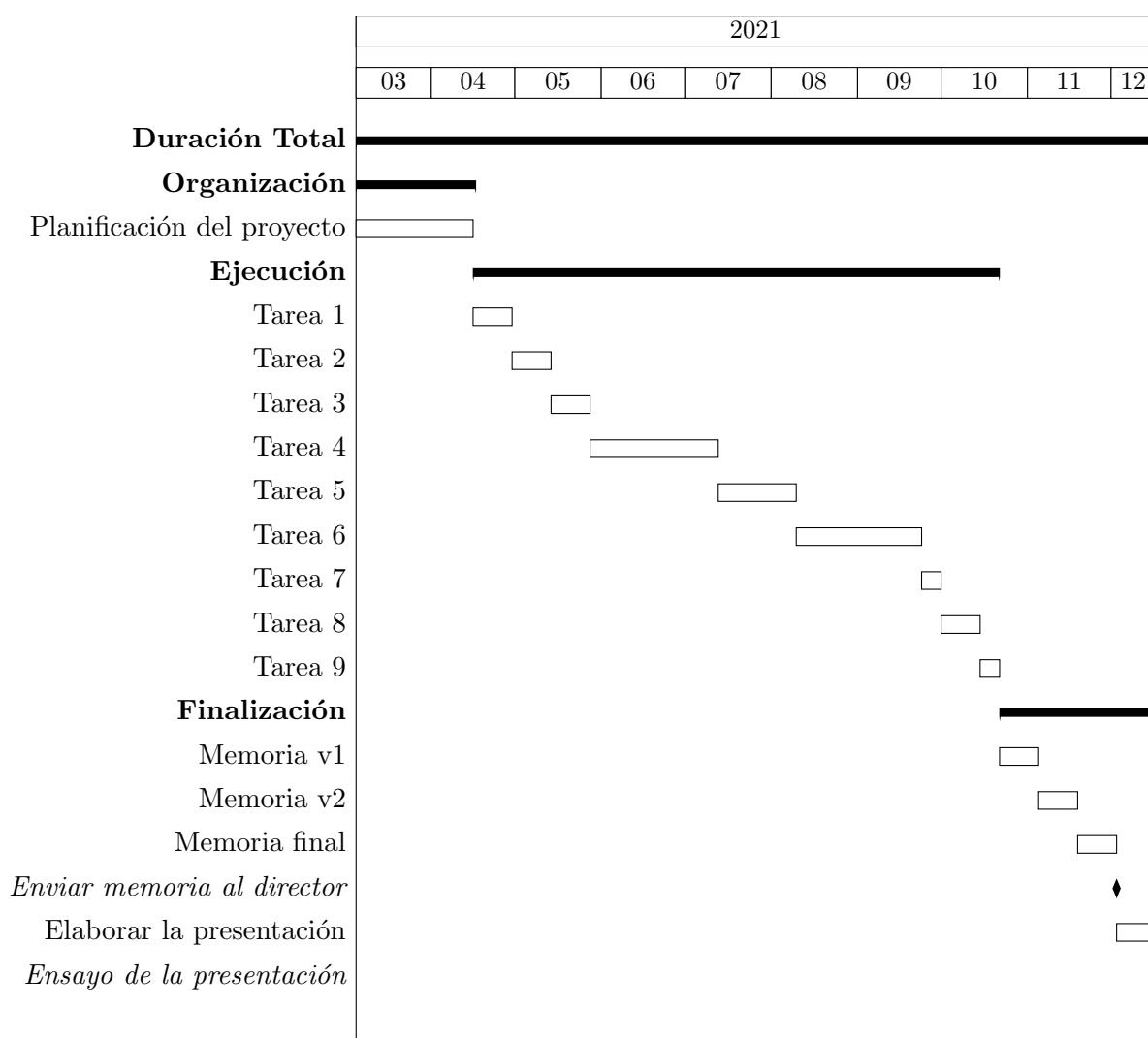


Figura 3. Diagrama de gantt de ejemplo

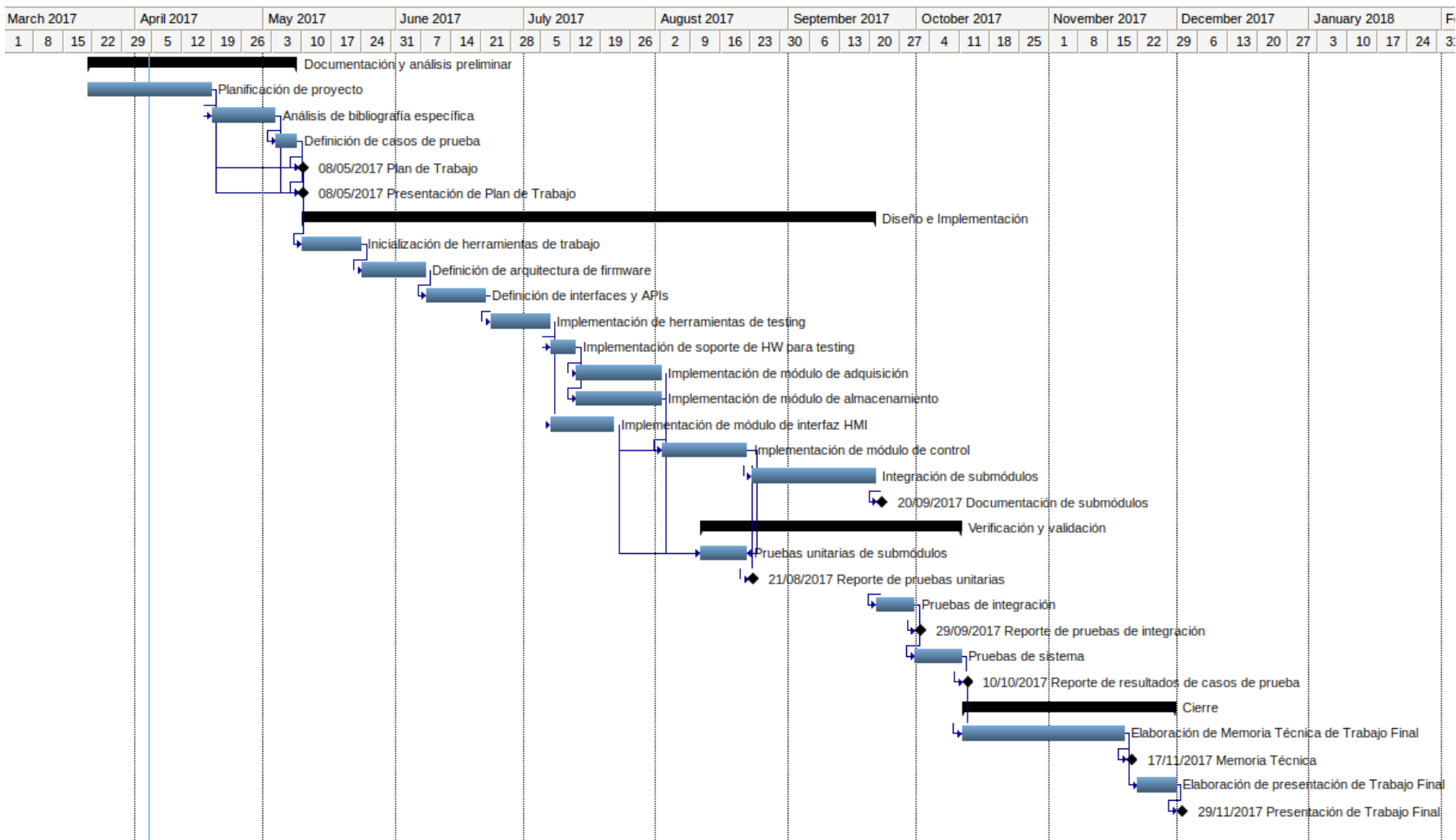


Figura 4. Ejemplo de diagrama de Gantt (apaisado).

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...

- Ocurrencia (O): Y.
Justificación...

Riesgo 3:

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