



**Universidad**  
Zaragoza

# Proyecto Fin de Carrera

Desarrollo de una herramienta para el análisis  
de datos cognitivos mediante una interfaz  
cerebro-computador

Autor

Jonatan Peris Rivas

Director

José Antonio Yagüe Fabra

Escuela de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de Zaragoza

Abril 2015



# Desarrollo de una herramienta para el análisis de datos cognitivos mediante una interfaz cerebro-computador

## RESUMEN GENERAL

Este proyecto surge a raíz de las mejoras a implantar concluidas por el proyectando tras un estudio previo similar que llevó a cabo en un entrenamiento de misión de simulación a Marte (programa Mars Simulated Missions) desarrollado en Abril de 2013 en el desierto de Los Monegros (Aragón).

El objetivo principal del proyecto es exponer una propuesta de baja inversión a llevar a cabo en los programas MSM (Mars Simulated Missions). Estos programas de misiones de simulación están siendo gestionados por un equipo, de entre los que se encuentra el proyectando, cuyo objetivo es que sean válidos como Producto Mínimo Viable (PVM) de un proyecto empresarial que están desarrollando en el momento de redacción de esta propuesta, denominado STARS (Space Tourism and Analogue Research Station; [www.joinstars.org](http://www.joinstars.org)) y cuya fase se encuentra en el proceso de validación de clientes para recoger información inicial que permita discernir si las hipótesis de negocio son válidas.

El estudio trata del desarrollo de una herramienta para la investigación cognitiva a través de una interfaz cerebro computador (BCI) de bajo coste consistente en las plataformas Arduino y Neurosky, cuyo objetivo es establecer un análisis cognitivo en diferentes áreas en tareas de tripulantes durante misiones espaciales de simulación. A través de un posterior análisis matemático, basado en control de procesos (mediante gráficos de control por variables), estudios de variabilidad, etc, podrán extraerse conclusiones de rendimientos y mejoras a establecer en los procesos de las tareas llevadas a cabo por los tripulantes.

## **Tabla de contenidos**

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	6
<b>1.1. Definición del proyecto</b> .....	6
<b>1.2. Estructura del proyecto</b> .....	8
<b>2. ANTECEDENTES</b> .....	9
<b>2.1. Propuesta para la misión MSM0</b> .....	9
<b>2.2. Resultados preliminares</b> .....	11
<b>2.3. Recursos utilizados</b> .....	14
2.3.1. Hardware .....	15
2.3.2. Software .....	17
<b>2.4. Identificación de problemas y soluciones propuestas</b> .....	17
<b>3. RECURSOS NECESARIOS Y MÉTODOS</b> .....	21
<b>3.1. Hardware</b> .....	21
3.1.1. Casco Neurosky Mindwave .....	21
3.1.2. Arduino y componentes .....	22
<b>3.2. Software EARTH</b> .....	25
<b>3.3. Test Stroop Colours and Words Test (SCWT)</b> .....	28
<b>3.4. Análisis matemáticos</b> .....	29
<b>3.5. Presupuesto</b> .....	32
<b>4. DESARROLLO</b> .....	34
<b>4.1. Conexión de la interfaz y recogida de datos EEG</b> .....	34
<b>4.2. Protocolo de uso del software EARTH</b> .....	38
<b>4.3. Protocolo de uso del Test Stroop Colours and Words Test</b> .....	39
<b>4.4. Cálculo del rendimiento cognitivo y evolución de la atención</b> .....	42
<b>4.5. Análisis de la estabilidad del proceso</b> .....	46
<b>4.6. Análisis de la capacidad del proceso</b> .....	48

4.7. Extracción de conclusiones .....	50
5. RESULTADOS.....	56
6. MODELO DE NEGOCIO DE STARS.....	68
6.1. Resumen y Business Model Canvas.....	69
6.2. Diagrama de Gantt.....	73
6.3. Estudio Económico .....	74
7. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS .....	81
8. REFERENCIAS .....	82
ANEXOS.....	84
ANEXO A. Código Arduino.....	85
ANEXO B. Albarán experimento MSM0.....	92
ANEXO C. Guía de configuración Arduino-Mindwave.....	93
ANEXO D. Electroencefalografía (EEG).....	96
ANEXO E. Presupuesto estimado MSM1.....	99

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Definición del proyecto**

La documentación presente es una propuesta del autor para llevar a cabo en misiones espaciales de simulación. Tras la misión de entrenamiento denominada “Mars Simulated Mission 0” (MSM0) [1], llevada a cabo en el desierto de Los Monegros (Aragón) en abril de 2013, el proyectando establece una serie de mejoras a implantar que permitan el mejor desarrollo del experimento, así como la obtención de resultados que extraigan conclusiones fehacientes.

El autor posee una dilatada experiencia en el sector aeroespacial ya desde sus estudios universitarios. En el año 2006 comienza su andadura en la Agencia Espacial Europea (ESA) en el equipo de análisis orbital del satélite ESEO (“European Student Earth Orbiter”) [2], proyecto en el que estaría involucrado más de cinco años. En el año 2008 es seleccionado por la ESA por el experimento “Despliegue, estabilización y propulsión de velas solares”, dentro del programa “SUCCESS Student Contest” [3], de la Agencia Espacial, entre los 21 mejores proyectos de Europa. Es autor de trabajos premiados como estudios de apantallamiento de radiación en un viaje a Marte y autor de dos libros [4], además de presidir la delegación zaragozana del “Laboratorio para Experimentación en Espacio y Microgravedad” (LEEM). Referente a su trayectoria en relación con esta propuesta, en el año 2012 es seleccionado como tripulante para el programa de misiones de simulación a Marte “Mars Simulated Missions” (MSM) con su experimento “Autorregulación cerebral para aumento de rendimiento de tareas de astronautas en el Espacio”. Este experimento, ahora denominado con título correspondiente al del proyecto de este documento, se trataba de una versión preliminar y de prueba al proyecto planteado en este Proyecto Final de Carrera.

El Proyecto Fin de Carrera presente se enmarca dentro de los estudios acerca de los factores humanos en las misiones espaciales, que pueden influir de sobremanera en los resultados del trabajo y la eficiencia. Es necesario reproducir lo más fielmente posible las condiciones ambientales y técnicas a las que los astronautas pueden ser sometidos, para evaluar y cuantificar así su impacto en las futuras misiones espaciales de larga duración. Entre los factores estresantes que se producen durante las misiones espaciales, se encuentran, entre los más relevantes para la futura exploración planetaria, la existencia limitada de recursos, limitaciones en las interacciones sociales, soporte de vida a largo plazo, así como el hecho de trabajar en áreas reducidas y aisladas. Con este experimento se pretende medir la influencia cognitiva y su relación en la respuesta cerebral de tareas de cognición, atendiendo a diferentes situaciones durante el desarrollo de la misión. De entre la comparativa de respuestas cognitivas (rendimiento) y su respuesta cerebral (niveles de atención), este proyecto se centra en la influencia sobre los tripulantes antes y después del uso del software denominado “EARTH” (Emotional Activities Related to Health). Este software,

programado para ser aplicado en misiones espaciales de simulación y probado en la misión de simulación MARS 500 [5], pretende ayudar a la tripulación a través de una serie de estrategias psicológicas validadas por la comunidad científica que han sido diseñadas para el entrenamiento de las emociones positivas y fortalezas psicológicas. EARTH ha sido facilitado por la Facultad de Psicología de la Universitat Jaume I de Castellón y la Universidad Politécnica de Valencia para desarrollar esta propuesta.

Las herramientas llevadas a cabo para el estudio de análisis cognitivo propuestas por el proyectando son, por una parte, el circuito eléctrico y su configuración para el desarrollo de la interfaz cerebro-computador que recoja las respuestas cerebrales del usuario y, por otra, los análisis matemáticos basados en control de procesos (mediante gráficos de control por variables) y estudios de variabilidad. Con estas herramientas se pretende elaborar una propuesta para que, tras un número de muestra suficientemente elevado (número de misiones y tripulantes) que hacen uso de EARTH, puedan extraerse conclusiones de rendimientos, su relación con la respuesta cerebral y posibles mejoras en los procesos de las tareas llevadas a cabo por los tripulantes. Referente a la posición que esta propuesta ocupa desde una perspectiva más general, el experimento se enmarca dentro de un proyecto empresarial que un equipo, de entre los que se encuentra el proyectando, están desarrollando en el momento de redacción de este Proyecto Fin de Carrera. Este modelo empresarial, denominado STARS (Space Tourism and Analogue Research Station) [6], se encuentra en una fase de proceso de validación de clientes para recoger información inicial que permita discernir si las hipótesis de negocio son válidas. Para obtener este aprendizaje, los programas MSM son el llamado "Producto Mínimo Viable" (PVM) de STARS, que permitirá confirmar si se ha identificado con precisión un problema que preocupa a los clientes. Con el PVM, es decir, con MSM, se pretende a nivel empresarial:

- Una táctica para recortar horas de ingeniería malgastadas.
- Una estrategia para poner el servicio en las manos de los primeros evangelistas tan pronto como sea posible.
- Producir el máximo aprendizaje de los clientes en el menor tiempo e inversión posibles.

Debido a los objetivos de los tres puntos arriba indicados, este Proyecto Fin de Carrera se propone como un experimento de bajo coste que permita cumplir las estrategias del PVM para llevar a cabo las misiones de simulación dentro de los programas MSM, con el menor coste y el mayor impacto científico posible.

## **1.2. Estructura del proyecto**

La memoria del proyecto está formada por ocho capítulos, más anexos, que expondrán el planteamiento del problema y la solución adoptada y su implementación técnica, describiendo también las herramientas utilizadas. Además se justificará el encuadre de esta propuesta dentro del proyecto empresarial STARS y su Producto Mínimo Viable, el programa de misiones de simulación MSM.

Tras este primer capítulo introductorio, a lo largo del capítulo dos, se planteará el estado actual de antecedentes que propician el presente Proyecto. Se describirán los objetivos del programa MSM, su gestión y los principios de la primera misión de entrenamiento MSM0 y cómo se detectaron las necesidades y mejoras a implantar en el experimento del proyectando que dio lugar a este Proyecto Fin de Carrera. En el capítulo tres se explicarán los recursos y métodos que se utilizan para la toma de datos y obtención de resultados del Proyecto, así como la relación que tienen cada uno de los elementos y métodos matemáticos en cuanto a su interrelación para crear un proyecto conjunto. A continuación, en el capítulo cuatro, se expondrá el proceso detallado a llevar a cabo para el desarrollo del proyecto durante una misión de simulación y la extracción de conclusiones, además de presentar la diferencia de presupuesto en este Proyecto ante su versión anterior, que justifica el concepto de experimento de bajo coste. En el capítulo cinco se presentarán los resultados de un estudio preliminar con tres usuarios que han sido sometidos a este experimento con el objetivo de plasmar un ejemplo del proceso de desarrollo y extracción de conclusiones que posteriormente tendrán que llevarse a cabo durante las próximas misiones de simulación previstas. El capítulo seis recogerá información sobre el modelo de negocio del proyecto empresarial STARS y un estudio económico de la empresa. En el capítulo siete se recoge el balance general del Proyecto, resumiendo los resultados obtenidos a lo largo del mismo, así como posibles mejoras o nuevas ideas que serían interesantes tratar en trabajos futuros.

Para concluir, el capítulo ocho recogerá las referencias utilizadas para documentar esta memoria.

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1. Propuesta para la misión MSM0

Durante la misión de simulación MSM0, dos tripulantes durante cuatro días fueron sometidos al experimento CeRPEATS (Cerebral self-Regulation for Performance Enhancement of Astronaut Tasks in Space) o “Autorregulación cerebral como aumento de rendimiento de tareas de astronautas en el Espacio”, nombre del experimento seleccionado por “The Mars Society España” [7] para esta misión y cuya versión propuesta por el proyectando se trataba de una versión anterior a la documentada en este Proyecto Fin de Carrera. CeRPEATS trataba de evaluar el rendimiento cognitivo de la tripulación en misiones de simulación a Marte, así como realizar un registro de la actividad cerebral (EEG) en estos simuladores durante la realización de dichas tareas cognitivas. Tras esto, se realizaba una comparativa de los datos de rendimiento y comportamiento cerebral ante diferentes situaciones: con autorregulación cerebral previa (basada en la relajación) o sin ésta y con la presencia de estímulos estresantes o sin éstos [8].

En el caso de MSM0, a cada tripulante se le sometió a diferentes test psicotécnicos que evaluaban áreas de cognición como el cálculo y capacidad numérica, razonamiento e inteligencia lógica, razonamiento abstracto y resistencia a la fatiga mental. Para el cálculo del rendimiento, se tomaban datos de variables tiempo y número de errores. Además, durante la realización de estos test, se realizó un registro de la actividad cerebral del tripulante, donde en el software de EEG se quedaban registrados aquellos momentos de interés de estudio: momento de realización de cada área cognitiva del test, momento de presencia de un estímulo estresante, etc.

De esta manera se disponía de datos de rendimiento y de registro cerebral para tareas realizadas tras este proceso de autorregulación y datos de tareas sin el proceso de relajación previa. Esto permitía realizar un estudio comparativo.

*Desarrollo de una herramienta para el análisis de datos cognitivos mediante una interfaz cerebro-computador*

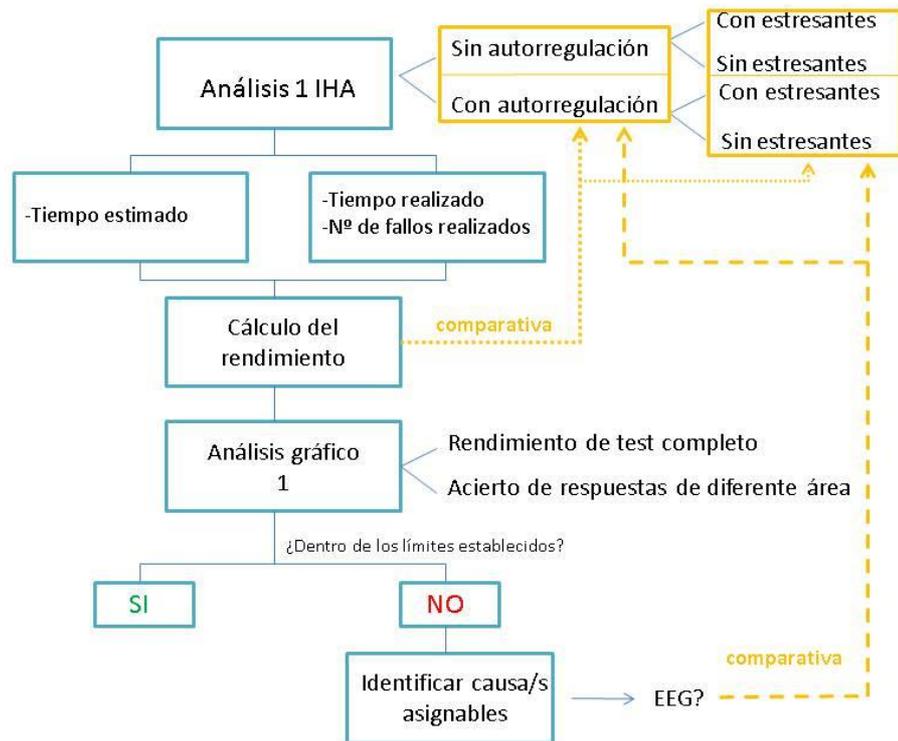


Figura 2.1. Procesado de datos durante la realización de test psicotécnicos en las IHA (actividades Intra-Habitáculo) con comparativa en diferentes situaciones (con/sin autorregulación y con/sin estímulos estresantes)

A raíz de la diferenciación principal de actividades con/sin autorregulación cerebral basada en la relajación pre-tareas, el objetivo era extraer comparativas sub-principales basadas en los resultados obtenidos de rendimiento y de actividad cerebral como podrían ser:



Figura 2.2 Tripulante con casco EEG durante MSM0 en el proceso de relajación previa (izquierda) y durante la realización del test cognitivo (derecha)

- Actividades conocidas o no previamente por el tripulante.
- Actividades programadas o que simulen un sistema de emergencia.
- Actividades con alta carga forzada de exigencia y estrés hacia el tripulante, con independencia de si dicha actividad era conocida previamente o no por el tripulante, o se tratase de una actividad o no de emergencia.

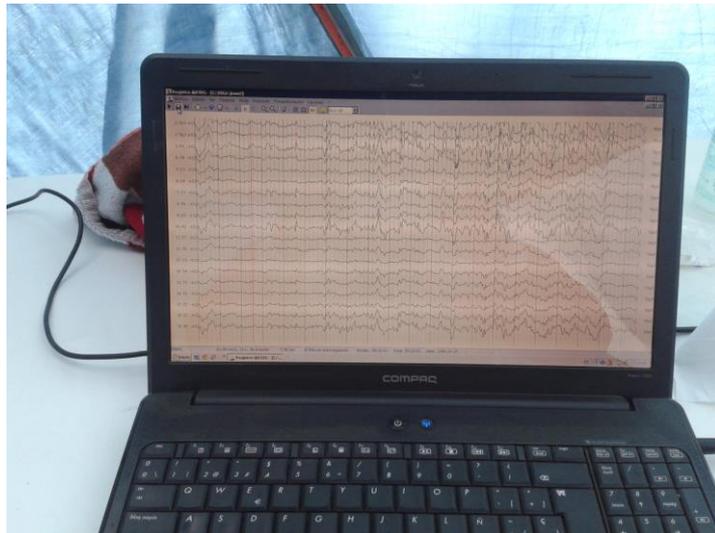


Figura 2.3. Registro de la actividad cerebral durante las pruebas realizadas en MSM0

## 2.2. Resultados preliminares

Puesto que MSM0 tuvo una duración de cuatro días y fueron dos tripulantes quienes se sometieron al experimento CeRPEATS, es evidente la necesidad de aumentar el número de registros, así como la muestra de estudio, para poder extraer conclusiones relevantes. Sin embargo, los resultados obtenidos de la misión MSM0, aunque no concluyentes, sí son trascendentales para conocer el protocolo de actuación referente a la evaluación de las variables de estudio y mejoras en hardware y software de EEG.

A continuación se expone algún ejemplo (aunque los análisis de resultados de CeRPEATS eran mucho más extensos y completos) sobre los resultados obtenidos durante la misión de la muestra de estudio “tripulante 1” y “tripulante 2”:

Las gráficas expuestas abajo reflejan los resultados del número de aciertos en diferentes áreas cognitivas del test psicotécnico con la diferenciación principal de si hubo relajación previa o no. A pesar de que el número de registros es demasiado bajo para extraer conclusiones, puede observarse cómo en todos los casos (con/sin estímulos estresantes) y para ambos tripulantes sometidos al experimento, existe una mejora en el área cognitiva referente a “resistencia a la fatiga mental” tras relajación previa.

Para los resultados de rendimiento, también se observa un aumento de éste en todos casos en los que existió una relajación previa pre-tareas.

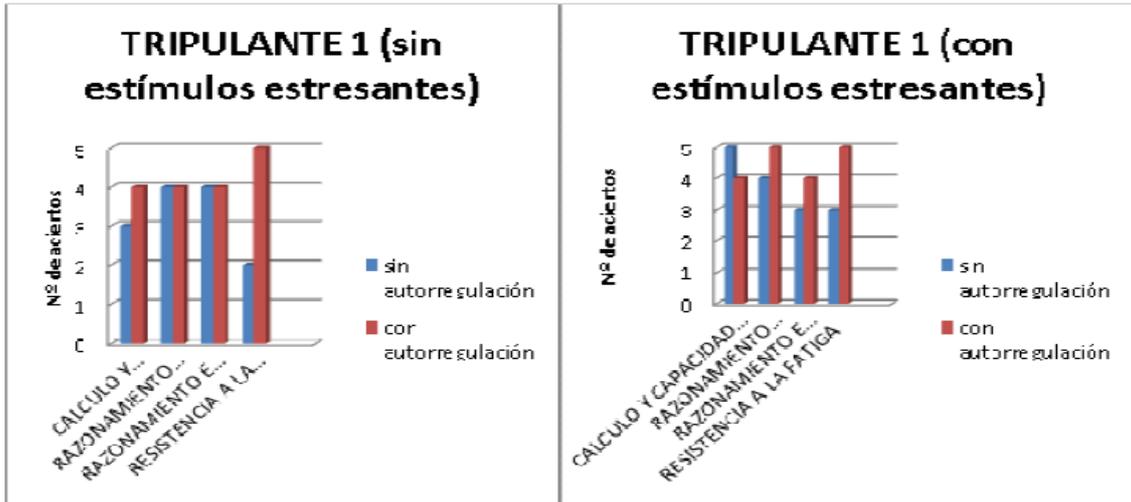


Figura 2.4. Número de aciertos en diferentes áreas cognitivas del test del tripulante 1. Izquierda: sin presencia de estímulos estresantes. Derecha: con presencia de estímulos estresantes

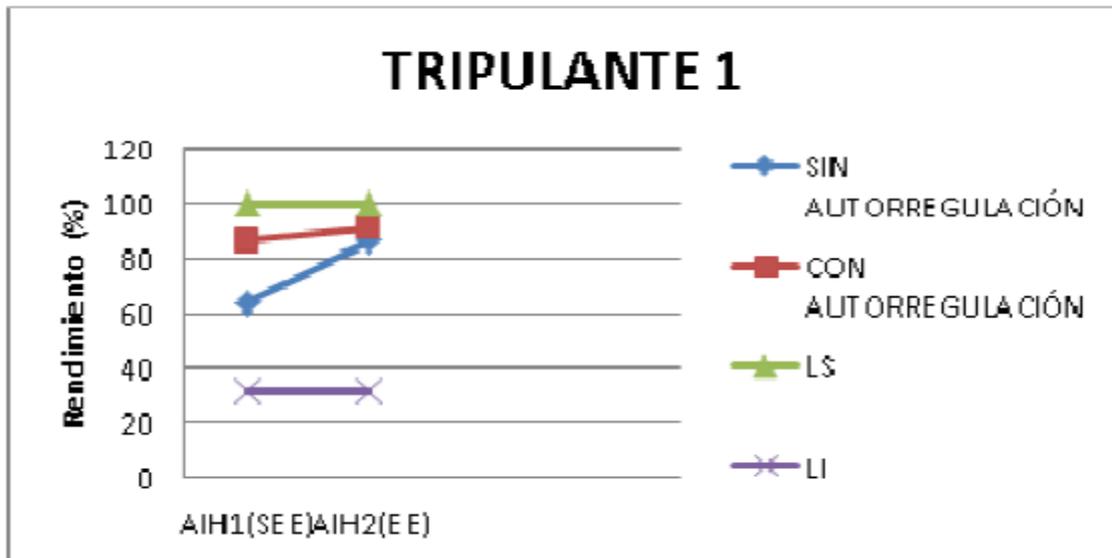


Figura 2.5. Resultados del análisis de estabilidad del rendimiento (ver capítulo 4.5) del test psicotécnico del tripulante 1. SEE=Sin Estímulos Estresantes; EE=Estímulos Estresantes; LS=Límite Superior de Control; LI=Límite Inferior de Control

Como ejemplo, se expone a continuación el resultado de registro de actividad EEG en un mapa cerebral 2D (mapa de amplitud) en el momento de realización de tareas del área de resistencia a fatiga mental sin la presencia de estímulos estresantes. De esta manera, el registro de EEG puede dar información valiosa para justificar algún resultado relevante del rendimiento o número de aciertos de cierta área cognitiva (en este caso tratar de encontrar sinergia entre la mejora en la resistencia a la fatiga con la actividad cerebral durante la realización de tareas de dicha área cognitiva).

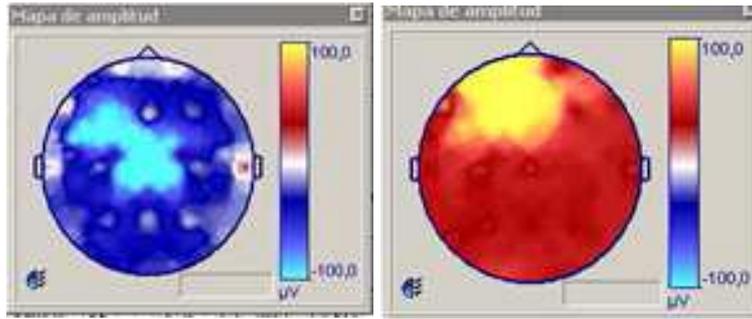


Figura 2.6. Mapa de amplitud del tripulante 1 - Resistencia a la fatiga  
*Izquierda:* sin autorregulación previa y sin estímulos estresantes.  
*Derecha:* con autorregulación previa y sin estímulos estresantes.

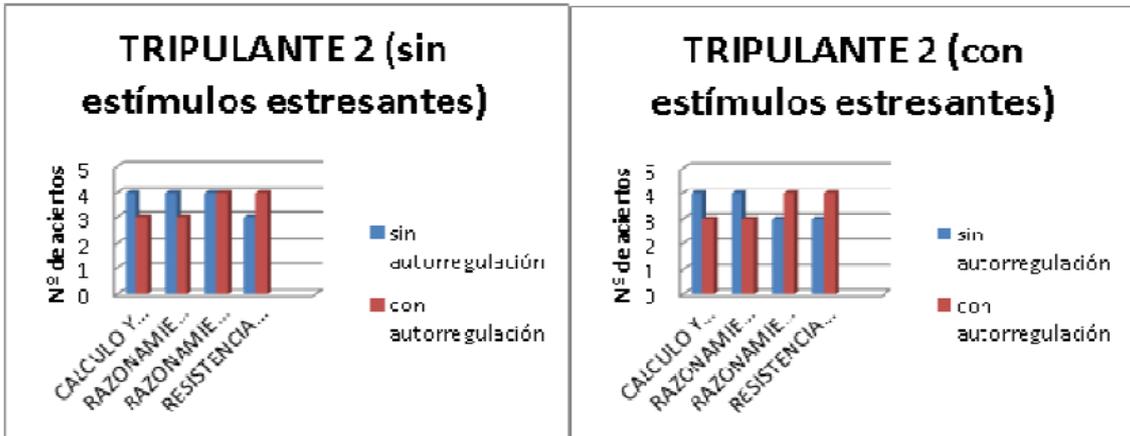


Figura 2.7. Número de aciertos en diferentes áreas cognitivas del test del tripulante 2.  
*Izquierda:* sin presencia de estímulos estresantes. *Derecha:* con presencia de estímulos estresantes.

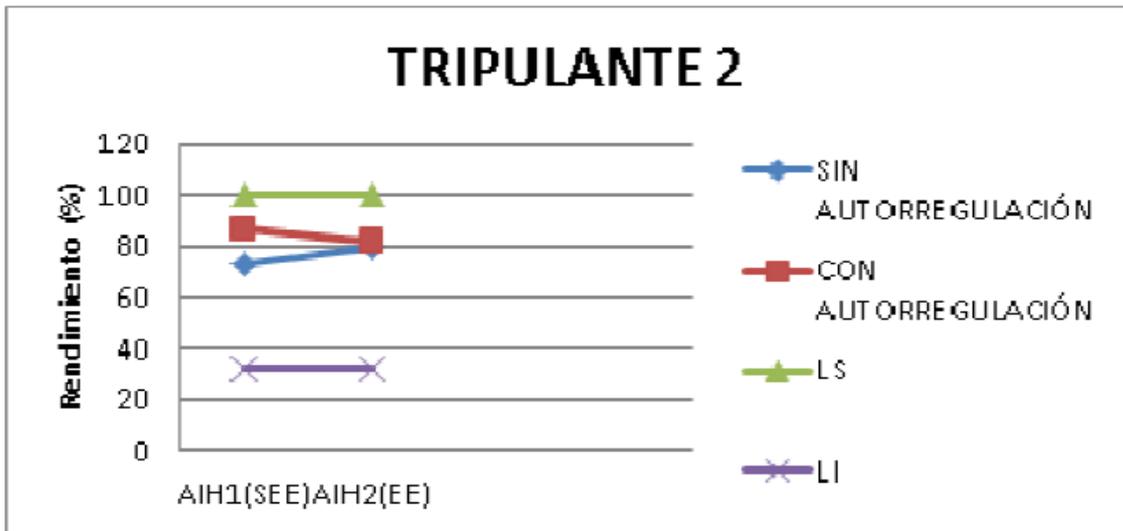


Figura 2.8. Resultados del análisis de estabilidad del rendimiento (ver capítulo 4.5) del test psicotécnico del tripulante 2. SEE=Sin Estímulos Estresantes; EE=Estímulos Estresantes; LS=Límite Superior de Control; LI=Límite Inferior de Control

## Desarrollo de una herramienta para el análisis de datos cognitivos mediante una interfaz cerebro-computador

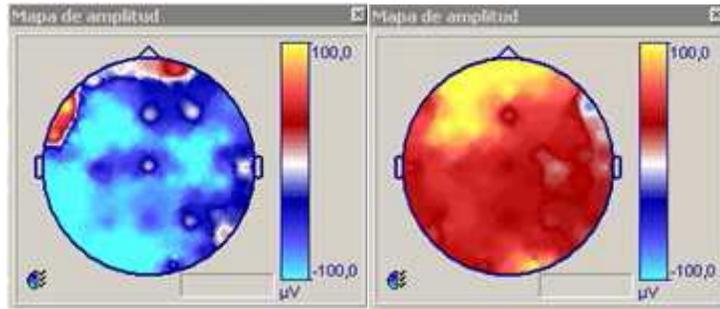


Figura 2.9. Mapa de amplitud del tripulante 2 - Resistencia a la fatiga  
*Izquierda:* sin autorregulación previa y sin estímulos estresantes.  
*Derecha:* con autorregulación previa y sin estímulos estresantes.

En los mapas de amplitud arriba expuestos, puede comprobarse cómo, para ambos tripulantes, en los casos en los que ha existido relajación previa pre-tareas (imagen de la derecha), la actividad eléctrica cerebral es mucho mayor (colores más cálidos) en el lóbulo frontal que en los casos en los que no ha habido dicha relajación (imagen de la izquierda). Este lóbulo es el encargado de funciones como la capacidad de concentración, planificación y secuenciación de acciones de forma concreta; replantear las situaciones, flexibilidad mental de acuerdo al desarrollo de los planes; la capacidad para pensar acciones alternativas y visualizar las posibilidades de éxito o la solución de problemas. Es decir, una relajación previa pre-tareas resultó en ambos sujetos una mejora en la actividad eléctrica de dicho lóbulo que se tradujo en una mejora en todos casos en el área cognitiva de resistencia a la fatiga (de nuevo destacar que para obtener conclusiones relevantes es necesario realizar mucho mayor número de registros y aumentar el número de muestras de estudio).

### 2.3. Recursos utilizados

Los recursos que a continuación se detallan, y de los que se hicieron uso para el desarrollo del experimento durante la misión MSM0, fueron cedidos por la empresa "IC Neuronic", tras la firma de un acuerdo colaborativo con la misión, que se halla instalada en el Polígono Industrial "Centrovía", de La Muela, a pocos kilómetros de Zaragoza.



Figura 2.10. El proyectando, Jonatan Peris (izquierda), tras el acuerdo de cesión de recursos para la misión MSM0 con la empresa IC Neuronic

### 2.3.1. Hardware

El hardware que se utilizó para los registros EEG durante la misión de MSM0 es un equipo denominado “Medicid Fenix”, cuya clasificación es la que se muestra en la tabla siguiente:

Trade names / <i>Nombres comerciales</i>	“MEDICID FENIX”, “NEURONIC E 7.5”
Model number / <i>Modelo</i>	NC001F
Common name / <i>Nombre común</i>	Digital Polygraph / <i>Polígrafo digital</i>
Device type / <i>Tipo de equipo</i>	Device for physiological parameters measuring / <i>Equipo para la medición de parámetros fisiológicos</i>
Device classification / <i>Clasificación del equipo</i>	Class IIa according to the Rule 10 of classification criteria, Annex IX, Directive 93/42/EEC. / <i>Clasificado como “Clase IIa” conforme a la Regla 10, Anexo IX, Directiva 93/42/EEC</i>
GMDS code / <i>Código GMDS</i>	13-085 Polygraphs / <i>Polígrafos</i>
NBOG number / <i>Número NBOG</i>	MD 1301 Monitoring devices of non vital parameters / <i>Dispositivos de monitorización de parámetros no vitales.</i>

Figura 2.11. Datos de clasificación del equipo “Medicid Fenix” para MSM0

Medicid FENIX es un equipo orientado al registro de la actividad electroencefalográfica. Es seguro, ligero, pequeño, fácil de instalar y operar, por lo que puede transportarse libremente. Acoplado al software de registro y análisis de EEG, conforma un sistema completo para el estudio de la actividad electroencefalográfica.

Sus características:

- Optimizado para el montaje 10/20.
- Listo para usar. Sus parámetros son fijos y no necesita ser configurado.
- No PRE procesamiento de las señales. Se almacenan datos “crudos” que aseguran fidelidad en la reproducción y permiten variado procesamiento posterior.
- Permite monitoreo de ECG

Especificaciones Técnicas:

19 canales monopolares (0.5-70) Hz

1 canal bipolar para ECG (5-100) Hz

Sistema A/D: 16 bits

Frecuencia de muestreo: 200 Hz (20 canales)

Voltaje alimentación: (100-240) V 50/60 Hz

Interfaz: USB

Dimensiones: (132x375x155) mm

Seguridad eléctrica: Clase II Tipo BF (Certificado según EN60601-1)

*Desarrollo de una herramienta para el análisis de datos cognitivos mediante una interfaz cerebro-computador*

El Medicid FENIX está compuesto por:

-Hardware especializado Medicid Fenix:

**Amplificador:**



**Casco + electrodos:**



**Crema conductora + gel abrasivo + jeringuilla:**



- Un ordenador portátil
- Un software de registro, edición y análisis de EEG



Figura 2.12. Material utilizado para el experimento CeRPEATS durante MSM0

### 2.3.2. Software

El software que se utilizó para realizar el registro y edición de la actividad EEG fue: “Neuronic EEG Versión 6.2”.

## 2.4. Identificación de problemas y soluciones propuestas

Tras la finalización de la misión de simulación a Marte MSM0, y puesto que esta misión consistió en un programa de entrenamiento previo para implantar mejoras en la próxima misión de simulación, probar recursos, y abordar proyectos cada vez más complejos de nuestro plan estratégico, los días de desarrollo del experimento CeRPEATS sirvieron para conocer, no sólo el protocolo de toma de datos dentro de una agenda de actividades de misión, sino también identificar problemas y puntos débiles del proyecto para subsanarlos posteriormente.

A continuación se detallan los problemas identificados y las soluciones propuestas que dieron lugar a este actual Proyecto denominado “Desarrollo de una herramienta para el análisis de datos cognitivos mediante una interfaz cerebro-computador”:

- **Problema 1:**

El equipo de EEG utilizado (equipo Medicid Fenix) requiere un proceso de preparación para la lectura de las ondas cerebrales del usuario que puede prolongarse mucho más allá de lo estipulado en la agenda de actividades programada para la misión. Esta preparación requiere de los siguientes pasos:

1. Lavado previo y aplicación de gel abrasivo en el cuero cabelludo del tripulante en aquellas zonas donde van a ir posicionados los electrodos en el casco.
2. Colocación del casco e inserción de los conectores de cada electrodo en el amplificador.
3. Insertar la crema conductora en cada electrodo del casco a través de la jeringuilla de aplicación.
4. Revisar la calibración e impedancia en el software de EEG.
5. Comenzar el registro EEG.

Estos pasos exigen una estimación de tiempo de preparación de entre 30 y 45 minutos por usuario.

- **Solución 1:**

Hacer uso de un casco de electrodos secos. En estos casos, los pasos previos explicados en el párrafo superior no son necesarios, ya que la lectura de actividad cerebral se hace de manera casi inmediata.

- **Problema 2:**

Dependencia del equipo gestor de las misiones y del proyectando a unos materiales y software cedidos por una empresa externa. Esto requiere aprobar acuerdos de confidencialidad y que la cesión del material tan sólo sea de manera temporal durante el uso de las misiones.

- **Solución 2:**

Poseer mi propio casco EEG de electrodos secos y configurar el software interfaz cerebro-computador que permita la lectura de las ondas cerebrales. Esta solución requiere de la adquisición de un equipo de bajo coste.

- **Problema 3:**

El equipo de EEG utilizado para MSM0 realizaba un registro en frecuencia de la actividad cerebral de los 19 canales de electrodos que componían el casco, además de un “mapa de amplitud” en el que se registraban las actividades cerebrales en voltaje en un mapa 2D.

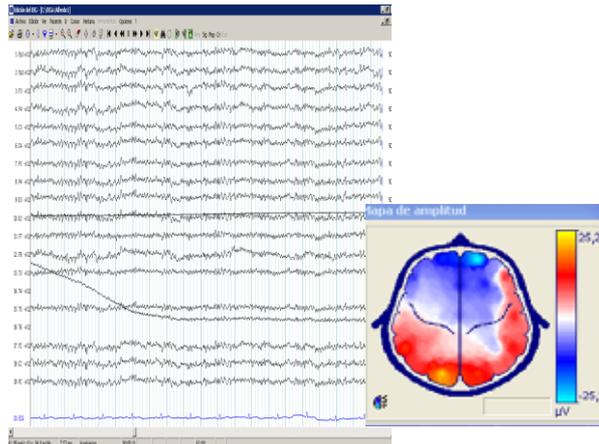


Figura 2.13. Ejemplo de registro de EEG en ondas cerebrales + mapa de amplitud 2D

Debido a que el registro cerebral se realiza cada 5 milisegundos y que el objetivo es comparar comportamientos del cerebro en diferentes situaciones (cuyo tiempo de realización de registro puede ser extenso), se realizó dicha comparativa sólo en aquellas ocasiones en las que se produjo un evento significativo para los objetivos de CerPEATS y que se registraron en el software. Para poder acceder a los resultados de respuesta cerebral en algún evento significativo durante la realización del test cognitivo (como la presencia de un estímulo estresante), el proyectando debía registrar una llamada “marca” que debía de realizarse de modo manual y que quedaba registrada en el software de EEG.

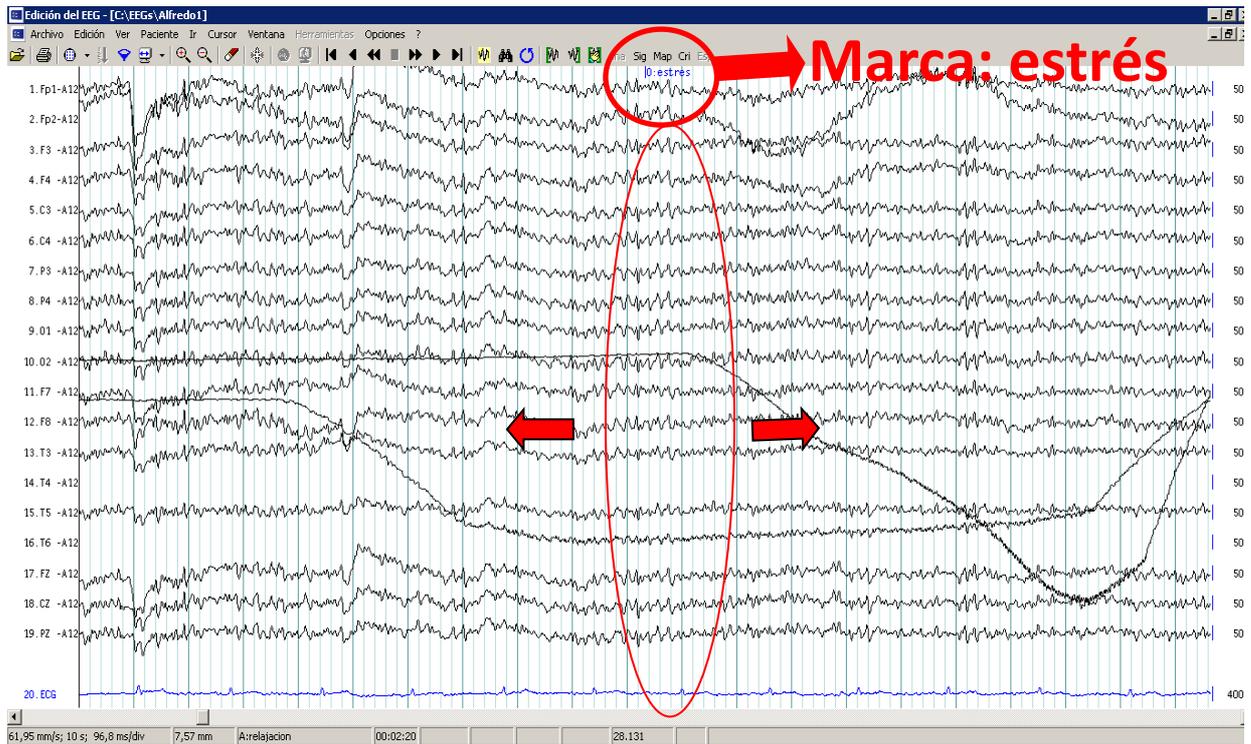


Figura 2.14. Ejemplo de visualización de ondas cerebrales en el momento de una marca, así como en sus instantes inmediatamente anteriores y posteriores en tiempo.

Sin embargo, y debido a que este registro cerebral se realizaba por el software cada 5 milisegundos, resultaba bastante complicado hacer coincidir el registro manual de la marca con la presencia del evento significativo a medir, como la existencia de un

*Desarrollo de una herramienta para el análisis de datos cognitivos mediante una interfaz cerebro-computador*

estímulo visual o auditivo para el tripulante. Esto adquiriría el riesgo de que el análisis de la presencia de cambio de frecuencia en alguna zona del cerebro resultase erróneo o que su medición fuese incapaz de justificar el comportamiento cerebral y su sinergia con el resultado de rendimiento del tripulante.

- **Solución 3:**

Configurar un registro de actividad cerebral EEG (interfaz cerebro-computador propio) desde donde pueda accederse a valores numéricos de las ondas cerebrales para el posterior análisis matemático (expuesto en el capítulo 4 de esta memoria).

- **Problema 4:**

El objetivo inicial del proyecto propuesto para MSM0 era realizar comparativas de rendimiento y respuesta cerebral ante diferentes situaciones: relajación previa o no y con presencia de estímulos estresantes o no. Sin embargo, y tras varias reuniones con psicólogos de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV) que desarrollaron el entorno virtual “EARTH” para la misión MARS 500, se advirtió que las respuestas a estados de relajación y presencia de estrés pueden variar para cada individuo, resultando que quizá un tripulante sí que se haya estresado con una presencia de un estímulo estresor, pero quizá para otro tripulante su capacidad de estrés no varíe. Esto no permitía extraer conclusiones relevantes del proyecto “CeRPEATS”. La resultante necesaria parecía estar en el sentido inverso a la propuesta inicial: no medir respuestas ante estímulos forzados presentados a los usuarios, sino estudiar las situaciones que ejercen (o no) cierta influencia en las respuestas cerebrales y de rendimiento que puedan justificarse y probarse como procesos de relajación o estrés.

- **Solución 4:**

Realizar un análisis de la influencia que ejerce el software “EARTH of Wellbeing” en los tripulantes de una misión de simulación en cuanto a la comparativa de respuesta de actividad cerebral y rendimiento cognitivo ante su uso o no. Con esta comparativa, se podrán extraer conclusiones de si EARTH ofrece o no mejoras en el rendimiento cognitivo y en la capacidad de atención.

### 3. RECURSOS NECESARIOS Y MÉTODOS

Tras la identificación de problemas durante el uso del experimento en su versión anterior a la propuesta en esta memoria y las soluciones adoptadas indicadas en el capítulo 2.4, se exponen a continuación los recursos y métodos necesarios para el desarrollo de este Proyecto Fin de Carrera que cumplan dichas soluciones.

#### 3.1. Hardware

##### 3.1.1. Casco Neurosky Mindwave

Es un casco de encefalografía [9] que tras años de estudios científicos y aplicación en ámbitos clínicos, llega por primera vez al mercado de consumo masivo. Se trata de un instrumento de observación cuya función es medir la frecuencia de nuestras ondas cerebrales para monitorizarla y mostrarla en la pantalla de nuestro ordenador. En pocos segundos es capaz de medir nuestros niveles de Atención, Relajación y Meditación. No capta pensamientos concretos. No genera ningún tipo de corriente o interferencia con la actividad cerebral ni la condiciona.



Figura 3.1. Casco Neurosky Mindwave

La medición del casco se realiza mediante un innovador sensor seco que capta y digitaliza las frecuencias de las ondas cerebrales. El sensor se coloca en la frente, concretamente, en la zona que los neurocientíficos denominan FP1. Una pequeña pinza colocada en el lóbulo de la oreja sirve como referencia eléctrica neutra para medir con más precisión. El casco se comunica con el ordenador mediante un adaptador inalámbrico USB de forma que los resultados se puedan ver en pantalla. De esta manera es posible obtener una medida inmediata que nos permite medir nuestros niveles de Atención, Relajación y Meditación.

La medición de ondas cerebrales de un usuario a través de cascos de electroencefalografía (EEG) se realiza a través de la interpolación de datos entre los distintos electrodos que la componen. Es decir, que a mayor número de canales o electrodos de los que disponga el casco (en el caso de electrodos superficiales), mayor es el área del cerebro analizado y mayor la precisión de los datos. La información obtenida a través de la electroencefalografía es de gran utilidad en la práctica clínica, de ahí la necesidad de conocer detalladamente cuando esta información es normal o anormal.

**Nota importante:** El casco utilizado para este Proyecto Fin de Carrera (Neurosky Mindwave) posee tan sólo dos electrodos: el correspondiente a la zona FP1 y el electrodo de referencia que se coloca en el lóbulo de la oreja. Por ello, cabe destacar y es preciso explicar que este casco NO es lo suficientemente preciso para llevar a cabo análisis clínicos de desórdenes de la actividad cerebral en pacientes, como puede ser la detección de epilepsia, trastornos del sueño, enfermedades degenerativas del sistema nervioso central, demencia, etc. Sin embargo, no es el propósito de este Proyecto, motivo por el cual Mindwave SÍ es útil para la extracción de datos de atención y meditación que, aunque son medidas sin una gran precisión y la zona del cerebro a estudio es menor, a lo largo de esta propuesta se realizan comparativas de datos. Al ser el objetivo la realización de comparativas, los resultados de mejora (o no) de la capacidad de atención deben de apreciarse igualmente ante un número de muestra suficientemente elevado, independientemente de la precisión del aparato. A pesar de todo ello, y como se explicará en el capítulo 4.6, se realizará un análisis matemático denominado “capacidad del proceso”, cuyos resultados nos dará información sobre si el sistema en su conjunto es o no robusto. Es decir, que podría darse el caso de encontrarse ante un sistema no robusto y se identificase que la causa proviniese del hecho de que Neurosky Mindwave proporcionase variaciones en los errores de datos recogidos. Dicho de otro modo, que estos errores (motivo de su no alta precisión) no fuesen siempre regulares dentro de un rango, lo que no afectaría a los resultados de datos comparativos, sino que el rango de errores durante las diferentes extracciones de datos fuese diferente.

### 3.1.2. Arduino y componentes

Arduino es una plataforma de electrónica abierta para la creación de prototipos basada en software y hardware flexibles y fáciles de usar. Su lenguaje de programación está basado en el lenguaje C++ y su descarga es completamente gratuita. Su principal componente es el microcontrolador ATmega328 y una de sus mayores ventajas es que este software es libre, de forma que la creación de prototipos rápidos y

baratos, fáciles de mantener, es más sencilla que con el uso de plataformas cerradas.

Arduino dispone de diferentes placas dependiendo de la necesidad que tenga el proyecto. Para este Proyecto Fin de Carrera se ha hecho uso de la placa Arduino Uno, que es una placa que contiene 14 pines de entradas/salidas digitales (de las cuales 6 se pueden utilizar como salidas PWM), 6 pines de entradas analógicas, un botón de reset, una conexión para USB, una conexión para alimentar el arduino de forma externa, todo ello basado en el microcontrolador ATmega328.



Figura 3.2. Placa Arduino Uno

Debido a que el casco Neurosky Mindwave posee una interfaz para poder trabajar con la plataforma Arduino, la placa Arduino Uno y todos sus componentes serán los encargados de recibir los datos EEG del casco para, mediante el código de programación adecuado (ver Anexo A), transmitirlos al ordenador. Es decir, Arduino será el intermediario entre el casco Mindwave y el ordenador desde donde se extraerán todos los datos transmitidos.

La transmisión de datos cerebrales desde Mindwave hasta Arduino se hace a través de ondas de Radio Frecuencia (receptor RF USB dongle).

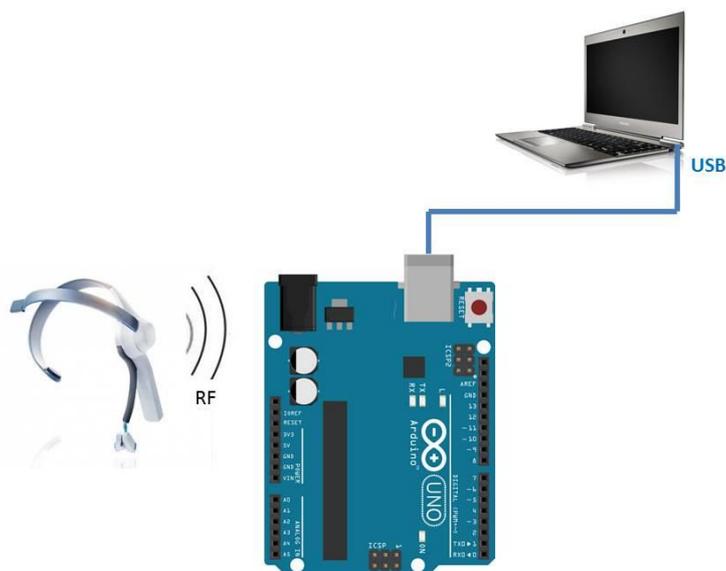


Figura 3.3. Esquema general de conexión entre las partes principales del Proyecto

*Desarrollo de una herramienta para el análisis de datos cognitivos mediante una interfaz cerebro-computador*

Los componentes utilizados para la configuración del circuito electrónico son los siguientes:

- MindWave
- Arduino Uno
- RF USB dongle
- LED rojos y verdes
- Resistencias 470Ω
- Breadboard
- SparkFun BOB-08745 Convertidor de Nivel
- 12V Fuente de energía (incluido con Arduino Board)

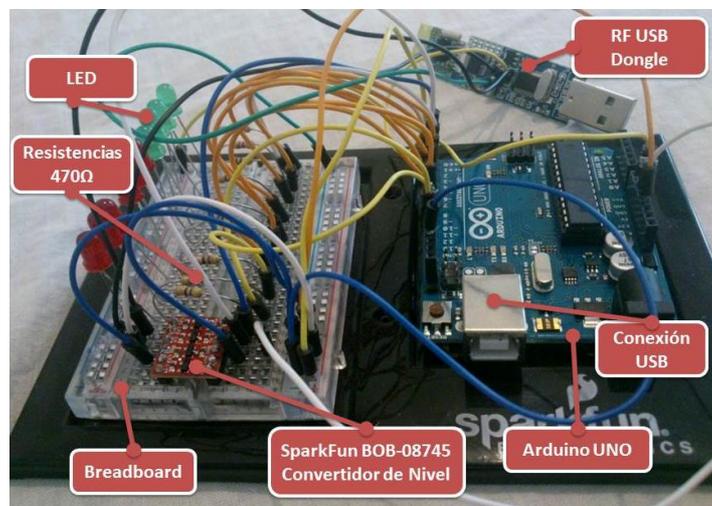


Figura 3.4. Fotografía del circuito utilizado para este Proyecto Fin de Carrera y sus componentes

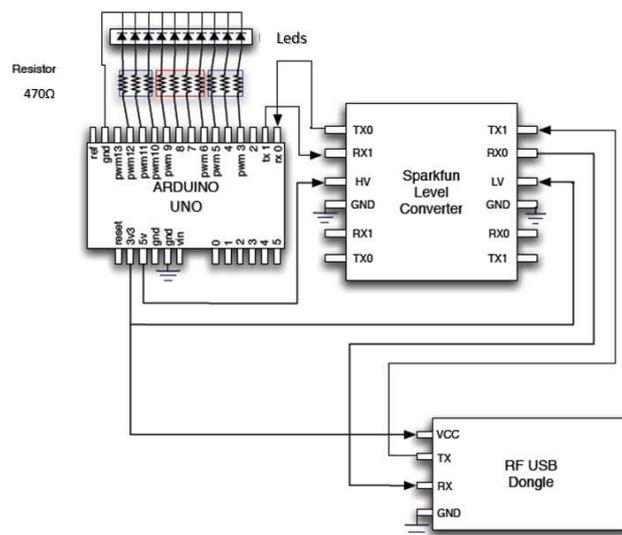


Figura 3.5. Esquema de conexiones del circuito utilizado para este Proyecto Fin de Carrera

A pesar de no ser necesarios como componentes del circuito para la recogida de datos EEG, se utilizan varios LEDs que se iluminarán dependiendo del porcentaje de atención en el que se encuentra el usuario (mayor atención, más LEDs iluminados. Cada LED representa un 10% de nivel de atención, siendo el rango de medida desde 0% a 100%).

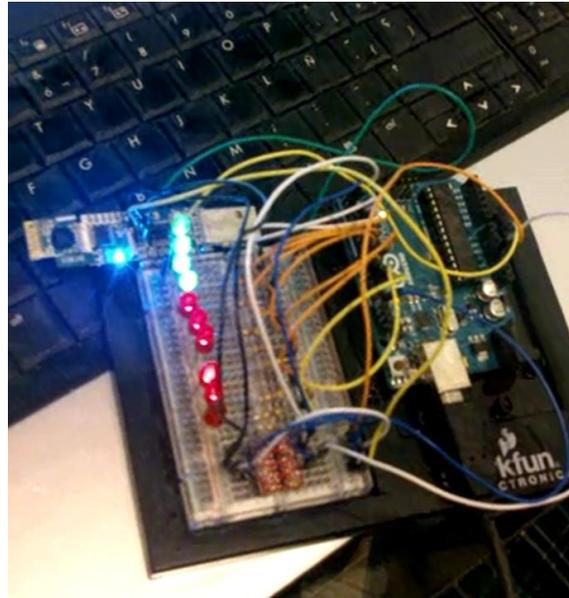


Figura 3.6. Fotografía del proyectando en proceso de prueba de iluminación de LEDs acorde a su nivel de atención

### 3.2. Software EARTH

EARTH of Wellbeing o “Tierra del Bienestar”, es el software central utilizado en este Proyecto para analizar la influencia que ejerce en una tripulación durante una misión espacial de simulación donde se dan situaciones de confinamiento y aislamiento y alto estrés. Este software fue el único experimento de origen español que fue seleccionado para llevarse a cabo durante la misión MARS 500, programa que duró un total de 501 días que simulaba un viaje espacial tripulado a Marte (misión de sobrevuelo donde el objetivo no es el aterrizaje y estancia en la superficie marciana, sino orbitar el Planeta Rojo para aprovechar su impulso gravitacional para el viaje de vuelta a la Tierra).

El objetivo inicial del estudio para esta misión de 501 días era analizar el estado de ánimo de los astronautas a través de cuestionarios y del uso de tres módulos virtuales de los que estaba compuesto este software, realizando comparativas ante el uso o no de EARTH. Los resultados [10] eran analizados a través de escalas como “tiempo y número de veces que cada módulo ha sido utilizado”, “escala de estado de ánimo”, “cuestionarios de salud del paciente”, “escala de intensidad de ansiedad y disfunción”, “escala de emociones”, etc.

## *Desarrollo de una herramienta para el análisis de datos cognitivos mediante una interfaz cerebro-computador*

Con el proyecto presentado en esta memoria, se pretende completar dicho estudio (ver capítulo 4) para realizar un análisis de la influencia de EARTH no sólo en las emociones, sino en su posible mejora en el rendimiento cognitivo y en la capacidad de atención (medido este último a través de ondas cerebrales). Los usuarios sometidos a este programa, tienen la opción de utilizar las siguientes partes de las que consta el software:

- EARTH Evaluation: La finalidad es recolectar información a través de cuestionarios a lo largo de la duración de la misión. Esta información es clasificada en la aplicación como análisis semanal o mensual. Para el caso de este Proyecto, que pretende probarse en las misiones MSM, cuya duración por misión se prevé de dos semanas, se hará uso sólo de la aplicación semanal (ver capítulo 4.2).

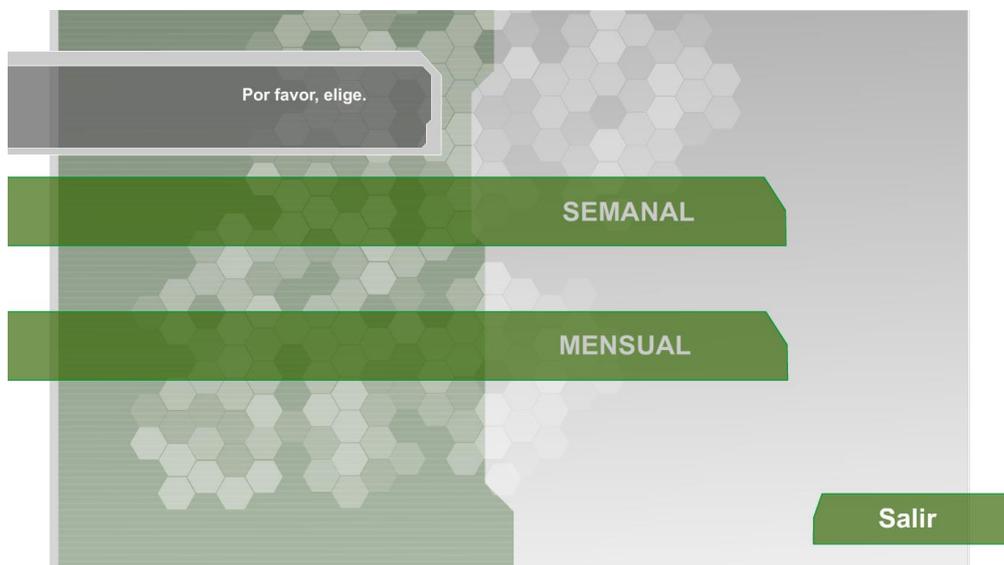


Figura 3.7. EARTH Evaluation en el momento de elegir aplicación semanal o mensual

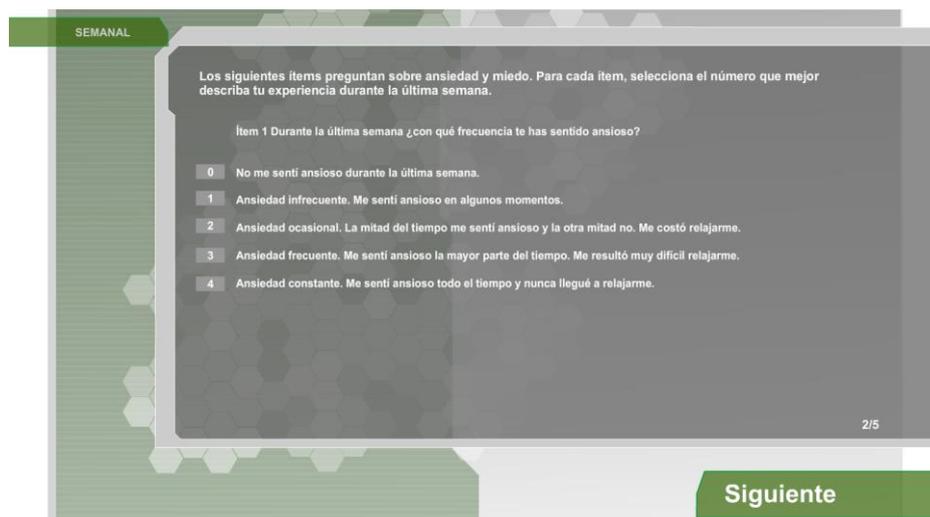


Figura 3.8. Cuestionario de la aplicación semanal EARTH Evaluation

- EARTH of Wellbeing: La finalidad es proporcionar una serie de herramientas para enfrentarse al estrés psicológico que los tripulantes pueden experimentar a lo largo de la misión. Contiene tres módulos de actividad y realiza un cuestionario al tripulante acerca de sus emociones antes y después del uso de los módulos:
  - *El Parque del Bienestar*: Este parque ofrece la oportunidad de aprender y experimentar emociones positivas. Contiene dos entornos virtuales, uno para sentir alegría y otro para sentir calma y relajación. En ellos, el tripulante podrá escuchar y ver muchas cosas agradables y pensar sobre ellos mismos y sus sentimientos, pudiendo caminar por cada uno de estos parques, con el objetivo de que escuchen sus instrucciones y participen en los ejercicios que los parques ofrecen. El parque induce a sentir emociones positivas.



Figura 3.9. Entorno virtual de El Parque del Bienestar

- *Bienestar en la naturaleza*: Este sistema se compone de dos entornos virtuales, dos paisajes naturales, uno para sentir alegría y otro para sentir calma y relajación. En ellos, el tripulante podrá escuchar sonidos y música agradable, además de visualizar árboles, prados y otros preciosos rincones de la naturaleza.



Figura 3.10. Entorno virtual del Bienestar en la Naturaleza

## *Desarrollo de una herramienta para el análisis de datos cognitivos mediante una interfaz cerebro-computador*

- *El libro de la Vida*: Es un diario personal que el tripulante puede crear plasmando sus vivencias, sus emociones, sus pensamientos y sus planes para el futuro. Para ello, puede escribir como en cualquier otro diario; pero este libro es bastante original ya que también puede utilizar distintos medios audiovisuales como imágenes, música y sonidos, frases o videos. Está preparado para que pueda reflejar partes importantes del usuario y que pueda dar a cada página su propio sello. El tripulante podrá plasmar momentos importantes de su vida pasada, presente y futura. Además, siempre que quiera podrá volver a su libro y disfrutar de esos recuerdos de vida que haya creado.



Figura 3.11. Entorno virtual de El Libro de la Vida

### **3.3. Test Stroop Colours and Words Test (SCWT)**

En 1886, J.M. Cattell comprueba que el tiempo que se tarda en leer palabras es mucho menor que el necesario para reconocer simples colores. Diversas investigaciones sobre este fenómeno condujeron a lo que posteriormente se ha denominado efecto Stroop (Stroop, 1935) y a la creación de una de las pruebas más utilizadas en el ámbito neuropsicológico.

Esta prueba evalúa la habilidad para inhibir respuestas dominantes y sobreaprendidas (el resultado de la prueba es el número de respuestas correctas con el componente de interferencia color-palabra en un tiempo determinado). Este test tratará de medir la disminución en la velocidad de identificación de colores; fenómeno que se produce cuando el sujeto debe nombrar el color de la tinta con que están escritos los nombres de unos colores cuyo significado nunca coincide con el color con el que están escritos. La prueba está compuesta por tres tareas consecutivas donde se anotarán los tiempos

de finalización de cada una de ellas y los errores cometidos (ver apartado 4.3). La comparación de las puntuaciones obtenidas en las tres tareas permite evaluar los efectos de la interferencia en el sujeto y su capacidad de control atencional.

La justificación en escoger este test para medir rendimiento cognitivo y capacidad de atención (mediante captación de EEG) de los tripulantes en este Proyecto es que el test Stroop es una herramienta neuropsicológica extensamente utilizada en la detección de disfunciones cerebrales que afecta a la atención selectiva y a la distractibilidad en general, entendiendo como atención selectiva a atender a la señal e ignorar los distractores.



Figura 3.12. Ejemplo de tarea del test Stroop

### 3.4. Análisis matemáticos

Para conocer la influencia que EARTH ha ejercido sobre los tripulantes, se analizará, por una parte, el rendimiento cognitivo basado en los resultados obtenidos del test explicado en el apartado 3.3 y, por otra parte, la recopilación de datos cerebrales basados en la atención de los tripulantes. En el análisis de resultados de ambos procesos, se hará uso de una herramienta matemática basada en el control estadístico de procesos y gráficos de control que analizarán la estabilidad y capacidad del proceso tanto de realización del test (rendimiento) como de la capacidad de atención (EEG) durante el uso del test Stroop. Para ambas medidas (rendimiento y niveles de atención), se realizará una comparativa de los resultados sin/con el uso de EARTH. De esta manera, podrá concluirse si ha habido una mejora o no en rendimiento cognitivo y en la capacidad de atención del usuario tras la utilización del software.

El estudio de estabilidad y capacidad del proceso de realización del test y de la recogida de datos EEG [11], servirá como técnica de diagnósticos para supervisar estos procesos e identificar inestabilidad y circunstancias anormales. Con las gráficas de control que se utilizarán se pretende obtener una comparación gráfica de los datos de desarrollo de proceso con los "límites de control estadístico" calculados, dibujados como rectas limitantes sobre la gráfica.

Las gráficas de control constituyen un mecanismo para detectar situaciones donde las causas asignables pueden estar afectando de manera adversa la calidad de desarrollo de un proceso. Cuando una gráfica indica una situación fuera de control, se puede iniciar una investigación para identificar causas y tomar medidas correctivas.

## *Desarrollo de una herramienta para el análisis de datos cognitivos mediante una interfaz cerebro-computador*

El objetivo de una gráfica de control no es lograr un estado de control estadístico como un fin, sino reducir la variación. Un elemento básico de las gráficas de control es que las muestras del proceso de interés se han seleccionado a lo largo de una secuencia de puntos en el tiempo. Además de los puntos trazados (rendimiento medio de cada tarea realizada por todos tripulantes o niveles de atención), la gráfica tiene una línea central y dos límites de control.

Si todos los puntos de la gráfica se encuentran entre los dos límites de control se considera que el proceso está controlado. Una señal fuera de control aparece cuando un punto trazado cae fuera de los límites, lo cual se atribuye a alguna causa asignable y entonces comienza la búsqueda de tales causas.

Para todas los test realizados por todos los tripulantes durante las misiones MSM y su obtención de datos cerebrales basados en la atención (diferenciando entre uso de EARTH o no) tras la finalización de toda la estancia en la misión, se realizará un estudio de estabilidad y capacidad del proceso midiendo las variables  $\bar{x}$  (media) y R (variabilidad).

Para el análisis de estabilidad, se medirá la evolución temporal mediante gráficos  $\bar{x}$  y R, (con/sin EARTH) del proceso del rendimiento de realización de todos test y niveles de atención. Con el análisis gráfico se observa si los valores de la variable “rendimiento” o “atención” entran dentro de los límites estadísticos (si el proceso está fuera de estos límites ha de investigarse cuál ha sido la variable que ha afectado) y en el caso de ser así realizar el estudio posterior de capacidad del proceso para cada caso. La justificación de llevar a cabo un análisis de estabilidad para este Proyecto proviene del hecho de que históricamente algunas tripulaciones reflejaron que durante la segunda mitad de la misión disminuyeron su cohesión y presión de trabajo [12].



Figura 3.13. Ejemplo de gráfico de control R

El ejemplo del gráfico R mostrado en la parte superior no presenta variaciones fuera de los límites de control, por lo tanto la dispersión de los datos es aceptable para calcular el gráfico  $\bar{x}$ . Algún valor fuera del rango en un gráfico R indicaría que la uniformidad del proceso ha cambiado (temperatura, fatiga, cansancio del tripulante, falta de atención, etc).

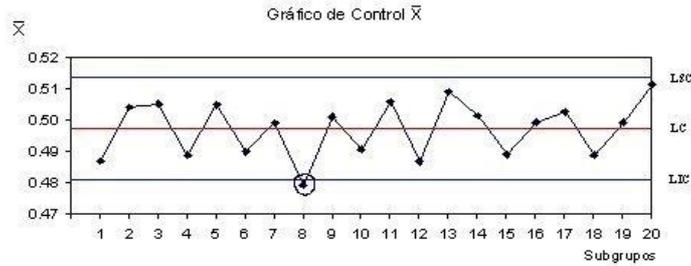


Figura 3.14. Ejemplo de gráfico de control  $\bar{x}$

Como puede apreciarse en el ejemplo del gráfico superior, un punto queda fuera del rango calculado, por lo tanto el proceso se encuentra fuera de control estadístico. En este caso, habría que investigar y eliminar la causa asignable (como una mayor o menor atención de los tripulantes).



Figura 3.15. Ejemplo de gráfico de control  $\bar{x}$  corregido

Una vez corregida la causa (que pudiera ser el caso tras el uso de EARTH), la variable ya se encontraría bajo control estadístico y podría analizarse la capacidad del proceso. Es decir, los gráficos de control anteriores dan información sobre si la posición y forma de su función de distribución, definida por su media y su variabilidad de la función rendimiento y atención, no varían sensiblemente a lo largo del tiempo y permanecen en un campo de tolerancias.

La capacidad del proceso se puede definir como aquellos límites dentro de los cuales la única fuente de variación son las causas comunes o aleatorias del sistema. Es decir, que un proceso es "capaz" si los límites de variabilidad se hallan dentro de los límites de tolerancia exigidos. Por lo tanto, es un estado ideal para el buen funcionamiento de todo el sistema lograr que todos sus procesos sean estables (comportamiento similar a lo largo del tiempo) e intentar que este proceso sea capaz (dentro de los límites de diseño). Como se profundizará en el capítulo 4.6, la capacidad del proceso se evalúa a partir de dos índices denominados cp (estrechez relativa) y cpk (margen relativo de la distribución).

El proceso de capacidad presenta más matices que el término de estabilidad. Un proceso estable puede ser incapaz, es decir, salirse del campo de tolerancia, porque su función de distribución sea ancha (tiene poca estrechez) o porque esté desplazada (queda poco margen) hasta uno de los límites de dicho campo. En sentido positivo,

## *Desarrollo de una herramienta para el análisis de datos cognitivos mediante una interfaz cerebro-computador*

para que un proceso sea capaz, se deben cumplir simultáneamente dos condiciones: debe ser estrecho y tener margen suficiente hasta los dos límites de tolerancia.

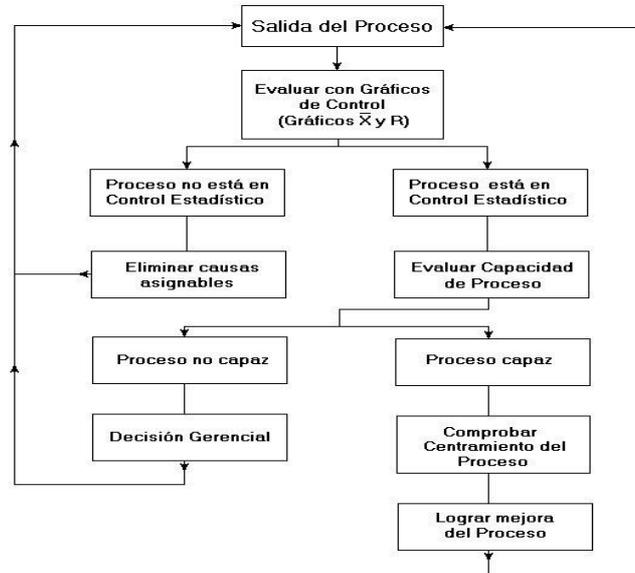


Figura 3.16. Secuencia de tareas en el estudio de capacidad de proceso

Todos los análisis matemáticos explicados en este apartado (mayor desarrollo en los apartados 4.4, 4.5 4.6 y 4.7) y necesarios para las conclusiones del proyecto: rendimiento cognitivo, niveles de atención, estabilidad y capacidad del proceso y análisis gráficos, son evaluados en hojas Excel dispuestas por el proyectando. Todos los libros y hojas Excel están preparadas y vinculadas con la formulación necesaria para que el usuario que lleve a cabo este Proyecto Fin de Carrera, sea o no el proyectando, pueda hacerlo a través de una herramienta de fácil acceso, de uso conocido y gratuita como es Excel sin tener prácticamente que interactuar con el programa, sino que sea éste quien informe de todas los resultados e incluso de conclusiones. Esto añade otra justificación más del objetivo de la propuesta para tratarse de un proyecto de bajo coste.

### **3.5. Presupuesto**

A continuación se expone el presupuesto de los recursos utilizados para la misión MSM0 (ver anexo B), a pesar de que dichos recursos fueron cedidos de manera colaborativa para la misión, y el presupuesto para implantar las mejoras necesarias en el experimento que ha resultado en este Proyecto Fin de Carrera:

*Proyecto anterior:*

<b>Nº</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio (Euros)</b>	<b>Total</b>
1	Medicid Fenix: Equipo Base (NS)	1	2.860	2.860
2	Adaptador TP para gorro ECI de 20 canales	1	135	135
3	Arnés cuerpo mediano	1	30,25	30,25
4	Electrocap rojo mediano 54-58 cm	1	330	330
5	Pasta conductura	1	9,60	9,60
6	Pasta abrasiva	1	7,80	7,80
7	Electrodos de disco plata	6	66	396
8	Gel conductor para cascos electroencefalografía	1	25,70	25,70
9	Jeringuilla y aguja	1	1,50	1,50

**TOTAL: 3.795,85€**

*Proyecto actual:*

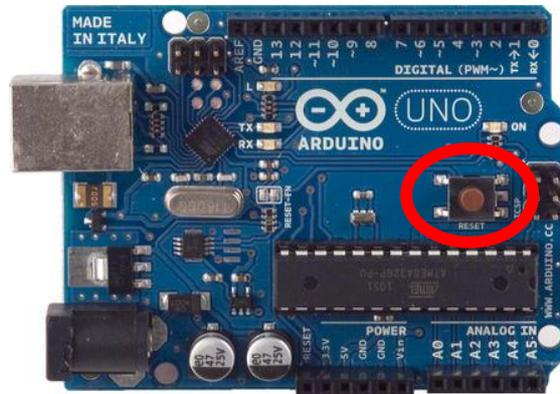
<b>Nº</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio (Euros)</b>	<b>Total</b>
1	Starter Kit-Arduino Kit. Incluye: <ul style="list-style-type: none"><li>• Arduino Uno</li><li>• Cables</li><li>• Leds</li><li>• Breadboard</li></ul>	1	39,90	39,90
2	Casco Neurosky Mindwave. Incluye: <ul style="list-style-type: none"><li>• Software para interfaz Arduino</li><li>• RF USB Dongle</li></ul>	1	75,21	75,21
3	SparkFun BOB-08745 Convertidor de Nivel	1	6,40	6,40

**TOTAL: 121,51€**

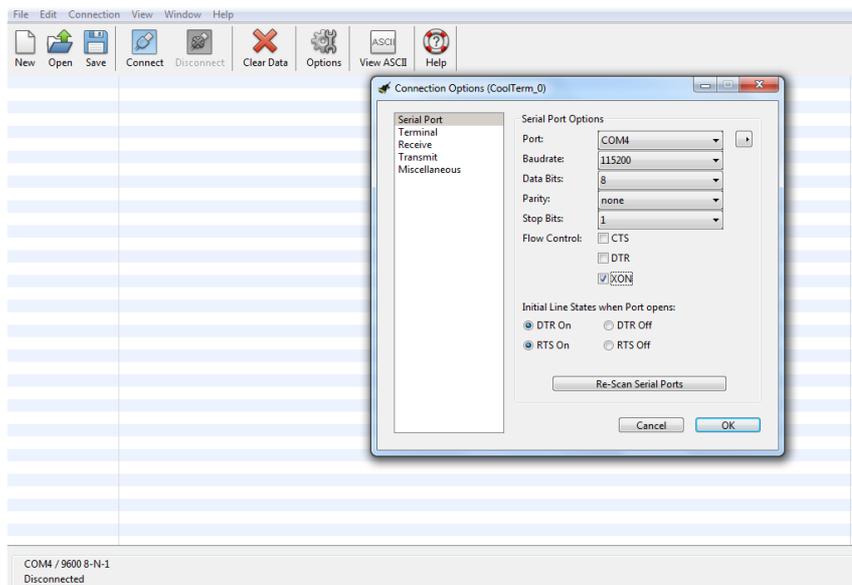
Como puede apreciarse en ambos presupuestos, se ha conseguido disponer de un sistema que implanta las mejoras necesarias para subsanar los problemas expuestos en el capítulo 2.4 a través de una reducción de presupuesto de 121,51€ - 3795,85€= -3674,34€.



- 3) Poner en "ON" el casco Neurosky Mindwave.
- 4) Pretar el botón "Reset" de la placa Arduino Uno.

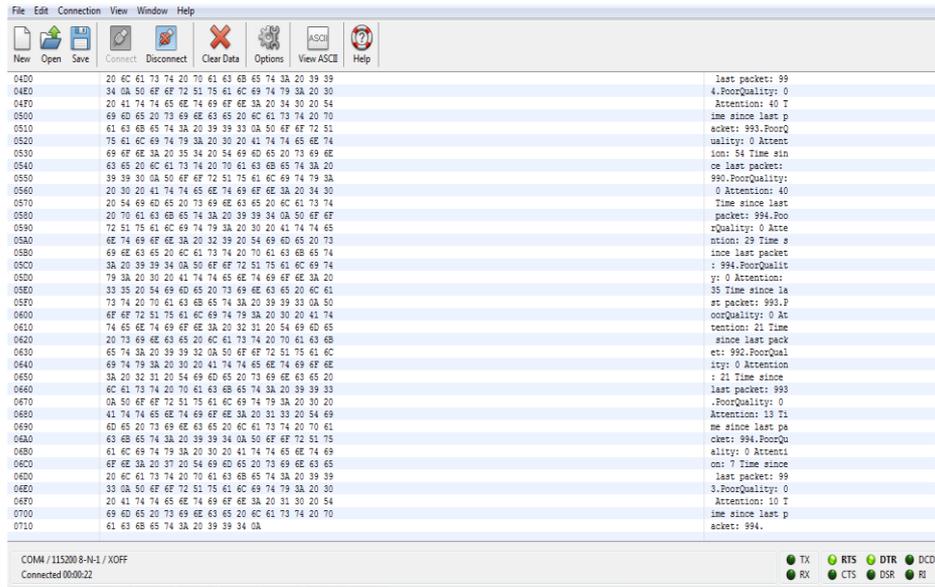


- 5) Abrir la aplicación CoolTerm (su descarga es gratuita). Esta aplicación nos permitirá que la transmisión de datos cerebrales se guarde en tiempo real en un archivo de texto .txt:
  - a. Options->Seleccionar Puerto y Baudrate con los que trabaja Arduino.

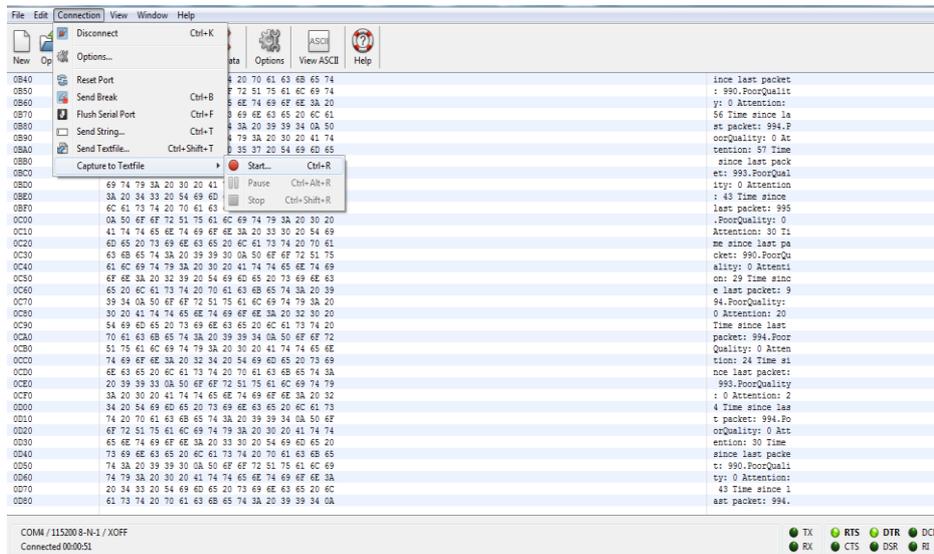


- b. Seleccionar Connect. La aplicación, una vez conectada, sacará en monitor los valores de atención del tripulante.

## Desarrollo de una herramienta para el análisis de datos cognitivos mediante una interfaz cerebro-computador



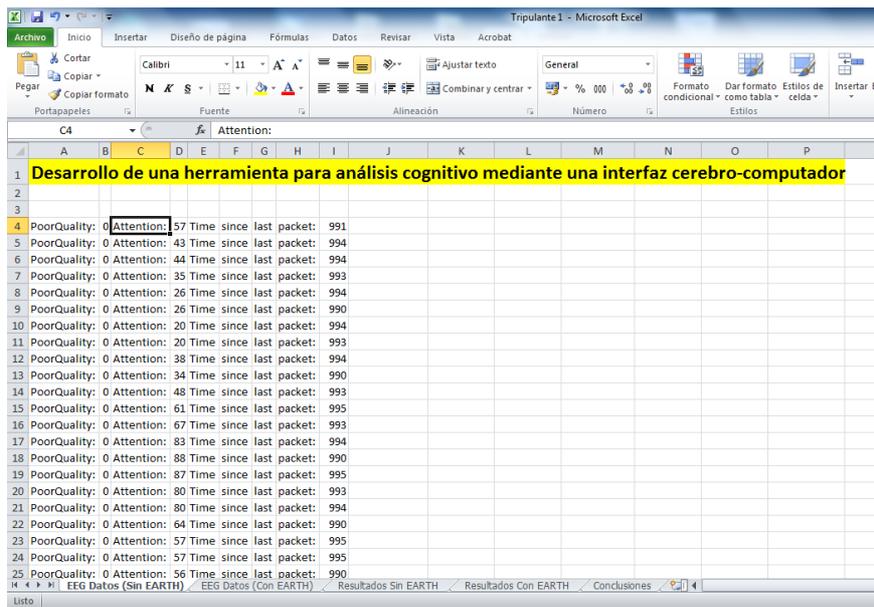
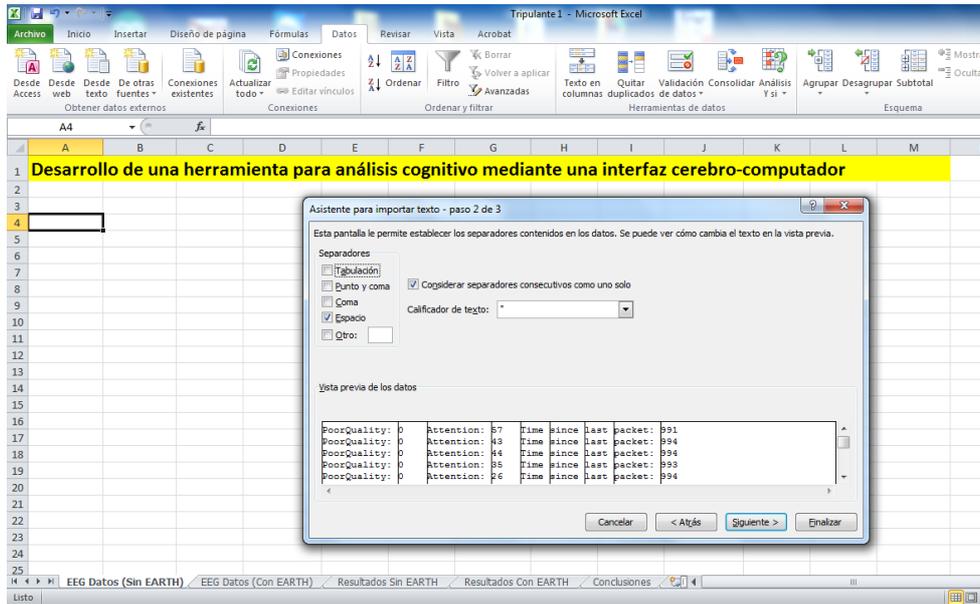
c. Connection->Capture to Textfile->Start. La aplicación comenzará a guardar en un archivo de texto (de nombre y ubicación la que queramos) los niveles de atención en tiempo real. En el momento de finalización de recogida de datos de atención seleccionar: Connection->Capture to Textfile->Stop.



```

Archivo Edición Formato Ver Ayuda
PoorQuality: 0 Attention: 57 Time since last packet: 991PoorQuality: 0 Attention: 43 Time since last packet: 994PoorQuality: 0 Attention: 44 Time since last packet:
994PoorQuality: 0 Attention: 35 Time since last packet: 993PoorQuality: 0 Attention: 26 Time since last packet: 994PoorQuality: 0 Attention: 26 Time since last packet:
990PoorQuality: 0 Attention: 20 Time since last packet: 994PoorQuality: 0 Attention: 20 Time since last packet: 993PoorQuality: 0 Attention: 38 Time since last packet:
994PoorQuality: 0 Attention: 34 Time since last packet: 990PoorQuality: 0 Attention: 30 Time since last packet: 993PoorQuality: 0 Attention: 61 Time since last packet:
995PoorQuality: 0 Attention: 67 Time since last packet: 993PoorQuality: 0 Attention: 83 Time since last packet: 994PoorQuality: 0 Attention: 88 Time since last packet:
990PoorQuality: 0 Attention: 87 Time since last packet: 995PoorQuality: 0 Attention: 80 Time since last packet: 993PoorQuality: 0 Attention: 80 Time since last packet:
994PoorQuality: 0 Attention: 64 Time since last packet: 990PoorQuality: 0 Attention: 57 Time since last packet: 995PoorQuality: 0 Attention: 57 Time since last packet:
995PoorQuality: 0 Attention: 56 Time since last packet: 990PoorQuality: 0 Attention: 51 Time since last packet: 996PoorQuality: 0 Attention: 48 Time since last packet:
995PoorQuality: 0 Attention: 30 Time since last packet: 990PoorQuality: 0 Attention: 30 Time since last packet: 991PoorQuality: 0 Attention: 37 Time since last packet:
994PoorQuality: 0 Attention: 27 Time since last packet: 994PoorQuality: 0 Attention: 35 Time since last packet: 993PoorQuality: 0 Attention: 29 Time since last packet:
992PoorQuality: 0 Attention: 27 Time since last packet: 993PoorQuality: 0 Attention: 38 Time since last packet: 994PoorQuality: 0 Attention: 40 Time since last packet:
993PoorQuality: 0 Attention: 35 Time since last packet: 994PoorQuality: 0 Attention: 35 Time since last packet: 990PoorQuality: 0 Attention: 24 Time since last packet:
994PoorQuality: 0 Attention: 17 Time since last packet: 995PoorQuality: 0 Attention: 23 Time since last packet: 994PoorQuality: 0 Attention: 60 Time since last packet:
1984PoorQuality: 0 Attention: 70 Time since last packet: 995PoorQuality: 0 Attention: 74 Time since last packet: 993PoorQuality: 0 Attention: 70 Time since last
packet: 994PoorQuality: 0 Attention: 61 Time since last packet: 990PoorQuality: 0 Attention: 57 Time since last packet: 995PoorQuality: 0 Attention: 53 Time since last
packet: 993PoorQuality: 0 Attention: 51 Time since last packet: 994PoorQuality: 0 Attention: 56 Time since last packet: 990PoorQuality: 0 Attention: 63 Time since last
packet: 995PoorQuality: 0 Attention: 69 Time since last packet: 1010PoorQuality: 0 Attention: 60 Time since last packet: 975PoorQuality: 0 Attention: 57 Time since
last packet: 994PoorQuality: 0 Attention: 51 Time since last packet: 994PoorQuality: 0 Attention: 44 Time since last packet: 993PoorQuality: 0 Attention: 40 Time since
last packet: 993PoorQuality: 0 Attention: 29 Time since last packet: 991PoorQuality: 0 Attention: 21 Time since last packet: 994PoorQuality: 0 Attention: 23 Time since
last packet: 997PoorQuality: 0 Attention: 27 Time since last packet: 990PoorQuality: 0 Attention: 35 Time since last packet: 990
    
```

6) Exportar los niveles de atención del archivo .txt a la hoja Excel correspondiente al tripulante evaluado: Datos->Desde texto.



Este primer apartado corresponde al protocolo de preparación del presente experimento, mientras que los apartados 4.2 a 4.7 son los pasos correspondientes al desarrollo durante el experimento y tras éste. El tiempo de preparación que supone seguir los cinco primeros pasos explicados en este apartado (el punto seis corresponde al proceso final de desarrollo del experimento por tripulante/día) está en torno a minuto y medio de duración, a diferencia de entre 30 y 45 minutos de preparativos para el proyecto anterior desarrollado con los recursos expuestos en el apartado 2.3 de esta memoria.

## **4.2. Protocolo de uso del software EARTH**

Aunque el estudio principal para cumplir los objetivos de este proyecto será el uso del software EARTH of Wellbeing durante la segunda semana de la misión, también se hará uso de la plataforma EARTH Evaluation durante el periodo completo de la misión de simulación, puesto que esta última aplicación no trata de entornos virtuales que influyan en el estado del tripulante sino que son simples cuestionarios que no afectan a la cognición de los usuarios. De esta manera, no sólo se obtendrá información sobre el rendimiento cognitivo y el análisis de respuesta cerebral correspondiente a la atención, sino que también los resultados finales podrán ser contrastados con las respuestas que los tripulantes hayan escogido en la aplicación EARTH Evaluation para conocer, en cada entrada a EARTH, su estado de ánimo previo.

Siguiendo entonces este razonamiento, desde la primera semana cada tripulante hará uso de la aplicación EARTH Evaluation antes de la realización de las tareas cognitivas (punto 4.3). Será durante la segunda semana de misión en la que cada tripulante, tras el uso de EARTH Evaluation, deberá de hacer uso de EARTH of Wellbeing para, posteriormente, pasar al punto 4.3. Durante esta segunda semana, cada tripulante deberá de utilizar un mínimo de 30 minutos diarios (el tiempo exacto lo marcará la agenda de actividades de la misión) cada uno de los módulos de los que contiene EARTH of Wellbeing (El Parque del Bienestar, Bienestar en la Naturaleza y El libro de la Vida). Así, será posible evaluar la influencia sobre la tripulación que ejerce cada uno de los módulos por separado y en su conjunto (influencia de EARTH).

**Nota importante:** aunque el proceso de recogida de datos cerebrales basados en la atención se realizará sólo durante el proceso de resolución del Test Stroop (punto 4.3), es opcional realizar ya dicho registro cerebral también durante el uso de los tres módulos de EARTH of Wellbeing, motivo por el cual el primer capítulo en orden de protocolo de actuación como punto 4.1 es el correspondiente a “Conexión de la interfaz y recogida de datos EEG”. En el caso de realizar esto último, podría cambiarse la variable “attention” del código de programación en Arduino (ver anexo A), por la palabra “meditation” para poder medir los niveles de meditación del usuario mientras utiliza los módulos de EARTH of Wellbeing que le inducen a relajación y/o alegría.

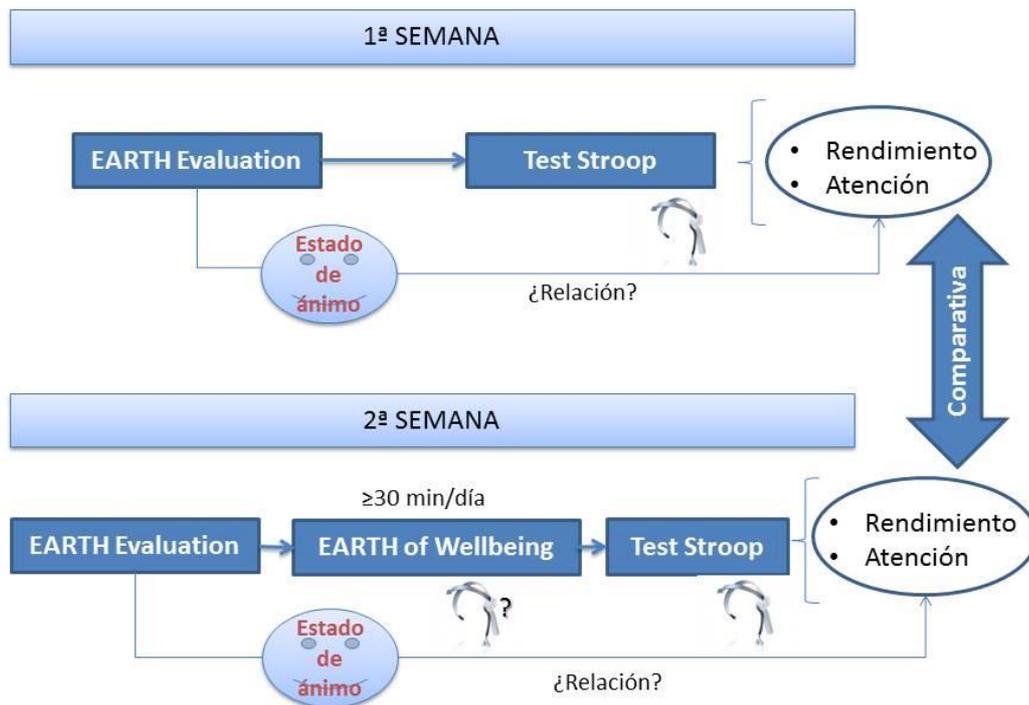


Figura 4.1. Esquema de protocolo de uso del software EARTH

### 4.3. Protocolo de uso del Test Stroop Colours and Words Test

El test Stroop será la tarea a analizar durante todos los días de la misión para cada uno de los tripulantes de la simulación. Los resultados que se obtengan de su resolución serán necesarios para los cálculos de rendimiento y evolución de la atención, así como para los análisis de estabilidad y capacidad del proceso (apartados 4.4, 4.5 y 4.6).

A los tripulantes se les someterá a tres etapas diferentes del test Stroop que se llevarán a cabo de manera seguida desde la etapa 1 hasta la etapa 3. El protocolo de actuación será el siguiente:

- Etapa 1:

Se mostrará una plantilla con 30 palabras escritas en negro y repartidas en tres columnas de diez palabras cada una. Se comienza a recopilar los datos de atención del tripulante a través del casco Neurosky Mindwave y Arduino. El tripulante deberá, con la mayor

*Desarrollo de una herramienta para el análisis de datos cognitivos mediante una interfaz cerebro-computador*

rapidez posible, leer en voz alta todas las palabras en orden descendente desde la columna primera a la izquierda hasta la columna tercera a la derecha.

Se tomarán los datos de tiempo de finalización (t1) y número de fallos cometidos en caso de leer erróneamente alguna palabra (n1).

①	②	③
AZUL	AZUL	VERDE
AZUL	AZUL	ROJO
AMARILLO	VERDE	AMARILLO
ROJO	VERDE	AZUL
AZUL	ROJO	AMARILLO
VERDE	AMARILLO	ROJO
AMARILLO	ROJO	AMARILLO
AZUL	VERDE	AZUL
ROJO	AZUL	ROJO
VERDE	AMARILLO	VERDE

Figura 4.2. Etapa 1 del test Stroop

- Etapa 2:

De manera continuada a la finalización de la etapa 1, se mostrará una plantilla de 30 rectángulos de colores (verde, amarillo, rojo y azul) repartidos en tres columnas de diez rectángulos en cada una. El tripulante deberá, con la mayor rapidez posible, leer en voz alta el color de cada uno de los rectángulos en orden descendente desde la columna primera a la izquierda hasta la columna tercera a la derecha.

Se tomarán los datos de tiempo de finalización (t2) y número de fallos cometidos en caso de leer erróneamente algún color (n2).

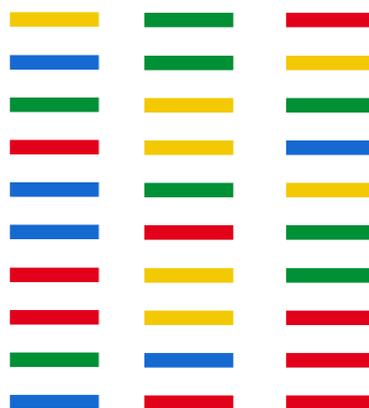


Figura 4.3. Etapa 2 del test Stroop

- Etapa 3:

Una vez terminada la etapa 2, se procederá de manera continuada con esta última etapa. Ahora se mostrará una plantilla con las mismas palabras, número de ellas y orden establecido que en la plantilla de la etapa 1, con la diferencia de que esta vez el color de cada palabra difiere de su significado semántico. El tripulante deberá, con la mayor rapidez posible, leer en voz alta todos los colores de las palabras sin tener en cuenta el significado de color que indica la palabra en sí. De nuevo, esta lectura se realizará en orden descendente desde la primera columna a la izquierda hasta la columna tercera a la derecha. Se tomarán los datos de tiempo de finalización (t3) y número de fallos cometidos en caso de leer erróneamente algún color (n1). Se finaliza la recopilación de datos de atención del tripulante a través del casco Neurosky Mindwave y Arduino.

①	②	③
AZUL	AZUL	VERDE
AZUL	AZUL	ROJO
AMARILLO	VERDE	AMARILLO
ROJO	VERDE	AZUL
AZUL	ROJO	AMARILLO
VERDE	AMARILLO	ROJO
AMARILLO	ROJO	AMARILLO
AZUL	VERDE	AZUL
ROJO	AZUL	ROJO
VERDE	AMARILLO	VERDE

Figura 4.4. Etapa 3 del test Stroop

Una vez realizado el protocolo de actuación de las tres etapas correspondientes al proceso del test, se realizarán los siguientes cálculos necesarios para pasar al siguiente apartado 4.4:

$$t' = \frac{t1+t2}{2} ; \quad n' = \frac{(n1+n2)}{2}$$

$$\longrightarrow \Delta t = t3 - t'$$

$$\longrightarrow \Delta n = n3 - n'$$

Estos dos últimos factores,  $\Delta t$  y  $\Delta n$ , serán necesarios para el cálculo del rendimiento.

**Notas importantes:** Con el fin de obtener valores absolutos en el cálculo de  $t'$  y  $n'$ , se realizará un redondeo a unidades, de manera que el valor absoluto de la cifra no varía si el primer decimal es menor que 5 y se suma una unidad al número si el primer decimal es 5, 6, 7, 8 o 9 (ejemplos: 5,37->5 ; 8,7->9).

Para evitar que el responsable del estudio de este Proyecto (sea o no el proyectando) cometa errores durante el proceso de toma de tiempos y fallos en la realización del test Stroop, este proceso será monitorizado para que pueda visualizarse posteriormente y evitar dicho riesgo.

#### **4.4. Cálculo del rendimiento cognitivo y evolución de la atención**

Durante la estancia en la simulación, se recogerán los datos de rendimiento de cada tripulante tras la finalización de los test Stroop que realicen a lo largo del transcurso de la misión. Tanto para la primera semana sin uso de EARTH como para la segunda tras su uso, para la medición de la variable “rendimiento”, se tomarán los datos del tiempo de finalización del test y se anotarán el número de errores durante su ejecución. Estas dos variables serán las únicas a lo largo de toda la misión que el responsable del estudio, sea el proyectando o no, deberá de introducir en el libro Excel correspondiente al tripulante evaluado y en la hoja Excel correspondiente a “Resultados sin EARTH” si se trata de la primera semana de misión, o en la hoja “Resultados con EARTH” si se trata de la segunda (el resto de cálculos expuestos en este apartado, así como en los apartados 4.5 y 4.6 son los llevados a cabo para preparar los libros y hojas Excel correspondientes, pero no será necesario que el responsable del estudio los vuelva a calcular, ya que los Excel mostrarán todos los resultados de forma inmediata en la pantalla).

Acorde a la diferencia de tiempo de finalización y errores del test con respecto a las medias medidas como referencia durante las etapas 1 y 2 del test Stroop ( $\Delta t$  e  $\Delta n$ ), se adjudican unos factores necesarios para el cálculo numérico del rendimiento cognitivo:

- $f\Delta t$ : factor de diferencia entre tiempo realizado en la etapa 3 y tiempo medio de las etapas 1 y 2.
- $f\Delta n$ : factor diferencia entre los errores cometidos en la etapa 3 y el error medio de las etapas 1 y 2.

Estos factores se extraen de las siguientes tablas:

$\Delta t$ (seg)	$f\Delta t$
<0	16
0-2	15
3-5	14
6-8	13
9-11	12
12-14	11
15-17	10
18-20	9
>20	8

Tabla 4.1. Relación de factores  $f\Delta t$  según  $\Delta t$

$\Delta n$ (nº fallos)	$f \Delta n$
0-2	16
3-5	15
6-8	14
9-11	13
12-14	12
$\geq 15$	11

Tabla 4.2. Relación de factores  $f\Delta n$  según  $\Delta n$

Una vez obtenidos los factores correspondientes, se introducen en la siguiente fórmula para obtener el valor del rendimiento:

$$R(\%) = \frac{(f\Delta t + f\Delta n)_{realiz}}{(f\Delta t + f\Delta n)_{estim}} \times 100$$

Los factores correspondientes al denominador de la fórmula expuesta arriba, son los relacionados con aquellos factores resultado de realizar la etapa 3 del test en menor tiempo que la media de las etapas 1 y 2 ( $f\Delta t = 16$ ) y con el mismo número de fallos ( $f\Delta n = 16$ ). Realizando este proceso para todos los días de la misión y para cada tripulante, obtendremos, por una parte, los valores de rendimiento diario de éste y su evolución gráfica semanal (diferenciando entre semana sin uso de EARTH y con el uso de este software) y, por otra, las conclusiones correspondientes a la mejora (o no) que el tripulante ha experimentado tras el uso de EARTH (analizando esta evolución de manera independiente tras el uso de cada uno de los tres módulos de EARTH of Wellbeing) durante el transcurso completo de la misión. Para esto último, no sólo existen gráficas de la evolución comparativa del rendimiento sin/con EARTH, sino también la mejora (o no) del tripulante en cuanto a rendimiento en tanto por ciento a través de un indicador a modo de velocímetro que permitirá al usuario conocer el resultado de una manera muy visual e intuitiva.

Desarrollo de una herramienta para el análisis de datos cognitivos mediante una interfaz cerebro-computador

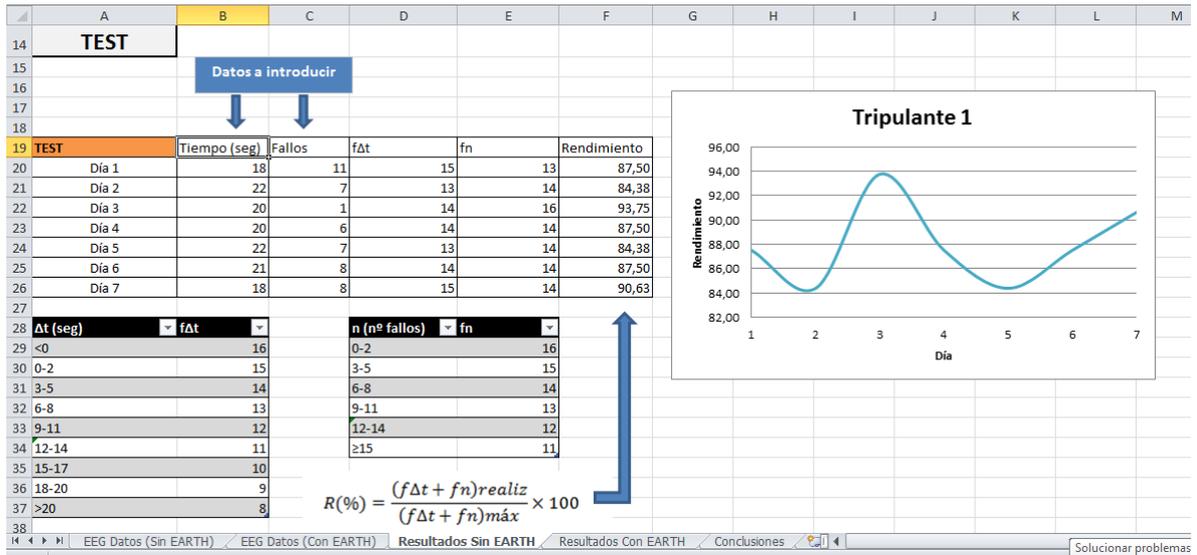


Figura 4.5. Hoja Excel correspondiente a los resultados semanales de rendimiento de un tripulante

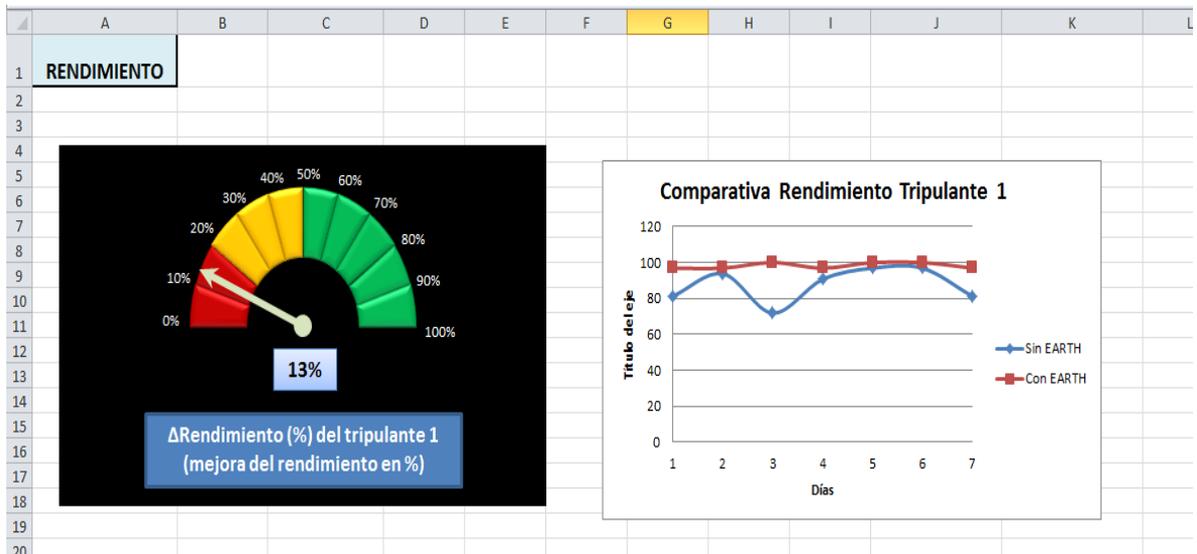


Figura 4.6. Hoja Excel correspondiente a las conclusiones de misión de la evolución del rendimiento de un tripulante

Además, en la misma hoja Excel correspondiente a los resultados de cada tripulante (sin EARTH o con EARTH) se podrá visualizar también la evolución semanal de los valores promedio de los niveles de atención (Neurosky Mindwave facilita los niveles de atención del usuario mediante valores en tanto por ciento, desde 0% hasta 100%). Si se requiriese para el estudio (no es el caso para este Proyecto Fin de Carrera), también puede visualizarse la misma evolución correspondiente a los niveles de meditación (los cálculos y análisis gráficos del Excel están también preparados para ello).

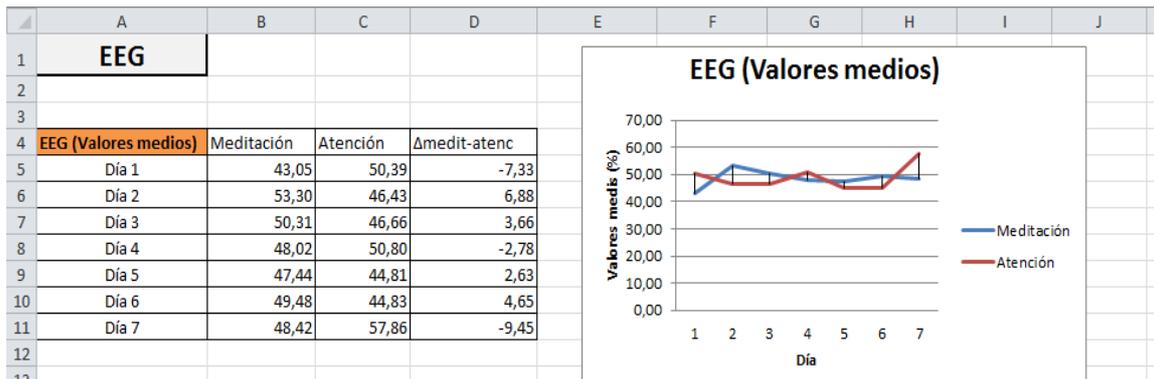


Figura 4.7. Hoja Excel correspondiente a los resultados semanales de EEG de un tripulante.

Las conclusiones de cada tripulante en cuanto a la evolución de sus niveles de atención (y de meditación), se podrán visualizar en la hoja correspondiente a las conclusiones del tripulante. Al igual que con el caso de la variable rendimiento, los resultados de EEG se presentan con una comparativa gráfica y con indicadores velocímetros para conocer si ha existido mejora en la capacidad de atención (y su valor en tanto por ciento).

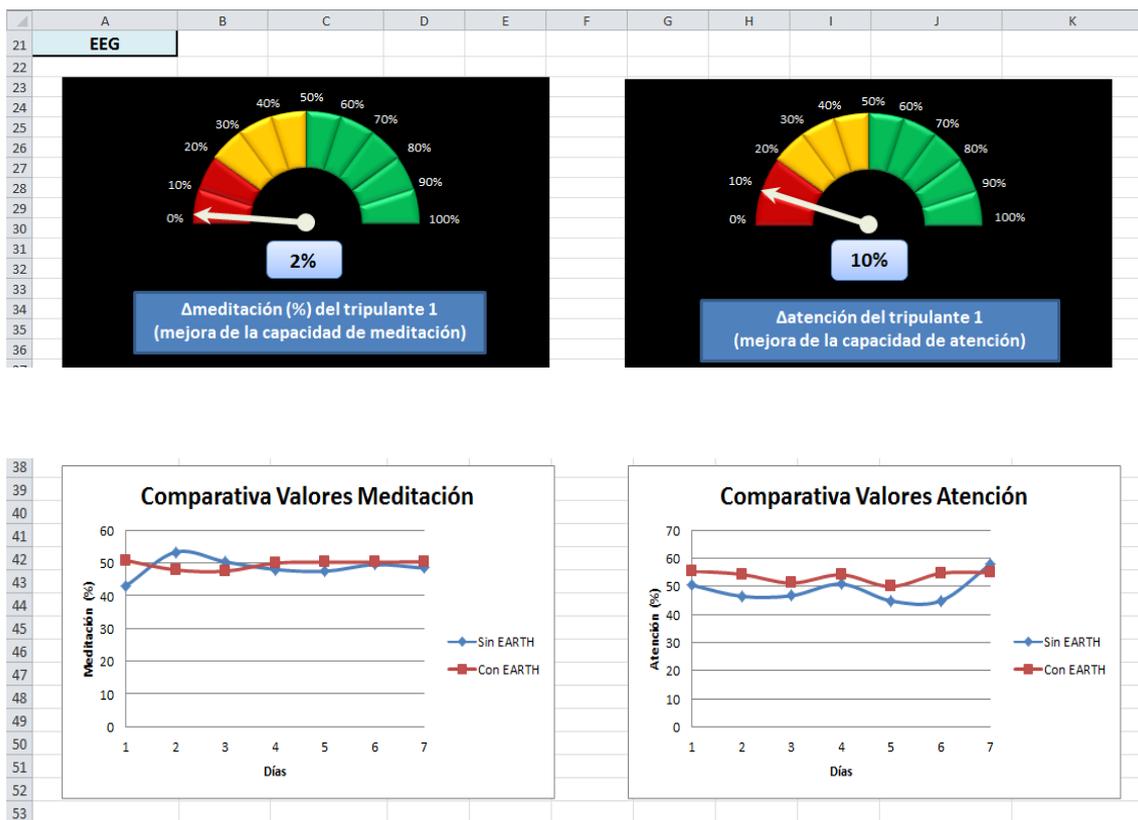


Figura 4.8. Hoja Excel correspondiente a las conclusiones de misión de la evolución de EEG de un tripulante

#### 4.5. Análisis de la estabilidad del proceso

Para el análisis de estabilidad, se medirá la evolución temporal mediante gráficos  $\bar{x}$  y R, (con/sin EARTH) del proceso del rendimiento de realización de todos test y de su respuesta cerebral basada en la atención. Con el análisis gráfico se observa si los valores de la variable “rendimiento” o “atención” entran dentro de los límites estadísticos (si el proceso está fuera de estos límites ha de investigarse cuál ha sido la variable que ha afectado) y en el caso de ser así realizar el estudio posterior de capacidad del proceso para cada caso.

Para el cálculo del límite superior de control (LSC) y límite inferior de control (LIC), se procede de la siguiente manera:

1)  $\bar{\bar{x}} = \frac{\sum_{i=1}^{NT} \bar{x}}{NT}$  ; siendo NT el número de test (=número de días)

2)  $\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^{NT} R}{NT}$  ; siendo NT el número de test (=número de días)

3) Gráfico de control R:

$$LSC = D4 \times \bar{R} ; LIC = D3 \times \bar{R}$$

Gráfico de control  $\bar{x}$ :

$$LSC = \bar{\bar{x}} + (A2 \times \bar{R}) ; LIC = \bar{\bar{x}} - (A2 \times R)$$

Donde D4, D3 y A2 son constantes (tabla 4.3) que en el caso a analizar dependen del número de tripulantes que realizan cada tarea:

Coeficientes usados en las fórmulas									
Tamaño de la muestra	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>	d <sub>3</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	c <sub>4</sub>	d <sub>2</sub>
2	1.880	2.659	0.000	3.267	0.853	0.0000	3.2686	0.7979	1.128
3	1.023	1.954	0.000	3.568	0.888	0.0000	2.5735	0.8862	1.693
4	0.729	1.628	0.000	2.266	0.880	0.0000	2.2822	0.9213	2.059
5	0.577	1.427	0.000	2.089	0.864	0.0000	2.1144	0.9400	2.326
6	0.483	1.287	0.030	1.970	0.848	0.0000	2.0039	0.9515	2.534

Tabla 4.3. Constantes estadísticas de control de estabilidad de proceso según diferentes tamaños de muestra (nº de tripulantes)

Dato a introducir:		Coeficientes para distintos tamaños de muestra N			
N (n° tripulantes)=	3				
		Tamaño de la muestra (n° tripulantes)			
		A2	D3	D4	d2
		1,88	0	3,2686	1,128
		1,023	0	2,5735	1,693
		0,729	0	2,2822	2,059
		0,577	0	2,1144	2,2326
		0,483	0	2,0039	2,534

Rendimientos:									
Sin EARTH					Con EARTH				
día	Tripulante 1	Tripulante 2	Tripulante 3	$\bar{x}$	R	$\bar{\bar{x}}$	$\bar{R}$	$\sigma$	
día 1	81,25	87,50	87,50	85,42	6,25	87,80	1,34	0,79107248	
día 2	93,75	93,75	93,75	93,75	0,00				
día 3	71,88	71,88	71,88	71,88	0,00				
día 4	90,63	90,63	90,63	90,63	0,00				
día 5	96,88	96,88	96,88	96,88	0,00				
día 6	96,88	93,75	93,75	94,79	3,13				
día 7	81,25	81,25	81,25	81,25	0,00				

Gráfico de control X		Gráfico de control R		Gráfico de control X		Gráfico de control R	
LSC	LIC	LSC	LIC	LSC	LIC	LSC	LIC
89,167708	86,42753	3,446652	0	99,1276786	97,30083286	2,238	0
89,167708	86,42753	3,446652	0	99,1276786	97,30083286	2,238	0
89,167708	86,42753	3,446652	0	99,1276786	97,30083286	2,238	0
89,167708	86,42753	3,446652	0	99,1276786	97,30083286	2,238	0
89,167708	86,42753	3,446652	0	99,1276786	97,30083286	2,238	0
89,167708	86,42753	3,446652	0	99,1276786	97,30083286	2,238	0
89,167708	86,42753	3,446652	0	99,1276786	97,30083286	2,238	0
89,167708	86,42753	3,446652	0	99,1276786	97,30083286	2,238	0

Figura 4.9. Hoja Excel correspondiente a los cálculos de estabilidad y capacidad de todos tripulantes durante la misión

Tras la obtención de los resultados de los cálculos, se procedería al análisis gráfico de estabilidad  $\bar{x}$  y R:

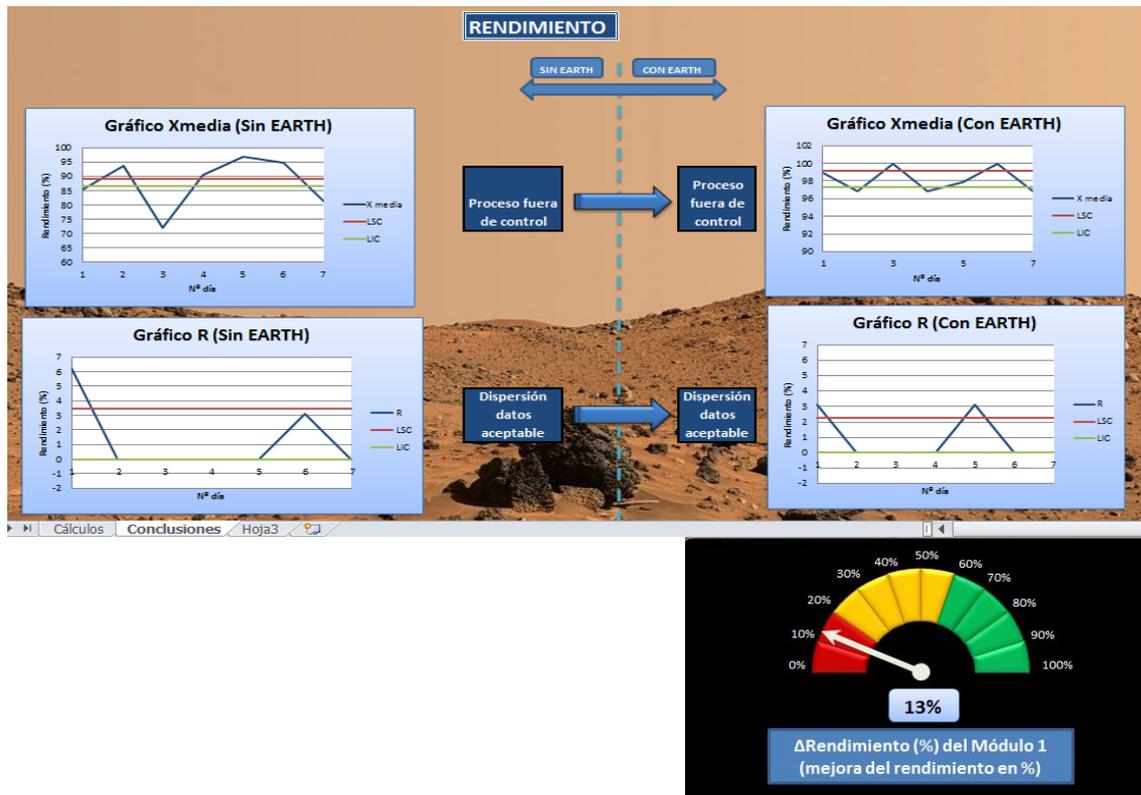


Figura 4.10. Hoja Excel correspondiente a las conclusiones del análisis de estabilidad de todos los tripulantes durante la misión en cuanto a rendimiento

*Desarrollo de una herramienta para el análisis de datos cognitivos mediante una interfaz cerebro-computador*

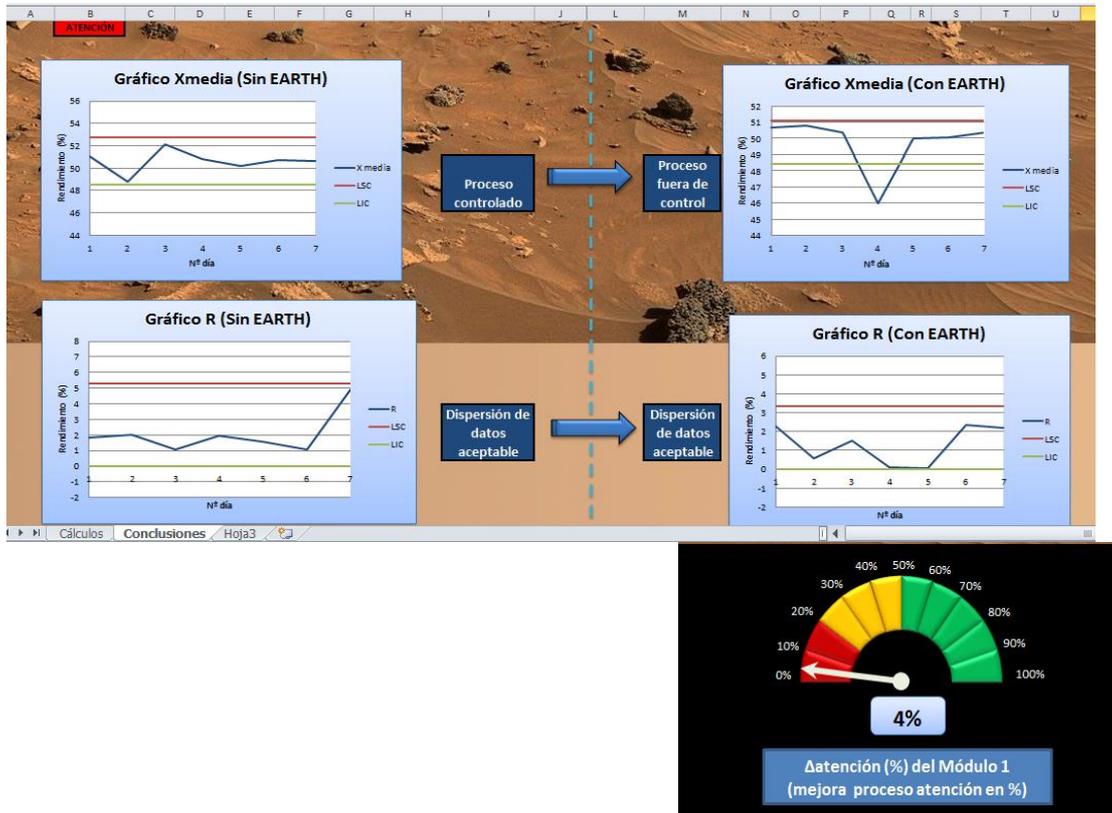


Figura 4.11. Hoja Excel correspondiente a las conclusiones del análisis de estabilidad de todos los tripulantes durante la misión en cuanto a atención

Como puede apreciarse en las Figuras 4.10 y 4.11, el usuario no sólo podrá visualizar los resultados gráficos de estabilidad del proceso y su posible mejora ante indicadores velocímetros, sino también unos mensajes automáticos que dependerán del resultado obtenido para conocer inmediatamente la situación del proceso (antes y después del uso de EARTH):

- Gráficos  $\bar{x}$ :  
*“Proceso Controlado”*: los valores entran dentro de los límites de control.  
*“Proceso fuera de control”*: existe algún valor fuera de los límites de control.
- Gráficos R:  
*“Dispersión de datos aceptable”*: las variaciones o dispersión de datos entran dentro de los límites de control.  
*“Dispersión de datos no aceptable”*: las variaciones de datos provocan que algún dato se salga fuera de los límites de control.

## 4.6. Análisis de la capacidad del proceso

Para describir la capacidad del proceso de rendimiento y atención de los tripulantes se emplearán dos índices,  $c_p$  y  $c_{pk}$  definidos matemáticamente. La variable  $c_p$  indica la estrechez relativa de la distribución y  $c_{pk}$  el margen relativo de la distribución.

Aplicando el índice  $c_p$  nos permite analizar si la distribución de las variables “rendimiento” o “atención” dada por su media y varianza, están dentro de los límites superior e inferior marcada por la organización, es decir, mide la dispersión respecto a la tolerancia. Por otro lado aplicando el índice  $c_{pk}$  permite analizar el margen de error que tiene el proceso de realización de tareas, es decir, cuánto se puede desplazar la distribución del rendimiento y atención sin salirse de los límites marcados por la organización del estudio de simulación de estancia en Marte, es decir, si hay desviación del centro del proceso respecto al centro del campo de tolerancias (centramiento del proceso).

$$cp = \frac{LES - LEI}{6 \times \sigma}$$

$$cpk = \min \left\{ \frac{LES - \bar{x}}{3 \times \sigma}; \frac{\bar{x} - LEI}{3 \times \sigma} \right\}$$

$$\sigma = \bar{R}/d2$$

Donde LES= Límite de especificación superior, LEI = Límite de especificación inferior,  $\sigma$ = desviación típica y  $d2$ =constante (tabla 4.3).

Los límites de especificación LES y LEI, a diferencia de los límites de control superior e inferior del análisis de estabilidad (LSC y LIC respectivamente), no son resultado de un cálculo numérico a través de fórmulas matemáticas, sino que son los límites de tolerancia establecidos tras el resultado de muchas muestras.

La interpretación general de los resultados de los índices de la capacidad del proceso puede ser:

1.  $c_p < 1,33$  y  $c_{pk} < 1,33$ : el gráfico mostraría un comportamiento incapaz, con valores fuera del rango de los límites de tolerancia en ambos gráficos de control.
2.  $c_p \geq 1,33$  y  $c_{pk} \geq 1,33$ : los valores se encontrarían dentro de los límites de tolerancia y el proceso sería capaz.
3.  $c_{pk} < c_p$  y  $c_p \geq 1,33$ : parte de la distribución de las variables “rendimiento” o “atención” se encuentran fuera del rango definido por las tolerancias, pero la dispersión es suficientemente pequeña como para poder corregirlo desplazando ésta. Es decir, el proceso puede volverse capaz desplazándolo hacia el centro.



Figura 4.12. Hoja Excel correspondiente a las conclusiones del análisis de capacidad de todos los tripulantes durante la misión (rendimiento/atención)

Como puede apreciarse en la Figura 4.12, a través de un mensaje automático, dependiente del resultado de los índices cp y cpk mostrados en los tres casos del párrafo superior, el usuario conocerá la evolución de la situación de la capacidad del proceso tras el uso de EARTH. Para que la identificación de sus resultados sea más visual e intuitiva, se ha establecido unos indicadores a modo de semáforo que indican con color verde el caso 2 del párrafo superior, con color amarillo el caso 3 y con color rojo el caso 1.

## 4.7. Extracción de conclusiones

Una vez conocidos los pasos necesarios para el desarrollo y actuación de este Proyecto Fin de Carrera, finalmente se deberá de proceder a extraer conclusiones acordes a los resultados obtenidos.

Los libros Excel preparados para los cálculos y análisis gráficos necesarios para cada misión están dispuestos en diferentes carpetas diferenciando entre módulo 1, módulo 2 y módulo 3 que corresponden, respectivamente, a los módulos de los que está compuesto el software EARTH of Wellbeing expuestos en el apartado 3.2. Dentro de cada una de estas tres carpetas, se encuentra la carpeta “Conclusiones generales” compuesto por un libro Excel con los resultados del módulo a analizar sobre todos los tripulantes durante toda la misión, y las carpetas “Tripulante 1”, “Tripulante 2”, “Tripulante 3”, “Tripulante 4”, “Tripulante 5” y “Tripulante 6”, donde se encuentran los resultados del módulo en cuestión sobre cada uno de los tripulantes a modo individual (además de los archivos de texto de los datos de respuesta cerebral de cada día de misión recogidos con el casco Neurosky Mindwave y Arduino). Los libros Excel de “Conclusiones generales” están vinculados con las hojas Excel de todos los tripulantes de la misión, de manera que los cambios en los resultados de cada tripulante permiten un cambio inmediato de los resultados generales.

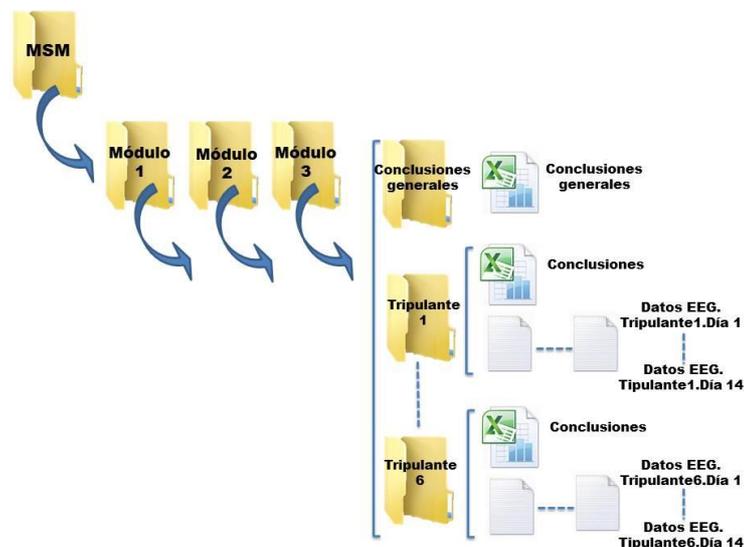


Figura 4.13. Esquema general de la disposición de carpetas y sus contenidos del PFC

A pesar de que el objetivo de este Proyecto es conocer la influencia de EARTH of Wellbeing (cada uno de los módulos por separado y el software en su conjunto) sobre los tripulantes en misiones espaciales de simulación (carpeta “Conclusiones generales”), sería posible también analizar la influencia de cada módulo, o el conjunto de todos, sobre un tripulante en particular (carpeta “Tripulante “->Excel “Conclusiones”).

Una vez recogidos todos los resultados de los seis tripulantes durante las dos semanas de la misión, deberá de redactarse un informe acorde a los resultados presentados en los libros Excel “Conclusiones generales” (estas conclusiones pueden considerarse como “resultados previos”). Para que dichas conclusiones sean científicamente relevantes, se necesita un número de muestra mínimo de treinta tripulantes, es decir, tras un mínimo de cinco misiones de simulación (suponiendo seis tripulantes en cada una). La interpretación de resultados será la siguiente:

i. Análisis de la evolución de Rendimiento y capacidad de Atención:

Este análisis es inmediato al presentarse gráficamente el tanto por ciento de la mejora del rendimiento y atención sobre todos los tripulantes durante la misión. En caso de no haberse producido mejora, el gráfico mostraría igualmente el valor, solo que en este caso el tanto por ciento sería un número negativo.



Figura 4.14. Ejemplo del indicador de mejora del rendimiento del módulo 1.



Figura 4.15. Ejemplo del indicador de mejora de la atención del módulo 1.

ii. Análisis de la estabilidad del proceso:

En este caso, el libro Excel nos presenta los resultados de los gráficos de control  $\bar{x}$  y R. La estabilidad se analizará para ambos procesos del punto i) anterior, es decir, para el proceso de rendimiento y para el proceso de niveles de atención. Como se explicó en el apartado 3.3, para analizar si el proceso es estable, los valores de  $\bar{x}$  (medias) y R (variabilidad), deberán de encontrarse dentro de los límites de control. Esto no sólo se podrá identificar de manera rápida y visual a través de las gráficas de Excel, sino que además éste presentará un mensaje que indicará si el proceso está o no bajo control estadístico y la dispersión de datos es aceptable o no. Estos mensajes están preparados para analizar sólo el caso de que algún punto esté fuera o no de los límites de control. Sin embargo, el responsable de este estudio deberá de tener en cuenta más aspectos que, aunque todos puntos estén dentro de los límites de control, indicarían casos de procesos inestables:

- Dos puntos consecutivos muy próximos al límite de control.
  - La situación es anómala, estudiar las causas de variación.
- Cinco puntos consecutivos por encima o por debajo de la línea central.
  - Investigar las causas de variación pues la media de los cinco puntos indica una desviación del nivel de funcionamiento del proceso.
- Fuerte tendencia ascendente o descendente marcada por cinco puntos consecutivos.
  - Investigar las causas de estos cambios progresivos.

- Cambios bruscos de puntos próximos a un límite de control hacia el otro límite.
  - Examinar esta conducta errática.

En el caso de que todos puntos se encontrasen dentro de los límites, pero se presentase alguno de los casos de los puntos expuestos en los párrafos superiores, deberá de investigarse si las causas han sido aleatorias o sobre el proceso han actuado causas aleatorias y causas asignables. En el primer caso el proceso sería estable y estaría bajo control, mientras que en el segundo el proceso sería inestable y debería de identificarse la fuente de dicha causa y eliminarla.

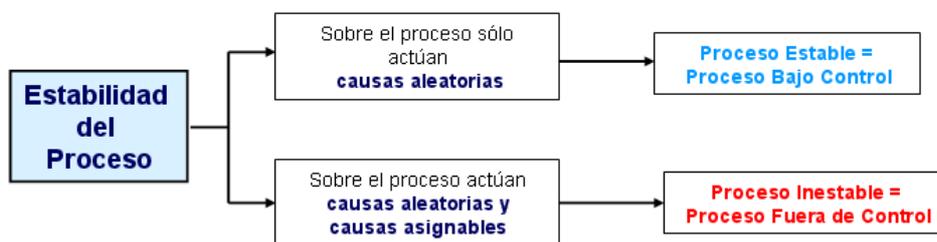


Figura 4.16. Estabilidad del proceso atendiendo a las causas que hayan actuado durante el proceso

En el proceso de búsqueda de las causas asignables (en el caso de que el proceso fuese inestable tras el uso de EARTH), se tratará su identificación a través de los valores de rendimiento y atención obtenidos, así como buscar una relación de sus resultados con el estado de ánimo previo del tripulante (EARTH Evaluation). De esta manera, que un proceso sea inestable quizá haya sido causa de que algún tripulante o tripulantes hayan obtenido un rendimiento anormalmente bajo durante la misión o en algún día en particular, o bien su capacidad de atención no ha sido la adecuada durante el proceso de realización de los test. Si esto fuese así, la mejora a implantar puede presentarse con dos vías: que el tripulante/s en cuestión mejoren su rendimiento y/o atención (ha podido afectarles una enfermedad, cansancio o estado de ánimo previo al estudio) o bien identificar que algún tripulante no es una persona adecuada para llevar a cabo misiones de simulación donde las situaciones de confinamiento y aislamiento afectan a su capacidad cognitiva de manera notable.

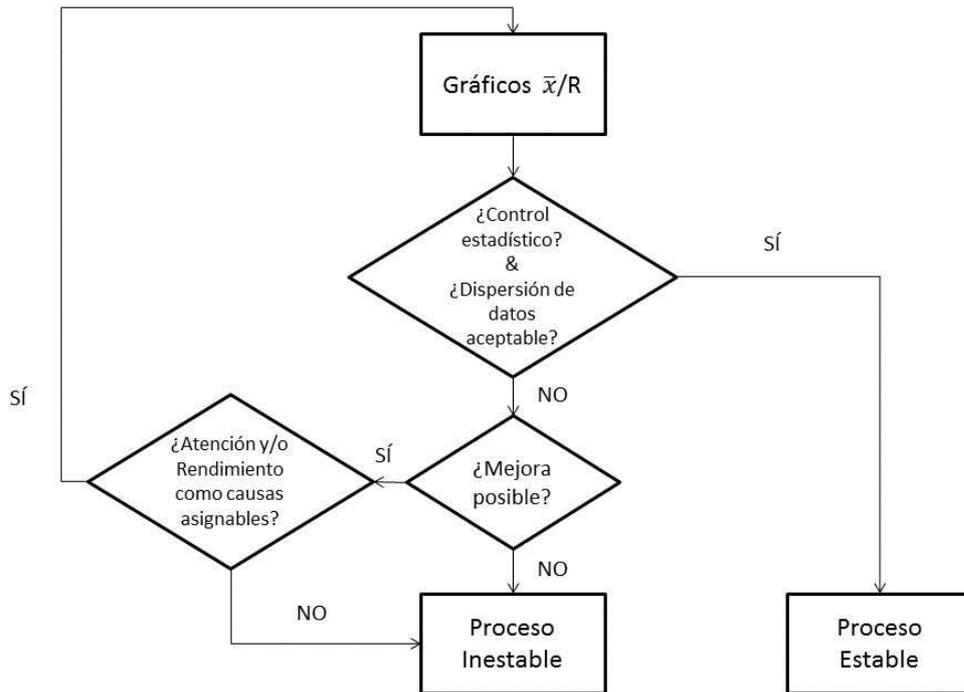


Figura 4.17. Esquema del proceso de identificación de la estabilidad del proceso

Sólo en el caso de que, tras el uso de EARTH of Wellbeing, el proceso sea estable, o tras la eliminación de las causas asignables éste se haya convertido en estable, podrá analizarse la capacidad del proceso.

iii. Análisis de la capacidad del proceso:

Para la capacidad del proceso, tal y como se ha descrito en el punto 4.6, el libro Excel reflejará los resultados de los índices  $cp$  y  $cpk$ , además de indicadores a modo de semáforo dependiendo de sus resultados y un mensaje para conocer la capacidad o no del proceso antes y después del uso de EARTH of Wellbeing. De esta manera, la identificación del proceso de capacidad será de manera inmediata y visual.

Al igual que se hizo en el proceso de estabilidad, en el caso de que los resultados reflejen una inestabilidad del sistema, habrá que identificar si existe la posibilidad de mejorar el proceso para que éste se convierta en capaz. Primeramente habrá que conocer si los resultados de rendimiento y evolución de la atención son las causas asignables a ese resultado negativo y, en el caso de ser así, realizar las modificaciones pertinentes para intentar centrar el proceso o convertirlo en capaz. En el caso de que las variables rendimiento y atención no justifiquen las causas de la incapacidad del proceso, habría que analizar si la causa principal es debida a que este proceso en su conjunto no es lo suficientemente robusto (y por lo tanto tomar medidas oportunas para integrar las mejoras necesarias en el Proyecto). De esta manera, una de las conclusiones a las que podría llegarse es que los métodos utilizados para el

desarrollo de este Proyecto no serían los adecuados: el casco Neurosky Mindwave establece errores de medición variantes en cada uno de sus usos, el test utilizado para la medición de rendimiento cognitivo no analiza los resultados que se requieren para los objetivos del Proyecto, etc.

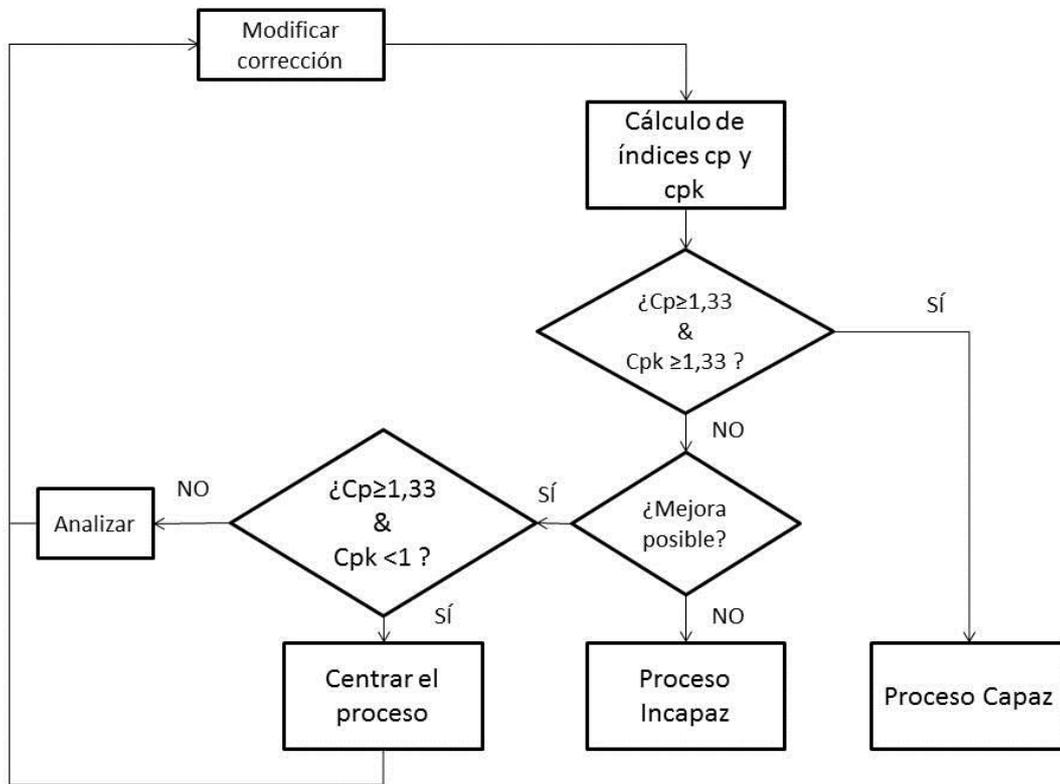


Figura 4.18. Esquema del proceso de identificación de la capacidad del proceso

## 5. RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados de este Proyecto Final de Carrera ante tres usuarios que fueron sometidos al proceso detallado expuesto a lo largo de esta memoria. El estudio y la toma de datos se llevaron a cabo, como se pretende en las misiones, durante dos semanas en las que sólo durante la segunda semana se hizo uso del software EARTH of Wellbeing. Sin embargo, debido a que los usuarios no se encontraban en la situación adecuada para este estudio, como en una misión de simulación en modo de confinamiento (motivo por el cual no se ha hecho uso de la aplicación EARTH Evaluation), y el número de muestra es insuficiente, los resultados a continuación mostrados y la extracción de conclusiones sólo deben de tenerse en cuenta como ejemplo de diferentes escenarios que podrían surgir como resultados del Proyecto, pero no serán conclusiones definitivas en cuanto a la influencia de EARTH sobre la tripulación en misiones de simulación. En este ejemplo, se ha evaluado la influencia del módulo “El Parque del Bienestar” de EARTH of Wellbeing, que fue utilizado treinta minutos al día por cada tripulante durante la segunda semana.

- Usuario 1:



Figura 5.1 Resultado de la mejora del rendimiento del usuario 1

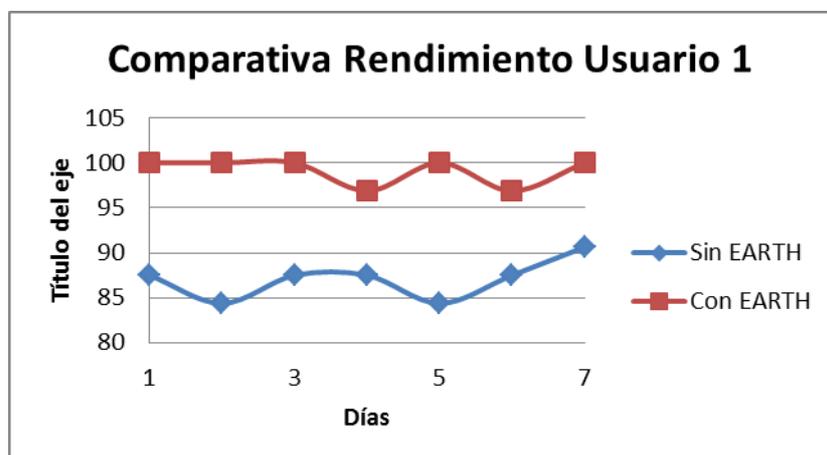


Figura 5.2. Gráfica del rendimiento del usuario 1 durante las dos semanas de estudio



Figura 5.3. Resultado de la mejora de la capacidad de atención del usuario 1

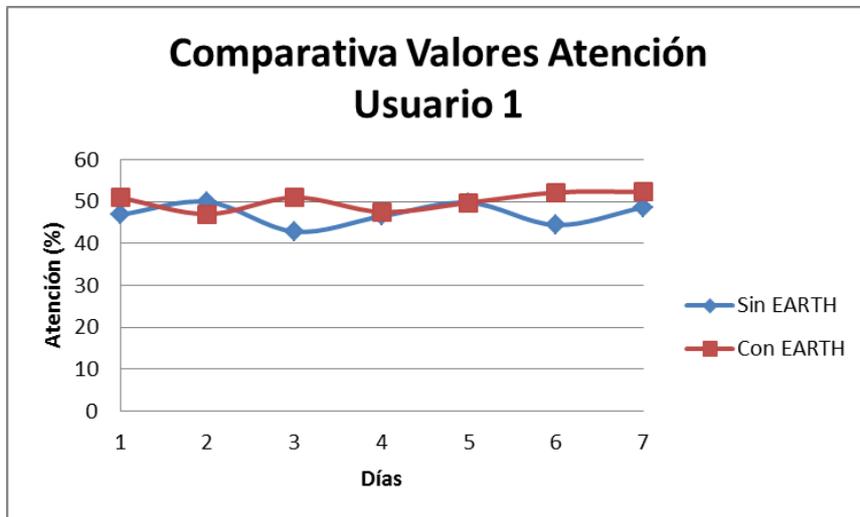


Figura 5.4. Gráfica de la atención del usuario 1 durante las dos semanas de estudio

Usuario 1	¿Mejora?	Valor promedio (%)
Rendimiento	Sí	14%
Atención	Sí	7%

Tabla 5.1. Resumen de los resultados del usuario 1

*Desarrollo de una herramienta para el análisis de datos cognitivos mediante una interfaz cerebro-computador*

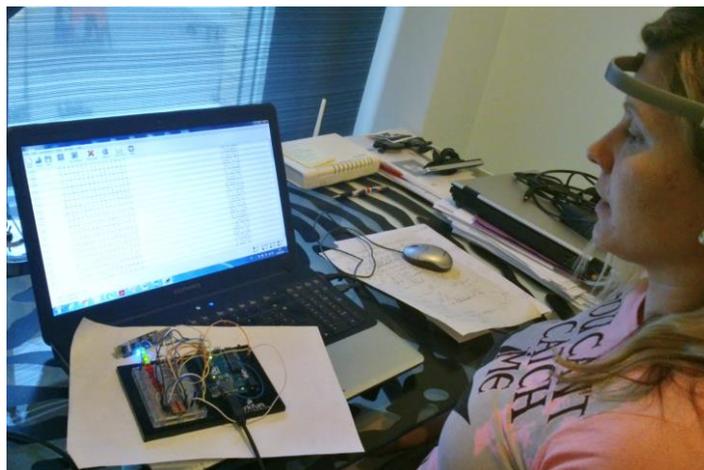


Figura 5.5. Usuario 1 en el proceso de verificación de recepción de datos EEG

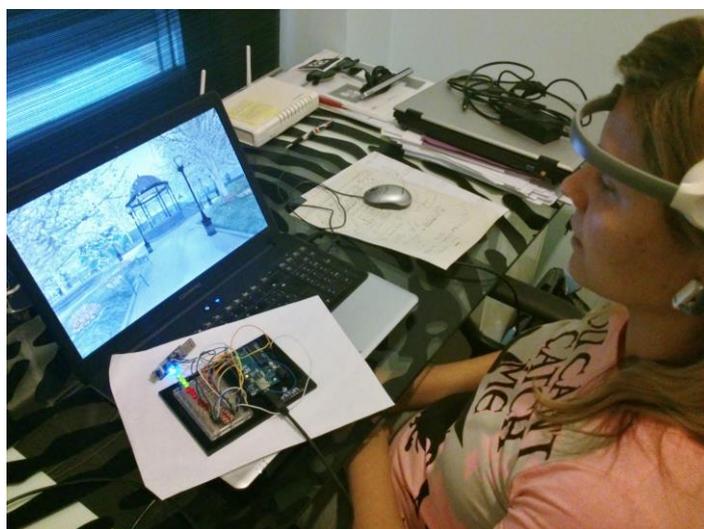


Figura 5.6. Usuario 1 en el proceso de uso de EARTH of Wellbeing (módulo El Parque del Bienestar en la foto)



Figura 5.7. Usuario 1 en el proceso de resolución del test Stroop

- Usuario 2:



Figura 5.8 Resultado de la mejora del rendimiento del usuario 2

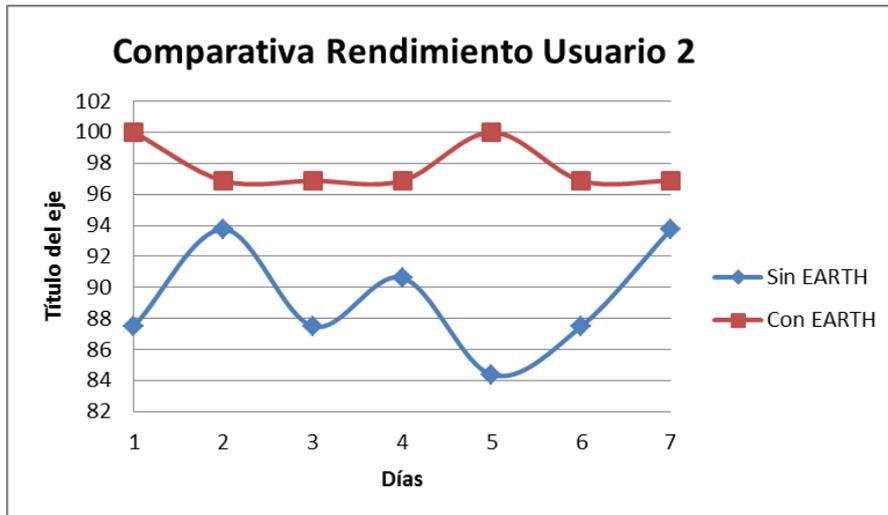


Figura 5.9. Gráfica del rendimiento del usuario 2 durante las dos semanas de estudio



Figura 5.10. Resultado de la mejora de la capacidad de atención del usuario 2

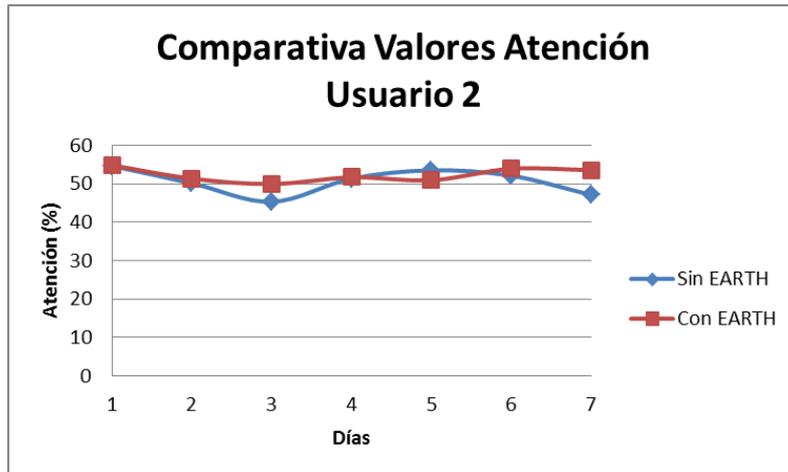


Figura 5.11. Gráfica de la atención del usuario 2 durante las dos semanas de estudio

Usuario 2	¿Mejora?	Valor promedio (%)
Rendimiento	Sí	10%
Atención	Sí	4%

Tabla 5.2. Resumen de los resultados del usuario 2



Figura 5.12. Usuario 2 en el proceso de verificación de recepción de datos EEG

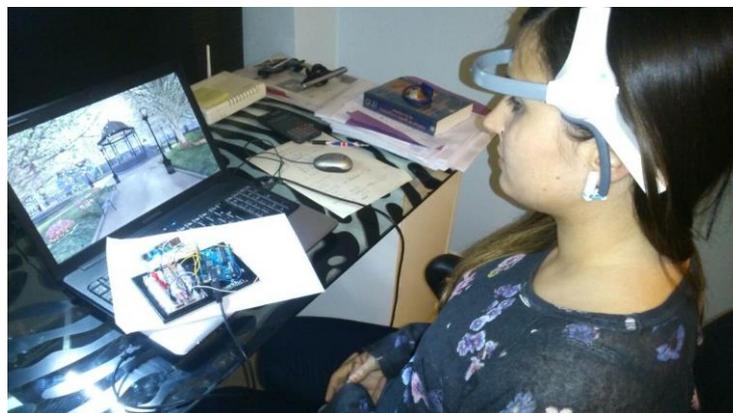


Figura 5.13. Usuario 2 en el proceso de uso de EARTH of Wellbeing (módulo El Parque del Bienestar en la foto)

- Usuario 3:



Figura 5.14 Resultado de la mejora del rendimiento del usuario 3

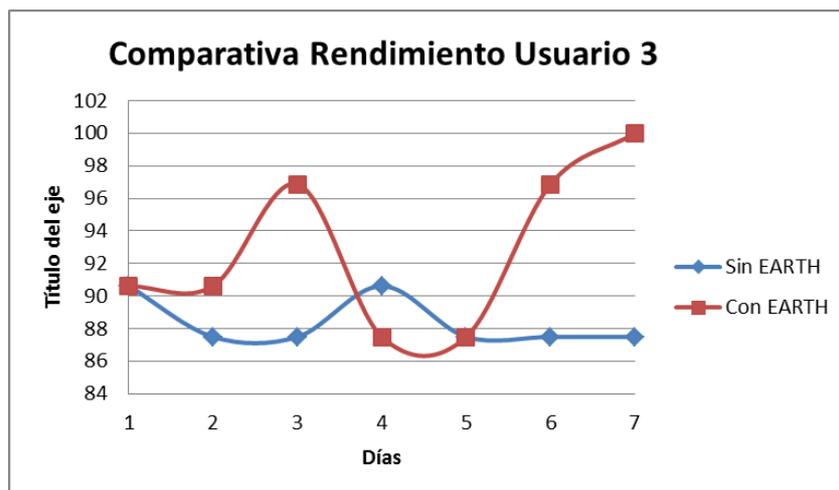


Figura 5.15. Gráfica del rendimiento del usuario 3 durante las dos semanas de estudio



Figura 5.16. Resultado de la mejora de la capacidad de atención del usuario 3



Figura 5.17. Gráfica de la atención del usuario 3 durante las dos semanas de estudio

Usuario 3	¿Mejora?	Valor promedio (%)
Rendimiento	Sí	5%
Atención	No	0%

Tabla 5.3. Resumen de los resultados del usuario 3

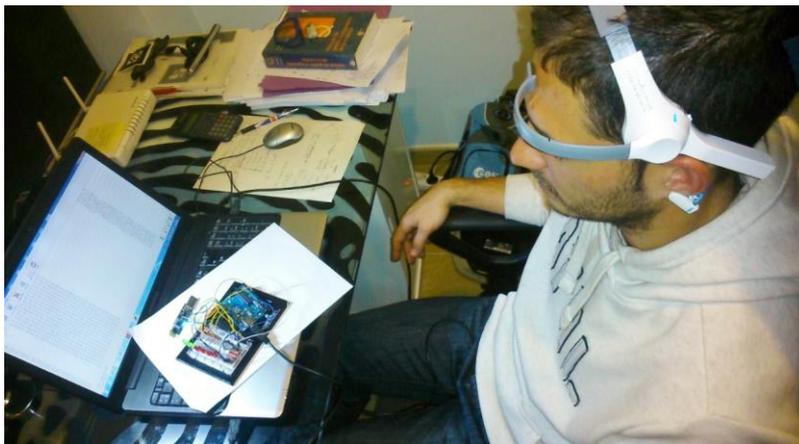


Figura 5.18. Usuario 3 en el proceso de verificación de recepción de datos EEG



Figura 5.19. Usuario 3 en el proceso de uso de EARTH of Wellbeing (módulo El Parque del Bienestar en la foto)

- Estabilidad del proceso (3 usuarios):

✓ Rendimiento:



Figura 5.20. Gráficas x media del rendimiento



Figura 5.21. Gráficas R del rendimiento

<i>Estabilidad Rendimiento Sin EARTH/ Con EARTH</i>	Punto fuera de los límites	Dos puntos consecutivos próximos línea control	Cinco puntos consecutivos encima o debajo límite central	Tendencia ascendente o descendente cinco puntos	Cambios bruscos de un límite a otro	
Gráfico $\bar{x}$	NO/NO	NO/NO	NO/NO	NO/NO	NO/NO	Bajo control estadístico
Gráfico R	NO/NO	NO/NO	NO/NO	NO/NO	SI/NO	Dispersión de datos aceptables tras EARTH
<b>Conclusiones</b>						<b>Proceso estable</b>

Tabla 5.4. Conclusiones de estabilidad del rendimiento sin/con EARTH

Como puede observarse en las gráficas de la Figura 5.20, el proceso está bajo control estadístico incluso durante la primera semana de estudio antes del uso de EARTH, manteniéndose este resultado de control tras la segunda semana. Sin embargo, el gráfico R correspondiente a la primera semana (Figura 5.21, gráfico de la izquierda) presenta, a pesar de no existir ningún punto fuera de los límites de control (motivo por el cual el mensaje en Excel es “Dispersión de datos aceptable”), cambios bruscos de un límite a otro (día 4), lo que haría que el proceso no tuviese comportamiento estable.

*Desarrollo de una herramienta para el análisis de datos cognitivos mediante una interfaz cerebro-computador*

Pero como puede apreciarse, estos cambios bruscos se corrigen tras el uso de EARTH (Figura 5.21, gráfico de la derecha), por lo que ya se habría identificado una mejora del proceso ante ese comportamiento inicial no deseado.

✓ Atención:

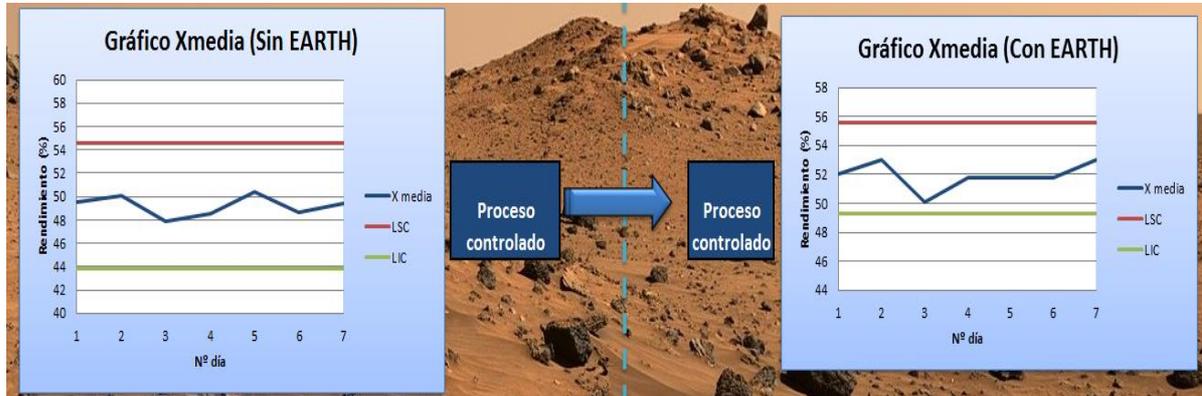


Figura 5.22. Gráficas x media de la atención

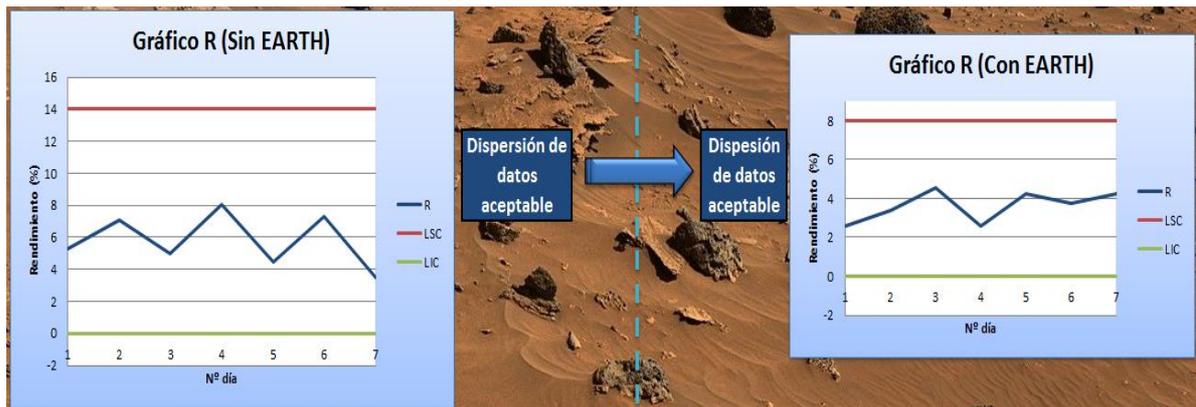


Figura 5.23. Gráficas R de la atención

<i>Estabilidad Atención Sin EARTH/ Con EARTH</i>	Punto fuera de los límites	Dos puntos consecutivos próximos línea control	Cinco puntos consecutivos encima o debajo límite central	Tendencia ascendente o descendente cinco puntos	Cambios bruscos de un límite a otro	
Gráfico $\bar{x}$	NO/NO	NO/NO	NO/NO	NO/NO	NO/NO	Bajo control estadístico
Gráfico R	NO/NO	NO/NO	NO/NO	NO/NO	NO/NO	Dispersión de datos aceptables
<b>Conclusiones</b>						<b>Proceso estable</b>

Tabla 5.5. Conclusiones de estabilidad de la atención sin/con EARTH

Como se presentan en los gráficos 5.22 y 5.23, el proceso de estabilidad en cuanto a atención presenta resultados positivos tanto en control estadístico como en dispersión de datos. No existe ningún comportamiento anómalo en dichas gráficas ni siquiera durante la primera semana de misión sin llegar a utilizar la aplicación EARTH. Además, la dispersión de datos tras la segunda semana de misión es menor (mejor comportamiento) que durante la primera semana (Figura 5.23, gráfico de la derecha).

✓ Conclusiones estabilidad:

Proceso estable con identificación de mejoras en los resultados de estabilidad tras el uso de EARTH of Wellbeing.

- Capacidad del proceso (3 usuarios):

✓ Rendimiento:



Figura 5.24. Resultados de la capacidad del proceso de rendimiento

Como puede observarse en la Figura 5.24, el proceso de rendimiento es incapaz durante las dos semanas de la misión. Sin embargo, EARTH of Wellbeing ha reflejado una leve mejora en el proceso de capacidad, ya que tras la segunda semana el índice cp es mayor que el valor unidad. Este caso ( $cp > 1,33$  y  $cpk < cp$ ) corresponde a un proceso que puede volverse capaz a través de una centralización de la variable rendimiento (ver apartado 4.6). Esto podría hacerse con una mejora del rendimiento de alguno de los tripulantes, es decir, que al tratar de identificar alguna causa asignable a este resultado, podría justificarse al hecho de que el usuario 3 ha obtenido una mejora de rendimiento (5%) bastante inferior al resto de usuarios 1 y 2 durante el estudio (14% y 10% respectivamente).

✓ Atención:



Figura 5.25. Resultados de la capacidad del proceso de atención

En el caso del proceso de capacidad de la variable atención, puede comprobarse su incapacidad incluso tras la aplicación EARTH of Wellbeing, es decir, que en ambas semanas tanto cp como cpk se mantienen en valores inferiores al valor 1,33. Este resultado indica que el sistema en su conjunto falla, por lo que debe de identificarse si

la causa es proveniente de los valores de atención de algún tripulante o de todos ellos o, en caso contrario, indicaría que el sistema en su conjunto no es robusto (test no indicado, casco EEG no válido...). Si accedemos a los resultados de atención de los tres usuarios de este estudio ejemplo, podemos constatar que el usuario 3 no ha obtenido mejora en su capacidad de atención tras el uso de EARTH of Wellbeing. Además, si comprobamos las gráficas 5.4, 5.11 y 5.17, correspondientes a la evolución de la atención del usuario 1, usuario 2 y usuario 3 respectivamente, puede verificarse que el día 3 de misión de la primera semana, la capacidad de atención de los usuarios 1 y 2 es del nivel más bajo obtenido y que, a pesar de que esta atención mejora tras el uso de EARTH en el tercer día de la segunda semana, esto no ocurre con el usuario 3, quien durante ese día, no sólo obtiene el valor de atención más bajo de la misión, sino que además es significativamente mucho menor en comparación con su atención durante el tercer día de la primera semana de simulación. Por todo ello, podría concluirse que el resultado de producirse un proceso incapaz respecto a la variable de atención puede ser debido a la causa asignable de los resultados anómalos y bajos de atención del usuario 3 en conjunto con el del resto de usuarios durante el tercer día del estudio.

✓ Conclusiones capacidad:

El proceso de capacidad del estudio en general (tanto para rendimiento como para atención) es un proceso incapaz que no ha podido ser mejorado a través del uso de EARTH of Wellbeing. Inicialmente se identifica la causa asignable a los valores bajos de atención especialmente del usuario 3. Si, tras una repetición del estudio, existiese una mejora de la atención del usuario 3 que resultase en un proceso capaz o, tras la eliminación del usuario 3 del estudio también se apreciaran resultados positivos en el proceso de capacidad, no podría concluirse que el motivo de la incapacidad inicial del proceso fuese debido a que el sistema en su conjunto no sea robusto (variabilidad de toma de datos demasiado elevada), ya que la causa asignable habría sido eliminada.

• Conclusiones generales del módulo “El Parque del Bienestar”:

Este módulo, que induce a estados de relajación y alegría del usuario, ha influido positivamente en los sujetos de estudio en cuanto a la mejora de rendimiento cognitivo y capacidad de atención. Esta mejora se corresponde con un promedio de 9,7% en rendimiento cognitivo ( $(14\%+10\%+5\%)/3=9,7\%$ ) y un promedio de 5,5% ( $(7\%+4\%+0\%)/3=5,5\%$ ) en capacidad de atención.

En el proceso de análisis de estabilidad del estudio, “El Parque del Bienestar” resulta un proceso estable y, a pesar de que el proceso también era estable inicialmente, refleja una leve mejora en la tendencia de valores de control estadístico y dispersión de datos.

Es en el proceso de capacidad donde “El Parque del Bienestar” no ha conseguido eliminar la incapacidad del estudio durante la primera semana. A pesar de que se necesitaría un número de muestra mucho mayor, parece que inicialmente el origen de este resultado no se debe a la robustez del sistema, sino a los resultados

desfavorables especialmente de un usuario y a los valores bajos de atención de todos usuarios coincidentes en el tercer día tanto de la primera como de la segunda semana de estudio.

## 6. MODELO DE NEGOCIO DE STARS

El proyecto técnico “Desarrollo de una herramienta para el análisis de datos cognitivos mediante una interfaz cerebro-computador” descrito en esta memoria, tiene su ubicación para su implementación y desarrollo dentro del proyecto empresarial denominado STARS (Space Tourism and Analogue Research Station), cuyo Producto Mínimo Viable (PVM), para contrastar el modelo de negocio, son los programas de misiones de simulación “Mars Simulated Missions” (MSM). Puesto que estos programas MSM deben de crearse con una inversión mucho inferior a la necesaria para la constitución de STARS, este Proyecto Fin de Carrera deberá de encajar en dichas misiones de simulación a través de un coste bajo que justifique la reducida financiación interna que deberían de aportar los propios gestores de MSM (entre los que se encuentra el proyectando) en el que caso de que éstos desarrollen un experimento dentro de los programas de simulación espacial.

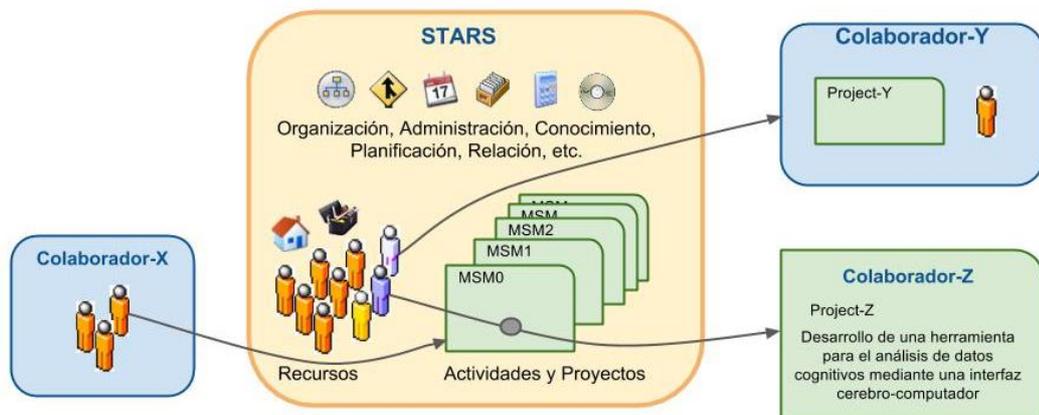


Figura 6.1. Esquema de flujo de proyectos y actividades en STARS

Como puede observarse en la Figura 6.1 superior, las opciones de colaboración del personal (ya sea de gestión, voluntariado, administración, etc) dentro de STARS puede tener tres vías:

- Colaborador X: personal que no pertenece a STARS y colabora en las actividades y proyectos de MSM.
- Colaborador Y: personal que pertenece a STARS y colabora en el desarrollo de algún proyecto de dicho proyecto empresarial sin tener que haber colaborado previamente en los programas MSM.
- Colaborador Z: personal que pertenece a STARS y desarrolla algún proyecto o actividad para dicho proyecto empresarial, habiéndolo hecho previamente durante las misiones MSM. Este es el caso del Proyecto presentado en esta memoria por el proyectando.

Al ser de elevada importancia tratar en esta memoria no sólo el Proyecto técnico expuesto en los capítulos anteriores, sino también el proyecto empresarial en el que se pretende ubicar el experimento del proyectando, se expone en este capítulo 6 algunos aspectos del modelo de negocio de STARS.

## 6.1. Resumen y Business Model Canvas

### ¿Qué es STARS?:

STARS, o “Estación Análoga para Investigación y Turismo Espacial” es un complejo que ofrecerá misiones de simulación espaciales tripuladas, divulgación científica y ocio relacionado con la experiencia de entrenamiento de astronauta hacia toda la sociedad.

Desde los más pequeños a los adultos más intrépidos podrán formarse como astronautas, tener acceso al control de misión durante una misión de simulación, probarse un traje espacial real, aprender a manejar el control de mandos de una nave espacial, realizar reparaciones de réplicas de la Estación Espacial Internacional bajo una piscina de flotabilidad neutra, entrenamientos de supervivencia extrema, embarcarse en simuladores virtuales que permitirán sentirse estar en el Espacio en ingravidez, acceso a museos espaciales, comer y alojarte en un entorno espacial, etc. STARS permitirá a los visitantes sumergirse en una experiencia especial auténtica, sintiendo en primera mano el entrenamiento y estilo de vida de un astronauta y asistiendo a investigaciones y misiones de entrenamiento reales, en el más complejo ambiente de simulación espacial para misiones de larga duración.



Figura 6.2. Logo de STARS

### ¿Cuáles son los objetivos?:

- Que ciertas experiencias no sean sólo accesibles a una parte muy pequeña de la sociedad (astronautas y turistas espaciales).
- Desarrollar, probar e integrar tecnologías necesarias para la exploración humana planetaria y su colonización.
- Diseminar el conocimiento e interés por la exploración espacial.
- Dar soporte a proyectos de investigación y organizaciones coordinando actividades, optimizando recursos y explotando resultados.
- Adaptar y transferir tecnologías espaciales para la mejora de la vida en la Tierra y viceversa.
- Crear y explotar oportunidades de negocio.
- Fusionar investigación, divulgación, entretenimiento y ocio.

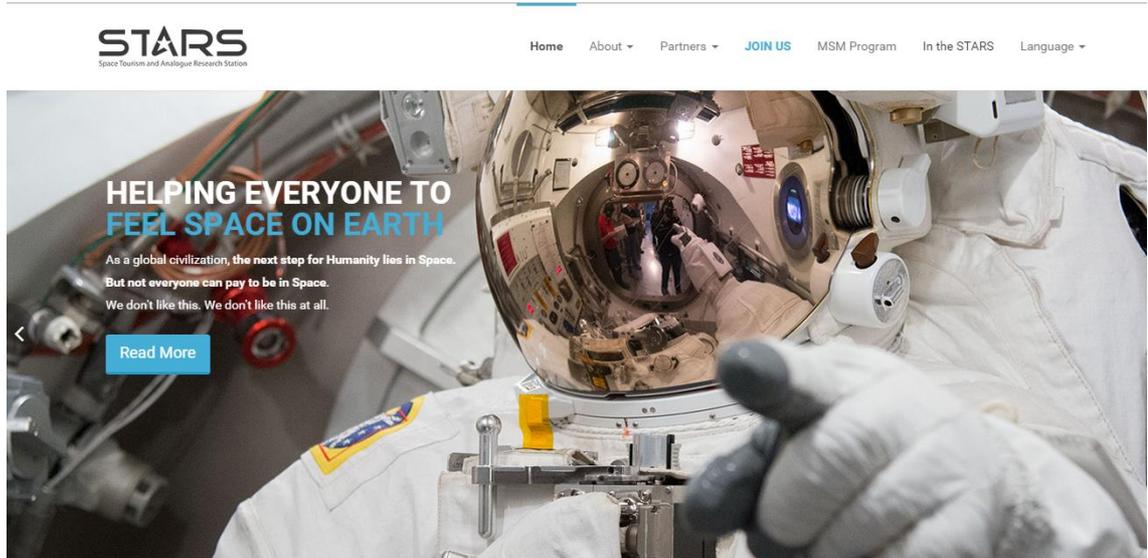


Figura 6.3. Imagen de la web oficial de STARS. Fuente: [www.joinstars.org](http://www.joinstars.org)

### ¿Cómo alcanzar dichos objetivos?:

Para alcanzar nuestros objetivos en STARS, nuestra primera herramienta es el programa Mars Simulated Missions (MSM). El programa MSM consiste en la realización de misiones simuladas a Marte para garantizar el éxito del primer viaje tripulado al planeta rojo. MSM es un medio para profundizar en el conocimiento a través de la investigación científica, tecnológica y de factores humanos que intervienen en ambientes extremos de nuestro planeta. MSM contribuirá a afrontar el complejo proyecto de viajar a Marte y preparar a sus futuros exploradores.

En MSM potenciamos la divulgación y la actividad en I+D espacial, proporcionando a estudiantes e investigadores los medios necesarios para llevar a cabo sus trabajos, a la vez que las entidades colaboradoras potencian su actividad en I+D.

Como antecedente y primera experiencia en relación a los programas MSM, contamos con MSM0, nuestra primera misión simulada de entrenamiento, que tuvo lugar en abril de 2013 en el análogo terrestre situado en el desierto de Los Monegros (Aragón) y cuyo resultado fue un completo éxito tanto a nivel científico como por la amplísima difusión alcanzada.



Figura 6.4. Campo base y tripulantes en la misión MSM0

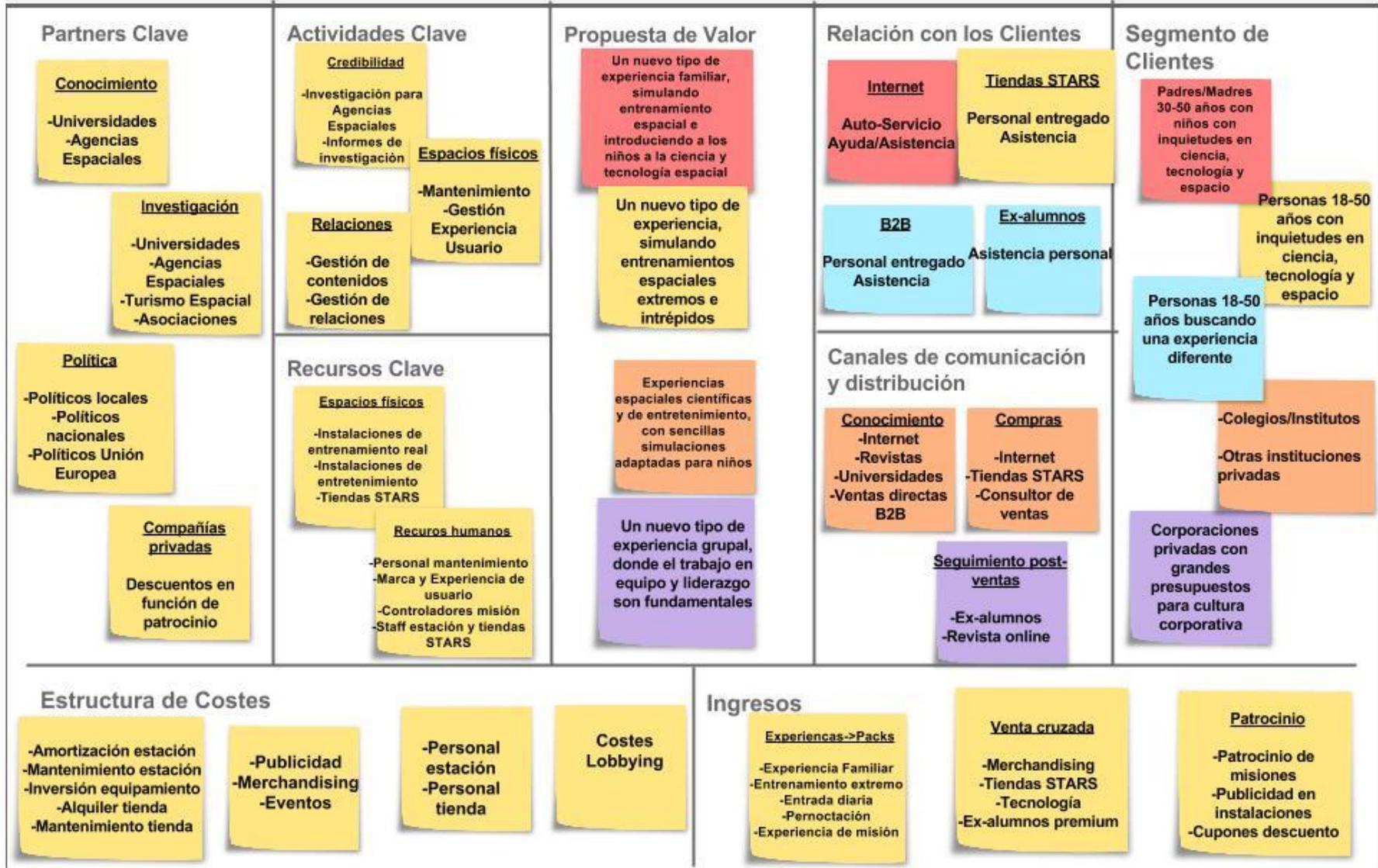
Para el resto de cuestiones relacionadas al modelo de negocio (ingresos, estructura de costes, clientes...), se expone en la página siguiente el Business Model Canvas de STARS.

# Business Model Canvas

Diseñado por:  
**Jonatan Peris Rivas**

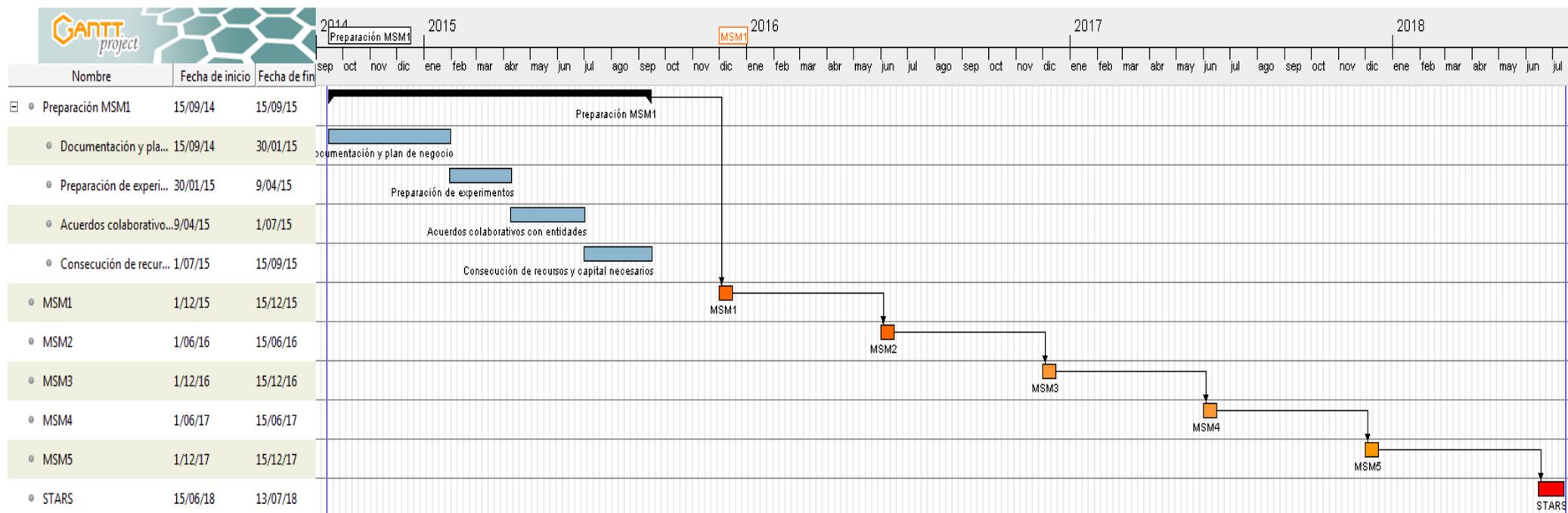
Diseñado para:  
**STARS**

En: 20/02/2015  
Memoria PFC



## 6.2. Diagrama de Gantt

Como puede apreciarse en el diagrama de Gantt inferior, la primera misión del programa MSM (si consideramos MSM0 como misión de entrenamiento), pretende llevarse a cabo a finales de 2015. Tras esta primera misión, y la adquisición de experiencia, recursos y personal necesario, se prevé una nueva misión cada seis meses. Se estima que tras la quinta misión será factible comenzar a cumplir los objetivos del proyecto empresarial tras su constitución (mediados del año 2018). Estas cinco misiones coinciden con el número mínimo de misiones necesarias para extraer conclusiones científicamente válidas en cuanto al Proyecto propuesto en esta memoria (número de muestra 30; 6 tripulantes por misión)



### **6.3. Estudio Económico**

A continuación se presenta un estudio económico de la denominada “primera fase” de STARS. Esta fase del proyecto empresarial, que correspondería a la relacionada tras la finalización del último PVM representado en el diagrama de Gantt del apartado anterior como MSM5, se considera como la correspondiente al proyecto empresarial de viabilidad mínima que permitirá ofrecer los servicios propuestos en el modelo de negocio de STARS con la rentabilidad y suficiente calidad como para permitir un crecimiento en inversión, infraestructuras y ampliación de servicios hasta poder alcanzar la visión más ambiciosa que el equipo de STARS pretende instaurar. Esta última fase de mayor amplitud requeriría una inversión estimada de en torno a 10.000.000€, en las que se incluirían activos como un museo espacial, alojamientos, restaurantes, tiendas, centro de visitantes y mayores equipamientos para las actividades de entrenamiento de astronautas. Estos activos citados, tal y como puede observarse en la tabla de la página siguiente “Plan de Inversión STARS”, o bien no están incluidos para esta primera fase, o bien su capacidad de inversión es menor.

La primera fase de STARS presentada a continuación requeriría de una inversión estimada de 905.000€, y las principales líneas de negocio ofrecidas como servicio serían las misiones espaciales de simulación, entrenamientos espaciales abiertos al público y visitas guiadas.

Cabe destacar que el estudio económico de este apartado ha sido calculado para este Proyecto Fin de Carrera a través de hipótesis y estimaciones que aún no han podido ser contrastadas mediante ningún servicio de PVM previo a la redacción de esta memoria. Por ello, los resultados finales reales del proyecto pueden diferir considerablemente en sentido positivo o negativo en cuanto a la rentabilidad de la propuesta empresarial.



### Cronograma de Inversión STARS

	Inversión previa	Año 1												Año 2
		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	
Inversión [€]	(731.667)	(11.667)	(11.667)	(8.333)	(8.333)	(8.333)	(15.000)	(100.000)	(5.000)	(5.000)	0,00	0,00	0,00	0,00
Amortización [€]		(10.250)	(10.250)	(10.250)	(10.250)	(10.250)	(10.250)	(10.550)	(12.450)	(12.450)	(12.450)	(12.450)	(12.450)	(149.400)

Inversión	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,1	50000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,2	15000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,3	35000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,4	0	0	0	0	0	0	15000	15000	0	0	0	0	0
1,5	200000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,6	135000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,7	100.000,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,1	0	0	0	0	0	0	0	80000	0	0	0	0	0
2,2	150000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.3.1.	3333,333333	3333,333	3333,333	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.3.2.	0	0	0	0	0	0	0	5000	5000	5000	0	0	0
2.3.3.	35000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.3.4.	8333,333333	8333,333	8333,333	8333,333	8333,333	8333,333	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Amortización	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,1	0	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
1,2	0	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
1,3	0	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350
1,4	0	0	0	0	0	0	0	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
1,5	0	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
1,6	0	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350
1,7	0	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
2.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,1	0	0	0	0	0	0	0	0	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600
2,2	0	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
2,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.3.1.	0	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
2.3.2.	0	0	0	0	0	0	0	0	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
2.3.3.	0	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700
2.3.4.	0	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

## Plan de Financiación STARS

		Año 1											
	Inversión previa	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12
<b>Equity</b>													
Capital propio	15.000,00												
Business Angel Syndicate	40.000,00			40.000,00			40.000,00			40.000,00			40.000,00
Industrial Partner	250.000,00												
<b>Nota Convertible</b>	350.000,00	100.000,00											
<b>Préstamo público</b>	100.000,00	25.000,00			25.000,00			25.000,00			25.000,00		
	755.000,00	0,00	0,00	65.000,00	0,00	100.000,00	65.000,00	0,00	0,00	65.000,00	0,00	0,00	40.000,00

*Desarrollo de una herramienta para el análisis de datos cognitivos mediante una interfaz cerebro-computador*

Ingresos													
Axiomas													
Por cada misión de simulación se cobrará	30000	€ al mes											
Existirán misiones de simulación al menos	8	meses al año											
El coste subirá en el 2º año al menos	10	%											
Por cada visita se cobrará	20	€ por persona											
Referente a visitas, existirán, al menos	48	visitas al año											
Cada visita con una media de	20	participantes											
El crecimiento en el 2º año será de al menos	100	%											
Cada entrenamiento extremo costará	200	euros											
Referente a entrenamientos, existirán, al menos	16	por año											
El crecimiento en el 2º año será de al menos	30	%											
	<b>Año 1</b>												
	<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>	<b>M4</b>	<b>M5</b>	<b>M6</b>	<b>M7</b>	<b>M8</b>	<b>M9</b>	<b>M10</b>	<b>M11</b>	<b>M12</b>	<b>Año 2</b>
<b>Misiones de Simulación</b>	30.000,00	30.000,00	30.000,00	30.000,00					30.000,00	30.000,00	30.000,00	30.000,00	264.000,00
<b>Visitas</b>				3.200,00	1.600,00	3.200,00	4.800,00	6.400,00					38.400,00
<b>Entrenamientos</b>					800,00	800,00	800,00	800,00					4.160,00
<b>TOTAL</b>	30.000,00	30.000,00	30.000,00	33.200,00	2.400,00	4.000,00	5.600,00	7.200,00	30.000,00	30.000,00	30.000,00	30.000,00	306.560,00

Los servicios de entrenamientos espaciales y visitas guiadas se prevén llevarse a cabo durante los meses en los que no habría servicio de misiones de simulación. De esta manera, se aprovecharían las infraestructuras de estas misiones para ofrecer los servicios de entrenamientos abiertos al público. Esto justifica el hecho de “primera fase” de menor inversión en la que no sería necesario activos como un centro de visitantes. Además, se permitirán las visitas guiadas durante un mes al año dentro del período de actividad de misiones de simulación, que ofrecerá al visitante conocer de primera mano el trabajo y proceso de una misión espacial desde el centro de control de misión sin interferir en el desarrollo de la misma.

<b>Gastos</b>				
<b>Axiomas</b>				
El coste de mantenimiento subirá un		5	% en el segundo año	
Existirá un director general ganando		1800	€ netos	
Existirá un director técnico ganando		1500	€ netos	
Existirán	3	funcionarios ganando	800	€ netos
Gestoría		250	€ por mes (IVA inc.)	
Derecho		150	€ por mes (IVA inc.)	
Otros servicios de consultoria		250	€ por mes (IVA inc.)	
Otros gastos representan un		10	% del total	

	Año 1												Año 2	
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12		
<b>Sueldos y salarios</b>	(5.700)	(5.700)	(5.700)	(5.700)	(5.700)	(5.700)	(5.700)	(5.700)	(5.700)	(5.700)	(5.700)	(5.700)	(5.700)	
<b>Ssocial</b>	(1.995)	(1.995)	(1.995)	(1.995)	(1.995)	(1.995)	(1.995)	(1.995)	(1.995)	(1.995)	(1.995)	(1.995)	(1.995)	
<b>Servicios profesionales</b>	(650)	(650)	(650)	(650)	(650)	(650)	(650)	(650)	(650)	(650)	(650)	(650)	(650)	
<b>Primas de seguros</b>	(500)	(500)	(500)	(500)	(500)	(500)	(500)	(500)	(500)	(500)	(500)	(500)	(500)	
<b>telefonos</b>	(400)	(400)	(400)	(400)	(400)	(400)	(400)	(400)	(400)	(400)	(400)	(400)	(400)	
<b>Gtos Publicidad y propanganda.</b>	(150)	(150)	(150)	(150)	(150)	(150)	(150)	(150)	(150)	(150)	(150)	(150)	(150)	
<b>Reparacion y conservacion</b>						(2.400)								
<b>Suministros</b>	(1.500)	(1.500)	(1.500)	(1.500)	(1.500)	(1.500)	(1.500)	(1.500)	(1.500)	(1.500)	(1.500)	(1.500)	(1.500)	
<b>Otros gastos</b>	(1.090)	(1.090)	(1.090)	(1.090)	(1.090)	(1.330)	(1.090)	(1.090)	(1.090)	(1.090)	(1.090)	(1.090)	(1.090)	
<b>TOTAL</b>	(11.985)	(11.985)	(11.985)	(11.985)	(11.985)	(14.625)	(11.985)	(11.985)	(11.985)	(11.985)	(11.985)	(11.985)	(11.985)	

*Desarrollo de una herramienta para el análisis de datos cognitivos mediante una interfaz cerebro-computador*

Cash Flow 2 años		Año 1													Año 2
	Previo	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12		
Ingresos		30.000,00	30.000,00	30.000,00	33.200,00	2.400,00	4.000,00	5.600,00	7.200,00	30.000,00	30.000,00	30.000,00	30.000,00	306.560,00	
Inversión	(731.666,67)	(11.666,67)	(11.666,67)	(8.333,33)	(8.333,33)	(8.333,33)	(15.000,00)	(100.000,00)	(5.000,00)	(5.000,00)	0,00	0,00	0,00		
Gastos		(11.984,50)	(11.984,50)	(11.984,50)	(11.984,50)	(11.984,50)	(14.624,50)	(11.984,50)	(11.984,50)	(11.984,50)	(11.984,50)	(11.984,50)	(11.984,50)	(153.776,70)	
IVA				(26.450,24)			(16.420,64)			(16.538,24)			(26.450,24)		
Financiación	755.000,00	0,00	0,00	65.000,00	0,00	100.000,00	65.000,00	0,0000	0,0000	65.000,00	0,00	0,00	40.000,00		
Cash flow	23.333,33	29.682,17	36.031,00	84.262,93	97.145,10	179.227,27	202.182,13	95.797,63	86.013,13	147.490,40	165.505,90	183.521,40	215.086,66		

	Año 1	Año 2
EBITDA [€]	115.946,00	306.560,00
DA [€]	(134.300,00)	(149.400,00)
EBT [€]	(18.354)	138.806,00
Tax-loss carryforwards	--	(18.354)

En la tabla superior se presentan los resultados de flujo de caja para los dos primeros años, así como los valores de EBITDA (Beneficios antes de intereses, impuestos, depreciaciones y amortizaciones), DA (Depreciaciones y Amortizaciones) y EBT (Beneficios antes de impuestos). Como puede observarse, el EBT es negativo el primer año (situación esperada en el primer año de vida de la empresa), a diferencia de su resultado positivo tras las consideraciones de crecimiento de ingresos estimados para el segundo año.

## 7. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Tras realizar un estudio previo del proyecto “Desarrollo de una herramienta para el análisis de datos cognitivos mediante una interfaz cerebro-computador”, la resultante en cuanto a la “usabilidad” y utilidad de Arduino-Mindwave para mediciones de análisis cognitivos es muy positiva especialmente en lo referente a su implementación técnica, bajo coste e impacto científico en sus diversas aplicaciones. Sin embargo, es necesario mayor número de muestra que demuestre la fiabilidad de la toma de datos del casco Mindwave en cuanto a si los errores se encuentran siempre dentro de un mismo rango o presentan variaciones considerables. Para contrastar esto último, este Proyecto propone un estudio de “capacidad de proceso” que podría probar la no robustez del sistema en su conjunto (habría que demostrar que esta no robustez proviene del sistema referente al casco).

La primera impresión es su alta recomendación para el uso de estudios cognitivos donde lo relevante es realizar comparativas de datos, es decir, estudiar la evolución de los datos sin importar los valores numéricos en sí. En estos estudios de cognición, el protocolo de actuación y desarrollo matemático sería el mismo que el propuesto en esta memoria, con independencia de si la comparativa se realiza a través del análisis del uso de un software, una tarea física, un estímulo visual, etc. Por ello, y aunque este Proyecto Fin de Carrera aplica el estudio para misiones espaciales de simulación (ya que la comparativa se realiza a través de un software diseñado para estos fines), éste podrá ser extrapolado para el análisis cognitivo de estudiantes (a cualquier nivel), puestos de gran exigencia mental como directivos de empresas, deportistas, etc.

En lo referente a su uso en misiones espaciales de simulación, este Proyecto pretende llevarse a cabo no sólo durante los programas MSM previos a la constitución de STARS, sino también dentro de las misiones que se desarrollen dentro del proyecto empresarial, en el que podrán evaluarse con esta herramienta de bajo coste numerosos estudios de influencia cognitiva para situaciones adversas de astronautas en misiones espaciales reales, y cuyos resultados podrán transferirse a su aplicación terrestre para la mejora de nuestras vidas diarias.

## 8. REFERENCIAS

- [1] Blog oficial de la misión MSM0:  
<https://misionmarte.wordpress.com/>
- [2] Web oficial del satélite ESEO:  
[http://www.esa.int/Education/European\\_Student\\_Earth\\_Orbiter](http://www.esa.int/Education/European_Student_Earth_Orbiter)
- [3] Web oficial SUCCESS Student Contest:  
[http://www.esa.int/Our\\_Activities/Human\\_Spaceflight/Education/Space\\_station\\_Utilisation\\_Contest\\_Calls\\_for\\_European\\_Student\\_initiativeS](http://www.esa.int/Our_Activities/Human_Spaceflight/Education/Space_station_Utilisation_Contest_Calls_for_European_Student_initiativeS)
- [4] Publicaciones del proyectando:  
[“Localización y seguimiento de satélites artificiales”](#) y [“¿Podemos viajar a Marte?”](#)
- [5] Web oficial del proyecto MARS 500: [http://mars500.imbp.ru/en/index\\_e.html](http://mars500.imbp.ru/en/index_e.html)
- [6] Web oficial de STARS:  
[www.joinstars.org](http://www.joinstars.org)
- [7] Web oficial de The Mars Society España:  
<http://www.marssociety.org.es/>
- [8] Jonatan Peris. *¿Podemos viajar a Marte?* Editorial Bubok. Capítulo 9. Octubre 2013.
- [9] Web oficial del casco Mindwave de Neurosky:  
<http://developer.neurosky.com/docs/doku.php?id=mindwave>
- [10] Cristina Botella, Prof.; Rosa Baños, Full Professor; Ernestina Etchemendy, PhD; Azucena García-Palacios, Professor; Mariano Alcañiz, Full Professor. *Psychological countermeasures based on Positive Technology in manned space missions: The EARTH program for the Mars-500 project*. Manuscript Number: CHB-D-14-00909.
- [11] Tilo Pfeifer, Fernando Torres. *Manual de gestión e ingeniería de la calidad*. Editores Mira. Febrero 2002.
- [12] Douglas Vakoch. *Psychology of Space Exploration*. NASA History Series SP-2011-4411, Government Printing Office (GPO).

[13] Instrucciones de conexión Arduino-Mindwave:

[http://developer.neurosky.com/docs/doku.php?id=arduino\\_tutorial](http://developer.neurosky.com/docs/doku.php?id=arduino_tutorial)

[14] Guía de configuración Arduino-Mindwave:

[http://developer.neurosky.com/docs/doku.php?id=arduino\\_tutorial](http://developer.neurosky.com/docs/doku.php?id=arduino_tutorial)

[15] Las Ondas Cerebrales:

<http://www.ub.edu/pa1/node/130>

# ANEXOS

## ANEXO A. Código Arduino

```
////////////////////////////////////
// Interfaz Arduino-Mindwave
//
// PFC: “Desarrollo de una herramienta para el análisis de datos cognitivos mediante
una interfaz cerebro-computador”.
// Jonatan Peris
////////////////////////////////////

#define LED 13
#define BAUDRATE 115200
#define DEBUGOUTPUT 0

#define GREENLED1 3
#define GREENLED2 4
#define GREENLED3 5
#define YELLOWLED1 6
#define YELLOWLED2 7
#define YELLOWLED3 8
#define YELLOWLED4 9
#define REDLED1 10
#define REDLED2 11
#define REDLED3 12

// checksum variables
byte generatedChecksum = 0;
byte checksum = 0;
int payloadLength = 0;
byte payloadData[64] = {
  0};
byte poorQuality = 0;
byte attention = 0;
byte meditation = 0;

// system variables
long lastReceivedPacket = 0;
boolean bigPacket = false;

////////////////////////////////////
// Microprocessor Setup //
////////////////////////////////////
void setup() {

  pinMode(GREENLED1, OUTPUT);
  pinMode(GREENLED2, OUTPUT);
```

*Desarrollo de una herramienta para el análisis de datos cognitivos mediante una interfaz cerebro-computador*

```
pinMode(GREENLED3, OUTPUT);
pinMode(YELLOWLED1, OUTPUT);
pinMode(YELLOWLED2, OUTPUT);
pinMode(YELLOWLED3, OUTPUT);
pinMode(YELLOWLED4, OUTPUT);
pinMode(REDLED1, OUTPUT);
pinMode(REDLED2, OUTPUT);
pinMode(REDLED3, OUTPUT);

pinMode(LED, OUTPUT);
Serial.begin(BAUDRATE);      // USB

delay(3000) ;
Serial.print(194,BYTE) ;

}

////////////////////
// Read data from Serial UART //
////////////////////
byte ReadOneByte() {
  int ByteRead;

  while(!Serial.available());
  ByteRead = Serial.read();

#ifdef DEBUGOUTPUT
  Serial.print((char)ByteRead); // echo the same byte out the USB serial (for debug
purposes)
#endif

  return ByteRead;
}

////////////////////
//MAIN LOOP//
////////////////////
void loop()

// Look for sync bytes
if(ReadOneByte() == 170) {
  if(ReadOneByte() == 170) {

    payloadLength = ReadOneByte();
    if(payloadLength > 169) //Payload length can not be greater than 169
```

```

    return;
    generatedChecksum = 0;
    for(int i = 0; i < payloadLength; i++) {
        payloadData[i] = ReadOneByte(); //Read payload into memory
        generatedChecksum += payloadData[i];
    }

    checksum = ReadOneByte(); //Read checksum byte from stream
    generatedChecksum = 255 - generatedChecksum; //Take one's compliment of
generated checksum

    if(checksum == generatedChecksum) {

        poorQuality = 200;
        attention = 0;
        meditation = 0;

        for(int i = 0; i < payloadLength; i++) { // Parse the payload
            switch (payloadData[i]) {
                case 2:
                    i++;
                    poorQuality = payloadData[i];
                    bigPacket = true;
                    break;
                case 4:
                    i++;
                    attention = payloadData[i];
                    break;
                case 5:
                    i++;
                    meditation = payloadData[i];
                    break;
                case 0x80:
                    i = i + 3;
                    break;
                case 0x83:
                    i = i + 25;
                    break;
                default:
                    break;
            } // switch
        } // for loop

#if !DEBUGOUTPUT

        // *** Add your code here ***

```

*Desarrollo de una herramienta para el análisis de datos cognitivos mediante una interfaz cerebro-computador*

```
if(bigPacket) {
  if(poorQuality == 0)
    digitalWrite(LED, HIGH);
  else
    digitalWrite(LED, LOW);
  Serial.print("PoorQuality: ");
  Serial.print(poorQuality, DEC);
  Serial.print(" Attention: ");
  Serial.print(attention, DEC);
  if(attention > 40)
    digitalWrite(GREENLED1, HIGH);
  else
    digitalWrite(GREENLED1, LOW);

  Serial.print(" Time since last packet: ");
  Serial.print(millis() - lastReceivedPacket, DEC);
  lastReceivedPacket = millis();
  Serial.print("\n");

  switch(attention / 10) {
  case 0:
    digitalWrite(GREENLED1, HIGH);
    digitalWrite(GREENLED2, LOW);
    digitalWrite(GREENLED3, LOW);
    digitalWrite(YELLOWLED1, LOW);
    digitalWrite(YELLOWLED2, LOW);
    digitalWrite(YELLOWLED3, LOW);
    digitalWrite(YELLOWLED4, LOW);
    digitalWrite(REDLED1, LOW);
    digitalWrite(REDLED2, LOW);
    digitalWrite(REDLED3, LOW);
    break;
  case 1:
    digitalWrite(GREENLED1, HIGH);
    digitalWrite(GREENLED2, HIGH);
    digitalWrite(GREENLED3, LOW);
    digitalWrite(YELLOWLED1, LOW);
    digitalWrite(YELLOWLED2, LOW);
    digitalWrite(YELLOWLED3, LOW);
    digitalWrite(YELLOWLED4, LOW);
    digitalWrite(REDLED1, LOW);
    digitalWrite(REDLED2, LOW);
    digitalWrite(REDLED3, LOW);
    break;
  case 2:
    digitalWrite(GREENLED1, HIGH);
    digitalWrite(GREENLED2, HIGH);
```

```

digitalWrite(GREENLED3, HIGH);
digitalWrite(YELLOWLED1, LOW);
digitalWrite(YELLOWLED2, LOW);
digitalWrite(YELLOWLED3, LOW);
digitalWrite(YELLOWLED4, LOW);
digitalWrite(REDLED1, LOW);
digitalWrite(REDLED2, LOW);
digitalWrite(REDLED3, LOW);
break;
case 3:
digitalWrite(GREENLED1, HIGH);
digitalWrite(GREENLED2, HIGH);
digitalWrite(GREENLED3, HIGH);
digitalWrite(YELLOWLED1, HIGH);
digitalWrite(YELLOWLED2, LOW);
digitalWrite(YELLOWLED3, LOW);
digitalWrite(YELLOWLED4, LOW);
digitalWrite(REDLED1, LOW);
digitalWrite(REDLED2, LOW);
digitalWrite(REDLED3, LOW);
break;
case 4:
digitalWrite(GREENLED1, HIGH);
digitalWrite(GREENLED2, HIGH);
digitalWrite(GREENLED3, HIGH);
digitalWrite(YELLOWLED1, HIGH);
digitalWrite(YELLOWLED2, HIGH);
digitalWrite(YELLOWLED3, LOW);
digitalWrite(YELLOWLED4, LOW);
digitalWrite(REDLED1, LOW);
digitalWrite(REDLED2, LOW);
digitalWrite(REDLED3, LOW);
break;
case 5:
digitalWrite(GREENLED1, HIGH);
digitalWrite(GREENLED2, HIGH);
digitalWrite(GREENLED3, HIGH);
digitalWrite(YELLOWLED1, HIGH);
digitalWrite(YELLOWLED2, HIGH);
digitalWrite(YELLOWLED3, HIGH);
digitalWrite(YELLOWLED4, LOW);
digitalWrite(REDLED1, LOW);
digitalWrite(REDLED2, LOW);
digitalWrite(REDLED3, LOW);
break;
case 6:
digitalWrite(GREENLED1, HIGH);

```

*Desarrollo de una herramienta para el análisis de datos cognitivos mediante una interfaz cerebro-computador*

```
digitalWrite(GREENLED2, HIGH);
digitalWrite(GREENLED3, HIGH);
digitalWrite(YELLOWLED1, HIGH);
digitalWrite(YELLOWLED2, HIGH);
digitalWrite(YELLOWLED3, HIGH);
digitalWrite(YELLOWLED4, HIGH);
digitalWrite(REDLED1, LOW);
digitalWrite(REDLED2, LOW);
digitalWrite(REDLED3, LOW);
break;
case 7:
digitalWrite(GREENLED1, HIGH);
digitalWrite(GREENLED2, HIGH);
digitalWrite(GREENLED3, HIGH);
digitalWrite(YELLOWLED1, HIGH);
digitalWrite(YELLOWLED2, HIGH);
digitalWrite(YELLOWLED3, HIGH);
digitalWrite(YELLOWLED4, HIGH);
digitalWrite(REDLED1, HIGH);
digitalWrite(REDLED2, LOW);
digitalWrite(REDLED3, LOW);
break;
case 8:
digitalWrite(GREENLED1, HIGH);
digitalWrite(GREENLED2, HIGH);
digitalWrite(GREENLED3, HIGH);
digitalWrite(YELLOWLED1, HIGH);
digitalWrite(YELLOWLED2, HIGH);
digitalWrite(YELLOWLED3, HIGH);
digitalWrite(YELLOWLED4, HIGH);
digitalWrite(REDLED1, HIGH);
digitalWrite(REDLED2, HIGH);
digitalWrite(REDLED3, LOW);
break;
case 9:
digitalWrite(GREENLED1, HIGH);
digitalWrite(GREENLED2, HIGH);
digitalWrite(GREENLED3, HIGH);
digitalWrite(YELLOWLED1, HIGH);
digitalWrite(YELLOWLED2, HIGH);
digitalWrite(YELLOWLED3, HIGH);
digitalWrite(YELLOWLED4, HIGH);
digitalWrite(REDLED1, HIGH);
digitalWrite(REDLED2, HIGH);
digitalWrite(REDLED3, HIGH);
break;
case 10:
```

```
    digitalWrite(GREENLED1, HIGH);
    digitalWrite(GREENLED2, HIGH);
    digitalWrite(GREENLED3, HIGH);
    digitalWrite(YELLOWLED1, HIGH);
    digitalWrite(YELLOWLED2, HIGH);
    digitalWrite(YELLOWLED3, HIGH);
    digitalWrite(YELLOWLED4, HIGH);
    digitalWrite(REDLED1, HIGH);
    digitalWrite(REDLED2, HIGH);
    digitalWrite(REDLED3, HIGH);
    break;
  }
}
#endif
  bigPacket = false;
}
else {
  // Checksum Error
} // end if else for checksum
} // end if read 0xAA byte
} // end if read 0xAA byte
}
```

ANEXO B. Albarán experimento MSM0



IC NEURONIC S.L.



IC NEURONIC, S.L.  
 Calle Delta del Ebro, H-7, Parque Empresarial Centrovía,  
 50196, La Muela, Zaragoza, ESPAÑA  
 Teléfono: +34 976149531, Fax: +34 976141813  
 administración@icneuronic.com  
 www.icneuronic.com

# ALBARAN

Albarán No.	G 130009			
Fecha	27/03/2013			
Cliente	999.903			
Pedido				

DIRECCION DE ENVÍO	DIRECCION ALBARÁN
	IC Neuronic Dpto Comercial

Nº	REFERENCIA	DESCRIPCIÓN	GARANTÍA	CANTIDAD	UD	PRECIO	TOTAL
1	ICN01169	MEDICID FENIX: Equipo Base (NS) 12BNC00F1001		1,000	Ud	2.860,0000	2.860,00
2	ICN01707	Adaptador TP para gorro ECI de 20 canales		1,000	Ud	135,0000	135,00
3	ICN01486	Arnes cuerpo mediano 90701333		1,000	Ud	30,2500	30,25
4	M ECI E1-M	ELECTROCAP ROJO MEDIANO 54-58 CM		1,000	Ud	330,0000	330,00
5		Pasta conductora		1,000		9,6000	9,60
6		Pasta Abrasiva		1,000		7,8000	7,80
7		Electrodos de disco plata		6,000		66,0000	396,00
8		Gel conductor para cascos electroencefalografia		1,000		25,7000	25,70
9		Jeringuilla y aguja		1,000		1,5000	1,50



**NEURONIC**  
 IC NEURONIC S.L.  
 C.I.F. E-50995743  
 Delta del Ebro, nave H-7  
 50198 Pol. Centrovía LA MUELA - Zaragoza - España  
 Tel. +34 976 149 531 - Fax +34 976 141 813

**3.795,85 EUR**

Inscrita en el R.M. de Zaragoza, Tomo 1748, Folio 185, Hoja 2-15896, Inscripción 1era

Página 1 de 1

## ANEXO C. Guía de configuración Arduino-Mindwave

A continuación se presentan los pasos para la configuración del casco Neurosky Mindwave con la plataforma Arduino[14]:

1. Conectar el receptor de frecuencia RF USB dongle a la placa Arduino:
  - a) Quitar el plástico superior que cubre el USB dongle (paso *a* de la Figura C.2).
  - b) Una vez quitado el plástico, el esquema que se podrá ver es el mostrado en la Figura C.1 (vista inferior):

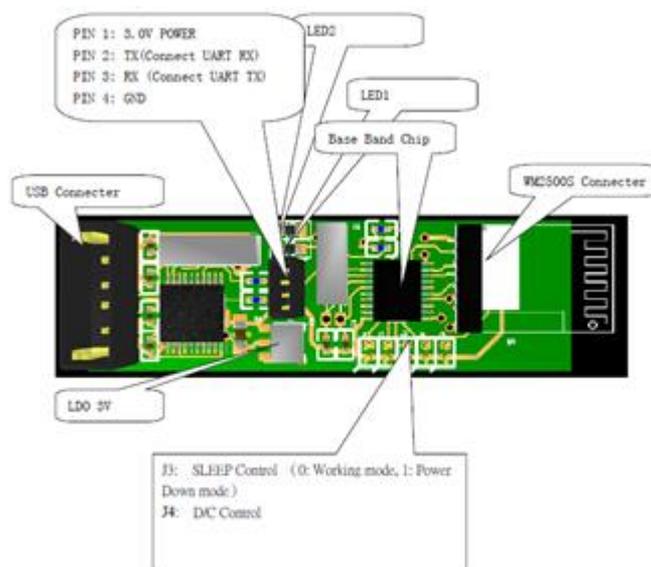


Figura C.1. Esquema de conexiones del RF USB dongle

- c) Identifica los 4 pines localizados en el centro de la placa del circuito (ver Figura C.1).
- d) Comenzando desde el final con el signo “+” la asignación de pines son:
  - I. Pin 1 (comenzando en el “+”): 3.0 V Power
  - II. Pin 2: TX
  - III. Pin 3: RX
  - IV. Pin 4: Ground
- e) Cortar dos trazas de conexión del USB dongle (paso *b* de la Figura C.2): Para que el USB dongle reciba correctamente la señal TX del Arduino, dos trazas de conexión deben ser cortadas. Mirando al USB desde la parte superior, hay dos trazas de conexión saliendo de los pines TX y RX desde el chip CH340. Utilizar una herramienta adecuada (cutter afilado o un X-Acto Knife).

*Desarrollo de una herramienta para el análisis de datos cognitivos mediante una interfaz cerebro-computador*

- f) Soldar los cables a estos 4 pines, dejando suficiente cable sobrante para los posibles ajustes (paso c de la Figura C.2).

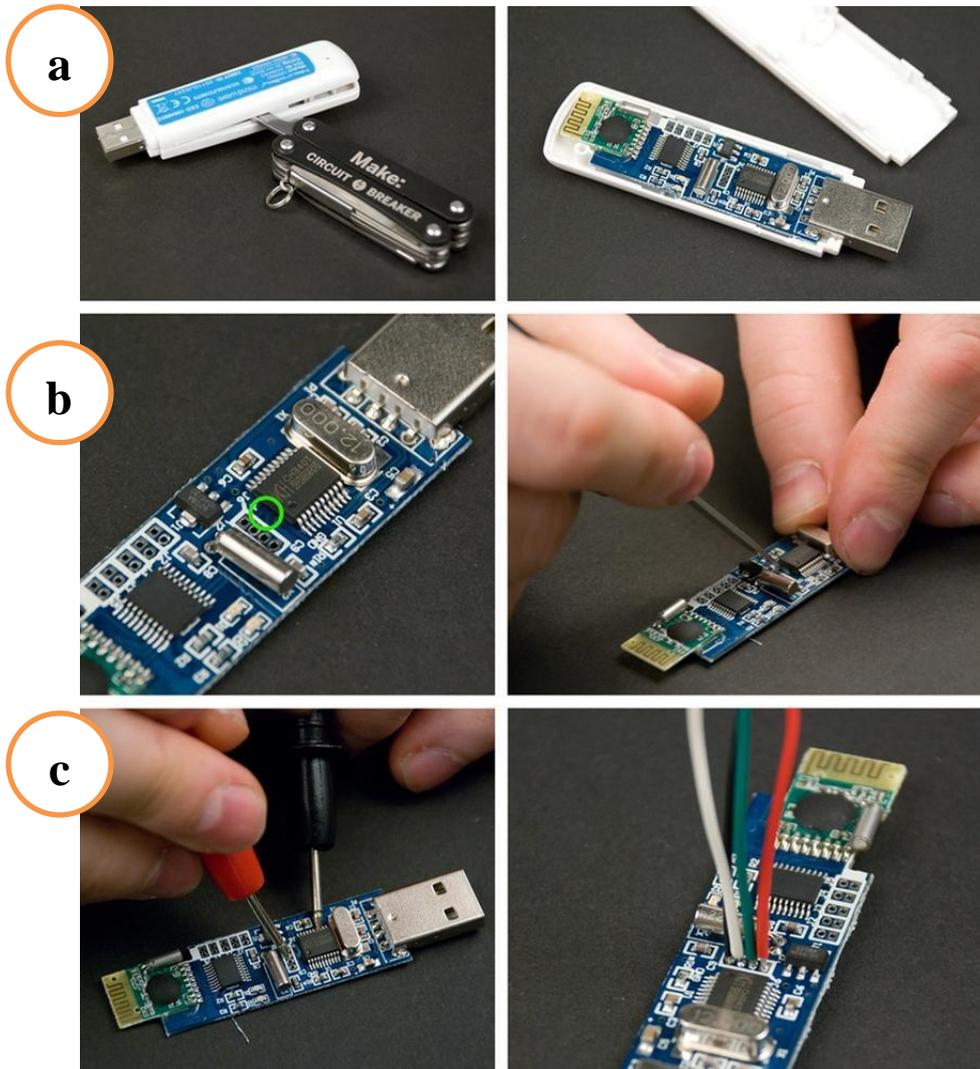


Figura C.2. Pasos de la preparación del RF USB dongle para Arduino

2. Sincronizar la placa Arduino:

- a) Abrir el entorno de Arduino en el programa con el código del proyecto.
- b) Herramientas->Tarjeta->Arduino Uno (seleccionar el modelo seleccionado para el proyecto en cuestión).
- c) Panel de control->Ver dispositivos->mirar en "Puertos" a qué puerto COM está conectado el Puerto Serie USB.
- d) Herramientas->Puerto Serial->seleccionar el correspondiente puerto COM.

3. Arranque del programa:

- a) Una vez sincronizado el programa y la placa Arduino, desconectar las líneas RX y TX que salen de la placa Arduino.
- b) Archivo->Cargar.
- c) Una vez el programa muestre "Carga completada", desconectar el cable USB.
- d) Reconectar las líneas TX y RX.
- e) Volver a conectar el cable USB.
- f) Arduino debería de encender su PWR Led en verde y el Led del USB dongle en rojo.
- g) Encender el casco Mindwave.
- h) Pretar el botón "Reset" de la placa Arduino.
- i) Una vez conectados, el casco Mindwave y la placa Arduino deberían de encender sus Leds en color azul.
- j) Comienza a observar tus valores de atención y meditación (ver apartado 4.1).

## ANEXO D. Electroencefalografía (EEG)

Nuestro cerebro [15] produce impulsos eléctricos (potenciales de acción) que viajan a través de nuestras neuronas. Estos impulsos eléctricos producen ritmos que son conocidos como ondas cerebrales. Los impulsos eléctricos son información que viaja de neurona a neurona haciendo uso de cientos de miles de ellas para lograr transportarse y ejecutar una función determinada. La actividad de las ondas cerebrales puede ser observada en un electroencefalograma o EEG.

Desde la invención del EEG se han producido numerosas investigaciones que han estudiado la relación entre las ondas cerebrales y los diferentes estados de conciencia. Sabemos que los diferentes patrones de ondas cerebrales se relacionan biyectivamente con diferentes estados de conciencia, tales como concentración intensa, estado de alerta (despierto), sueño profundo, sueños vívidos, somnolencia, relajación, hipnosis, estados alterados de conciencia, etc.

Existen cuatro tipos principales de ondas cerebrales: alfa, beta, theta y delta. A continuación se describen estos diferentes tipos de ondas cerebrales, en orden de mayor a menor actividad.

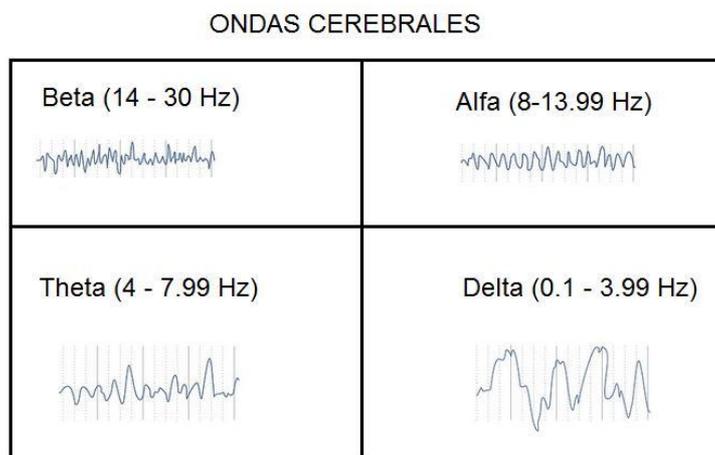


Figura D.1. Cuatro tipos de ondas cerebrales

### Ondas Beta

Se producen cuando el cerebro está despierto e implicado en actividades mentales. Son ondas amplias y las de mayor velocidad de transmisión de las cuatro. Su frecuencia oscila entre 14 y 30-35 Hz (ciclos por segundo o cps). Denotan una actividad mental intensa. Cuando una persona está dando un discurso, estudiando, realizando un problema de matemáticas, etc. su cerebro se encuentra emitiendo este tipo de ondas. Son este tipo de ondas las que se tienen en cuenta para los niveles de atención de este Proyecto Fin de Carrera a través del casco Mindwave.

### Ondas Alfa

Alfa representa un estado de escasa actividad cerebral y relajación. Estas ondas son más lentas y de mayor amplitud que las beta. Su frecuencia oscila entre 8 y 14 cps. Una persona que ha terminado una tarea y se sienta a descansar, se encuentra a menudo en un estado alfa; así como la persona que está dando un paseo, disfrutando del paisaje.

### Ondas Theta

Son ondas de mayor amplitud y menor frecuencia (entre 4 y 8 cps). Se alcanzan bajo un estado de calma profunda. La persona que está fantaseando (o soñando despierta), se encuentra en este estado, así como la persona que tras conducir un rato, de repente se da cuenta de que no recuerda como ha hecho los últimos kilómetros. Se dice que es un estado de inspiración de ideas y soluciones creativas. Se trata de un estado en el que las tareas realizadas se han automatizado, ya no se necesita tener un control atencional y consciente de su ejecución, pudiendo el sujeto distanciarse de ellas mentalmente. Es decir, que su mente esté en "otro sitio" (a veces decimos "en la luna").

### Ondas Delta

Son las ondas de mayor amplitud y menor frecuencia (entre 1,5 y 4 cps). Nunca llegan a cero, pues eso significaría la muerte cerebral. Se generan ante un estado de 'sueño profundo'.

Cuando nos vamos a dormir, las ondas cerebrales van pasando sucesivamente de beta a alfa, theta y finalmente, delta. Durante el sueño se producen ciclos que duran unos 90 minutos.

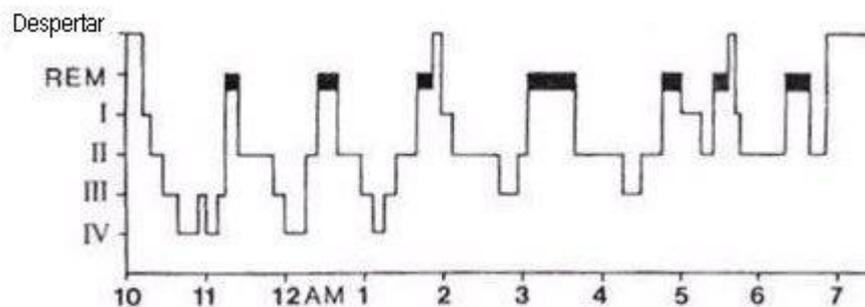


Figura D.2. Actividad cerebral durante el sueño

Cuando una persona despierta de un sueño profundo, la frecuencia de sus ondas cerebrales se va incrementando progresivamente, pasando de delta a theta, luego alfa y finalmente, beta. Durante este proceso de despertar, no es extraño que una persona permanezca en un estado theta durante un tiempo (por ejemplo, unos 15 minutos). Esto le permitirá tener un libre flujo de ideas, lo cual puede aportarle soluciones, ideas

*Desarrollo de una herramienta para el análisis de datos cognitivos mediante una interfaz cerebro-computador*

nuevas o nuevos puntos de vista, siendo este un estado especialmente creativo y productivo

Las investigaciones han mostrado que aunque un estado cerebral puede predominar en un momento dado, los tres tipos de ondas restantes están también presentes en todo momento. Es decir, mientras una persona está implicada en una actividad mental, produciendo ondas beta predominantemente, las ondas alfa, theta y delta se están produciendo también, aunque sólo estén mínimamente presentes.

## ANEXO E. Presupuesto estimado MSM1

A continuación se especifican los recursos mínimos necesarios para llevar a cabo la misión MSM1. Para poder realizar estudios acerca de los efectos de las condiciones de habitabilidad sobre la tripulación, pretendemos dotar al hábitat del mobiliario y sistemas auxiliares que permita optimizar el confort y seguridad. Para ello se aplicarán, entre otras, tecnologías domóticas e inmóticas.

### • EQUIPOS:

- Grupo electrógeno (Ejemplo: TECHNIC 3000, equipado con un motor Kohler): 500€
- Kit Híbrido Solar Eólico 3000W: 2.899,00 €
- Microondas de 15l: 100€
- Antena y transceptor (Dos, uno para la Base y otro para el Centro Control de Misión (CSM); Ejemplo: Quantis): 3000 €
- Router para conexión de red local (usando Wi-Fi local para evitar cableado): 100€
- Portátiles (Posiblemente personales): 500 €
- Walkie-talkies (3): 30 € c/u



### • INSTALACIONES (Mobiliario y menaje):

- Cúpulas (Precios para cada cúpula. Son 3):

Tubo galvanizado de 30mm diámetro: 6 metros – 11,22 € c/u

Tubo galvanizado de 40mm diámetro: 6 metros – 14,46 € c/u

Tornillos y tuercas de 10mm de diámetro x 50mm de largo: 61 unidades-- 15 €

*Desarrollo de una herramienta para el análisis de datos cognitivos mediante una interfaz cerebro-computador*

Arandelas: 122 unidades – 10 €

Cubierta: 300 €

- WC químico tipo cabina: 1500 €
- Toallas húmedas para aseo personal: 50 €
- Mesas; burras y tableros, 6 pequeñas y 1 grande: 150 €
- Sillas (15): 225,00€
- Lámparas de sodio a baja presión (15): 300,00 €
- Sacos de dormir/literas (15), 70x15: 1050,00 €
- Tres (Separación selectiva) contenedores pequeños de residuos/basuras:  
80 x 3 = 240,00 €

• MATERIALES:

- Gasolina sin plomo 95 para el grupo electrógeno: 1,475 €/l → 1,3 l/h x 8 h/d x 7 d = 41,60 litros → 72,80 €
- Papel higiénico. Paquete de 12 rollos: 120,00 €
- Servilletas de papel. Dos paquetes de seis rollos: 10 €
- Bidones de agua potable (dependiente del número de días). Si 7 días → 112 litros (14 garrafas de 8 litros) → Entre 6 y 8 euros: 112 €
- Bidones de agua para aseo y limpieza (dependiente del número de días). Si 7 días  $100 \times 12 \times 7 = 840$  (60 bidones de 20 litros diarios): 87,5 €
- Comida: latas, precocinada (Cantidad dependiente del número de días y número definitivo de participantes): 500,00 €
- Platos, vasos, cubiertos (dependiente del número de días y del tipo de comida): 80 €
- Parches: Pendiente de cantidad final necesaria.

• OTROS RECURSOS:

- Gastos de desplazamientos y estancias (Personal CSM). Depende de la ubicación del CSM: (12 €/día x 6 personas) 504,00 €
- ATVs (Quads): Tres. Se intentará conseguir cedidos en préstamo
- Trajes de trabajo: Monos (Quince), cascos (Tres), botas (Quince), y guantes (Tres) (20x15+1500x3): 4.800,00 €
- Cámara de video: cedida en préstamo
- Mini nevera (dependiente del tiempo/meteorología y del tipo de comida), Ejemplo: Mini frigorífico Minicool 60 litros Dometic negro: 100 €
- Ducha portátil: 250 €
- 50 carteles tamaño A3 y 500 trípticos para publicidad: 650 €
- Bandera de MSM1 para el campamento: 6 €

**TOTAL PARCIAL: 19.014,68 + 2%= 19.349,97 €**

El coste estimado de MSM1 es entonces de 20.000,00 euros (excluido equipos para enlace satelital).

*Desarrollo de una herramienta para el análisis de datos cognitivos mediante una interfaz cerebro-computador*