

# Proyecto Fin de Carrera

Análisis de datos y detección de patrones en series temporales de interacción social. Aplicación al diagnóstico y monitorización en patologías de reconocimiento y empatía.

Autor


Eduardo Iván Casco Catalán

Director

Manuel González Bedia

Escuela de Ingeniería y Arquitectura  
2016





A mi hermana.  
*No dejes de luchar por tus sueños, al final conseguirás hacerlos realidad.*



## Agradecimientos

A Manuel, por confiar en mí.

A Manuel, a David, a Tomás y a Carlos.  
*Por vuestro tiempo, vuestra paciencia y vuestras palabras. No fue fácil dar los primeros pasos.*  
A Emilio y a Yolanda, por atender con diligencia y profesionalidad las cuestiones planteadas.

A mis padres, por su gran esfuerzo y lucha todos estos años.  
*Vuestro sacrificio me ha permitido seguir adelante con los estudios.*  
*He recibido de vosotros el mejor de los regalos.*

A Beatriz. *Siempre has sido para mí modelo y ejemplo a seguir.*

A los profesores y compañeros que he conocido en todos estos años,  
especialmente a los que habéis destacado por vuestra dedicación, pasión y entrega.  
*Me habéis abierto las puertas del conocimiento y habéis puesto en mis manos todo lo necesario para que pueda seguir creciendo y pueda seguir luchando por alcanzar mis sueños.*  
*Heredo de vosotros el entusiasmo, la disciplina, el espíritu crítico y el rigor.*

A Jesús, por aportar luz en los momentos grises de incertidumbre.  
A Lola, porque nunca olvidaré aquellas palabras de aliento.  
*La sociedad nos está esperando con los brazos abiertos para que demos lo mejor de nosotros mismos.*

A Virginia y a Alfonso: por vuestro afecto, apoyo e interés.  
*Porque no me rindo, no cedo.*  
*Aunque el frío queme, aunque el miedo muerda,*  
*aunque el sol se ponga y se calle el viento...*  
*Aún hay vida en mis sueños, porque cada día es un comienzo.*

A Laura.  
*Porque no es tan importante no caer nunca,*  
*sino más bien aprender a levantarse las veces que sea necesario.*

A todos mis amigos, porque me siento muy afortunado de poder teneros siempre a mi lado y poder contar con vosotros.  
Y de forma muy especial: a Vanessa, a Álex, a Cynthia y a Julia.  
*Como diría Juan Ramón Jiménez: "he llegado a creer que soñáis mis propios sueños".*

A Alfonso, por acompañarme en este trepidante viaje.  
*Me perdí en la encrucijada de la vida y me ayudaste a encontrarme a mi mismo.*  
*Me has enseñado a ser valiente y luchador: rendirse no es una opción.*



# Análisis de datos y detección de patrones en series temporales de interacción social. Aplicación al diagnóstico y monitorización en patologías de reconocimiento y empatía.

## RESUMEN

Este proyecto da continuidad al estudio experimental multidisciplinar sobre cruce perceptual desarrollado en el Servicio de Psiquiatría del Hospital Miguel Servet de Zaragoza y realizado por el grupo ISAAC (*Interdisciplinary Studies in Adaptivity, Autonomy and Cognition*) del Departamento de Ingeniería e Informática de Sistemas de la Universidad de Zaragoza.

Los datos registrados en el experimento son sometidos a análisis con el objetivo de descifrar las claves de interacción social. El análisis propuesto por el grupo ISAAC difiere de los realizados por otros grupos de investigación ya que se basa en la estructura fractal de las series temporales. Comprender las claves de la interacción social reflejadas en el cruce perceptual, identificar las estrategias desarrolladas por los individuos en el experimento y determinar los indicadores más apropiados en las series temporales permite abordar el análisis de forma rigurosa y plantear su aplicación en el diagnóstico y monitorización de patologías de reconocimiento y empatía.

Para poder llevar a cabo dicho análisis es necesario realizar algunas tareas previas. En primer lugar es necesario convertir los datos registrados (en formato JSON) a estructuras de Matlab para que sean accesibles desde el entorno de trabajo (todos los algoritmos se desarrollan en Matlab), organizar y clasificar la información. Además se esboza una base de datos basada en programación orientada a objetos.

En segundo lugar es necesario concretar la señal de interés. Para ello es fundamental tener en cuenta tres aspectos importantes: el objetivo que se pretende alcanzar con el experimento (dónde es posible encontrar información relevante en las series temporales registradas), los fundamentos en los que se basa el análisis (qué características se presuponen en la señal a analizar) y las propiedades o supuestos que permiten llevar a cabo un modelo estadístico de la población a partir de los resultados obtenidos en el análisis (cómo agrupar los datos registrados). Se concluye que la señal que mejor se ajusta al objetivo del experimento es aquella que permite interpretar las decisiones de cada individuo según el concepto de camino aleatorio.

En tercer lugar es necesario adecuar la señal de interés a los requisitos del análisis: muestreo uniforme. Se plantean tres posibles soluciones que permiten reconstruir la señal: *sample&hold* (primera idea intuitiva), *sample&hold* con filtrado paso bajo (segunda solución), e interpolación (tercera solución). Tras realizar un estudio de las características de los datos registrados, se discuten los aspectos más importantes (tiempo de muestreo, frecuencia de corte) así como las especificaciones e implementación de las etapas de filtrado e interpolación. Para cada una de las tres soluciones propuestas se estima en la medida de lo posible el error cometido así como el efecto que provoca dicha solución sobre el resultado final del análisis DFA.

En cuarto lugar se realiza el análisis DFA (*detrended fluctuation analysis*) basado en la estructura fractal de las series temporales y que estudia las correlaciones de largo alcance que presentan los patrones desarrollados por los individuos en el experimento. A partir de los resultados obtenidos en el análisis se lleva a cabo el modelado estadístico de la población para comprobar si existen diferencias significativas entre el grupo de estudio y el grupo de control.





# ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE CONTENIDOS	I
ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS	III
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS Y SIGLAS	V
CAPÍTULO PRIMERO	1
CAPÍTULO SEGUNDO	7
2.1. Introducción	8
2.2. El paradigma de cruce perceptual	11
2.2.1. Experimentos de Lynne Murray y Colwyn Trevarthen	11
2.2.2. Experimentos de Malika Auvray y Charles Lenay	12
2.2.3. Experimentos de Tom Froese y Ezequiel A. Di Paolo	14
2.3. Nuevos experimentos	16
2.3.1. Mindfulness	16
2.3.2. Finalidad de los nuevos experimentos	17
2.3.3. Descripción de los nuevos experimentos	18
2.3.4. Plataforma que soporta los nuevos experimentos	20
CAPÍTULO TERCERO	21
3.1. Extracción de la información relevante	23
3.1.1. Conversión del formato JSON	24
3.1.2. Organización y clasificación de la información	26
3.2. Características de los datos registrados	29
3.2.1. Saltos en la frontera del espacio virtual compartido	29
3.2.2. Frecuencia de corte	29
3.2.3. Irregularidades en la trayectoria	30
3.2.4. Muestreo no uniforme	31
3.2.5. Precisión en el registro de las colisiones	33
3.3. DFA ( <i>detrended fluctuation analysis</i> )	35
3.3.1. Fundamentos del análisis	36
3.3.2. Descripción del algoritmo	37
3.3.3. Procesos estacionarios y procesos no estacionarios	38
3.4. Naturaleza del experimento estadístico. Señales sugeridas	39
3.4.1. Paradigma individualista y paradigma holístico	39
3.4.2. La incógnita de las claves de la interacción social	40
3.4.3. Naturaleza del experimento	41
3.4.4. Señales sugeridas	43

<b>CAPÍTULO CUARTO</b>	<b>45</b>
4.1. Planteamiento general de las tres soluciones . . . . .	46
4.2. Medida del error y resultados . . . . .	48
4.3. Efecto del filtro en el resultado del análisis DFA . . . . .	50
4.4. Resultados . . . . .	53
<b>CAPÍTULO QUINTO</b>	<b>57</b>
5.1. Conclusiones . . . . .	57
5.2. Valoración del trabajo realizado . . . . .	61
5.3. Futuras líneas de trabajo . . . . .	62
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>65</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>69</b>
A. Distribución de parejas y rondas del experimento A . . . . .	71
B. Distribución de parejas y rondas del experimento B . . . . .	75
C. Extracción de la información relevante . . . . .	83
C.1. Conversión del formato JSON. Ejemplo de estructura obtenida tras la con- versión, y acceso a los datos . . . . .	83
C.2. Organización y clasificación de la información más relevante. Ejemplo de estructura completa, y acceso a los datos . . . . .	85
C.3. Programación orientada a objetos: diagrama de clases . . . . .	87
D. Características de los datos registrados . . . . .	89
D.1. Ejemplo de saltos en la frontera del espacio virtual compartido . . . . .	89
D.2. Ejemplo de componente de baja frecuencia . . . . .	90
D.3. Ejemplo de componente de alta frecuencia . . . . .	91
D.4. Ejemplo de irregularidades en la trayectoria . . . . .	92
E. Implicaciones del muestreo no uniforme . . . . .	95
F. Interpretación del comportamiento de los jugadores según las trayectorias. . . . .	99
F.1. Tiempo de reacción del jugador . . . . .	99
F.2. Comportamiento de búsqueda. . . . .	100
F.3. Comportamiento de interacción . . . . .	100
H. Características personales registradas en la base de datos del experimento . . . . .	101
I. Análisis estadístico: interrelación entre los jugadores que componen cada pareja. . . . .	103
J. Resultados de la reconstrucción de señales . . . . .	109

# ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

## FIGURAS

Fig 2.1. Detalle del experimento de Lynne Murray y Colwyn Trevarthen . . . . .	11
Imagen extraída del trabajo de Lynne Murray y Colwyn Trevarthen [38]	
Fig 2.2. Detalle del experimento de Malika Auvray y Charles Lenay . . . . .	13
Ilustración extraída del trabajo de Ezequiel A. Di Paolo [10]	
Fig 3.1. Esquema de bloques de las distintas etapas del proceso de análisis . . . . .	22
Fig 3.2. Ejemplo de la cadena de caracteres presente en los ficheros originales . . . . .	24
Fig 3.3. Resolución temporal y resolución especial según registro de colisiones . . . . .	34
Fig 4.1. Medida del error . . . . .	49
Fig 4.2. Efecto del filtro en los resultados del análisis DFA . . . . .	51
Fig 4.3. Distribución de probabilidad del error de reconstrucción . . . . .	54
Fig 5.1. Cronograma: fases del proyecto . . . . .	61
Fig A.1. Distribución de parejas y rondas del experimento A . . . . .	72
Fig B.1. Distribución de parejas y rondas del experimento B . . . . .	78
Fig C.1. Ejemplo de una de las estructuras obtenidas tras la conversión del formato JSON. . . . .	84
Fig C.2. Estructura completa que integra la información más relevante del experimento. . . . .	86
Fig C.3. Diagrama de clases que representa la estructura de los experimentos . . . . .	87
Fig D.1. Ejemplo de saltos en la frontera del espacio virtual compartido . . . . .	89
Fig D.2. Ejemplo de componente de baja frecuencia . . . . .	90
Fig D.3. Ejemplo de componente de alta frecuencia . . . . .	91
Fig D.4. Ejemplo de irregularidades en la trayectoria . . . . .	92
Fig D.5. Histograma: tiempo de separación entre dos muestras consecutivas. . . . .	93
Fig D.6. Comparativa de la distribución del tiempo entre muestras de tres trazas distintas . . . . .	94
Fig E.1. Ejemplos de los tipos de muestreo no uniforme más comunes . . . . .	95
Fig E.2. Histograma: tiempo de separación entre dos muestras consecutivas. . . . .	97
Fig F.1. Ejemplo de tiempo de reacción del jugador . . . . .	99
Fig F.2. Ejemplo de comportamiento de búsqueda . . . . .	100
Fig F.3. Ejemplo de comportamiento de interacción . . . . .	100

Fig I.1.	Interrelaciones entre los jugadores que componen cada pareja, en la sesión 1.	. 104
Fig I.2.	Interrelaciones entre los jugadores que componen cada pareja, en la sesión 2.	. 105
Fig I.3.	Interrelaciones entre los jugadores que componen cada pareja, en la sesión 3.	. 106
Fig I.4.	Interrelaciones entre los jugadores que componen cada pareja, en la sesión 4.	. 107
Fig J.1	Comparativa, en el dominio temporal, del mismo segmento según las distintas soluciones de reconstrucción. Señal original con $\beta = 0.2$ (ley de potencias).	. . 110
Fig J.2	Comparativa, en el dominio temporal, del mismo segmento según las distintas soluciones de reconstrucción. Señal original con $\beta = 0.5$ (ley de potencias).	. . 111
Fig J.3	Comparativa, en el dominio temporal, del mismo segmento según las distintas soluciones de reconstrucción. Señal original con $\beta = 0.7$ (ley de potencias).	. . 112
Fig J.4	Comparativa, en el dominio temporal, del mismo segmento según las distintas soluciones de reconstrucción. Señal original con $\beta = 1.0$ (ley de potencias).	. . 113
Fig J.5	Comparativa, en el dominio temporal, del mismo segmento según las distintas soluciones de reconstrucción. Señal original con $\beta = 1.5$ (ley de potencias).	. . 114
Fig J.6	Comparativa, en el dominio temporal, del mismo segmento según las distintas soluciones de reconstrucción. Señal original con $\beta = 2.0$ (ley de potencias).	. . 115

## TABLAS

Tabla 3.1.	Esquema resumen en el que se relaciona el coeficiente $\alpha$ del análisis DFA, con el coeficiente de Hurst y distintos tipos de procesos . . . . .	. 38
Tabla 4.1.	Medidas de la distribución del error de reconstrucción para la solución 1. . . . .	. 55
Tabla 4.2.	Medidas de la distribución del error de reconstrucción para la solución 2. . . . .	. 55
Tabla 4.3.	Medidas de la distribución del error de reconstrucción para la solución 3. . . . .	. 55
Tabla 4.4.	Medida del error cuadrático medio para las tres soluciones de reconstrucción . . . . .	. 56
Tabla H.1.	Ítems registrados en la base de datos estadísticos del experimento . . . . .	. 101

## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS Y SIGLAS

<b>AIHQ</b>	<i>Ambiguous Intentions Hostility Questionnaire</i> (medida de la hostilidad)
<b>ASCII</b>	<i>American Standard Code for Information Interchange</i>
<b>CCNR</b>	<i>Centre for Computational Neuroscience and Robotics</i>
<b>CNRS</b>	<i>Centre National de la Recherche Scientifique</i>
<b>COSTECH</b>	<i>Connaissance Organisation et Systèmes Techniques</i>
<b>CTRNN</b>	<i>Continuous-time recurrent neural network</i>
<b>DFA</b>	<i>Detrended fluctuation analysis</i>
<b>FFMQ</b>	<i>Five Facet Mindfulness Questionnaire</i> (medida de la conciencia plena)
<b>HADS</b>	<i>Hospital Anxiety and Depression Scale</i> (medida de la ansiedad y de la depresión)
<b>HTTP</b>	<i>Hypertext Transfer Protocol</i>
<b>IETF</b>	<i>Internet Engineering Task Force</i>
<b>IRI</b>	Índice de reactividad personal (medida de la empatía)
<b>ISAAC</b>	<i>Interdisciplinary Studies in Adaptivity, Autonomy and Cognition</i>
<b>ISIR</b>	<i>Institut des Systèmes Intelligents et de Robotique</i>
<b>JSON</b>	<i>JavaScript Object Notation</i>
<b>MAAS</b>	<i>Mindful Attention Awareness Scale</i> (medida de la conciencia plena)
<b>MATLAB</b>	<i>Matrix Laboratory</i> ®
<b>MPOC</b>	Enfermedad pulmonar obstructiva crónica (bronquitis/efisema), también EPOC
<b>NLME</b>	<i>Non-linear mixed effects</i>
<b>RFC</b>	<i>Request for Comments</i>
<b>RMSE</b>	<i>Root-mean-square error</i> (error cuadrático medio)
<b>SCIP</b>	<i>Screen for Cognitive Impairment in Psychiatry</i> (evaluación del deterioro cognitivo)
<b>UTC</b>	<i>Université de Technologies de Compiègne</i>
<b>XML</b>	<i>Extensible Markup Language</i>



# CAPÍTULO PRIMERO

## RESUMEN

En este primer capítulo de introducción se describe el objetivo del proyecto y su alcance, se indican los trabajos previos en los que se apoya y el contexto en el que se realiza, se explica la forma en que se aborda el problema (metodología y procedimientos) y se describe brevemente el contenido de esta memoria.

## OBJETIVO DEL PROYECTO

El objetivo principal de este proyecto es identificar las señales más adecuadas para el análisis, es decir, aquellas que reflejan las claves del fenómeno de interacción social tratado en el estudio experimental sobre cruce perceptual. Esto solo es posible mediante un análisis riguroso de las características de la señales registradas, considerando las exigencias propias tanto del análisis DFA como del análisis estadístico posterior.

## ALCANCE DEL PROYECTO

Este proyecto pretende dar continuidad al estudio experimental multidisciplinar sobre cruce perceptual desarrollado en el Servicio de Psiquiatría del Hospital Miguel Servet de Zaragoza y realizado por el grupo ISAAC (*Interdisciplinary Studies in Adaptivity, Autonomy and Cognition*) del Departamento de Ingeniería e Informática de Sistemas de la Universidad de Zaragoza.

El proyecto no resuelve el análisis completo de las señales registradas (es decir, análisis DFA y análisis estadístico posterior) que permitiría comprobar si existen diferencias significativas entre el grupo de estudio y el grupo de control reflejadas en los patrones de interacción, pero sí plantea una serie de cuestiones que es necesario considerar, relacionadas con dichos análisis.

## CAPÍTULO PRIMERO

Como respuesta a estas cuestiones se proponen varias soluciones, analizando pros y contras, y se sugiere como futuras líneas de trabajo profundizar en los aspectos considerados para disponer de una información mucho más completa que permita tomar decisiones al respecto. El proyecto permite avanzar con el análisis al abordar la problemática de las señales muestreadas no uniformemente.

## TRABAJO PREVIO

El estudio experimental citado anteriormente lo forman dos experimentos con objetivos diferentes. Este proyecto se centra sobretodo en uno de los dos experimentos.

El diseño de estos experimentos y su realización fue llevada a cabo por el Servicio de Psiquiatría del Hospital Miguel Servet de Zaragoza, y su implementación [24] fue realizada por el grupo ISAAC del Departamento de Ingeniería e Informática de Sistemas de la Universidad de Zaragoza.

Se han tenido en cuenta los resultados obtenidos en los trabajos de investigación sobre cruce perceptual y anteriores: cuál es el planteamiento de los experimentos, cómo analizan los datos, cuáles son las conclusiones alcanzadas, cómo se modela el entorno y los agentes implicados. [2] [17] [18] [30] [38]

Se han considerado los resultados del experimento que pone en evidencia los cambios en el metabolismo cerebral del grupo de control [16]. Además, desde el punto de vista técnico me ha despertado interés el conocimiento de los fundamentos de las técnicas de neuroimagen [1] [5] [8] [19] [43] [46] empleadas en dicho estudio. Para tener una perspectiva más amplia del problema también se ha considerado la lectura de diversos artículos en el ámbito de la biología, la medicina y la psicología, acerca de los agentes implicados (metabolitos), su relación con las funciones cognitivas [40] [45], el conocimiento de distintas escalas psicométricas existentes [29] [35] [44], y las bases de la empatía [4] [7], aunque la mayoría de estas cuestiones se escapan del ámbito de estudio de la titulación.

También se han considerado algunas nociones acerca de WebSocket, como protocolo para la transferencia de datos, empleado en la plataforma que soportaba el experimento. [3] [14] [24] [28] Así como algunas nociones acerca del formato JSON. [12]

Se han tenido en cuenta las nociones sobre el análisis de la estructura fractal y estudio de las correlaciones de largo alcance: propiedades que presentan las series temporales con estructura fractal, descripción del algoritmo DFA, cómo se interpretan los resultados obtenidos para distintos procesos (procesos con memoria, camino aleatorio) y su relación con fenómenos psicológicos y cognitivos en términos de ruido coloreado. [22] [25] [47] [41]

Por último, se han revisado nociones básicas acerca del diseño de experimentos desde el punto de vista estadístico, fundamentos del contraste de hipótesis y regresión lineal. Así mismo, también se han revisado algunas nociones básicas acerca del diseño de filtros y acerca de las principales técnicas de interpolación.



## CAPÍTULO PRIMERO

### CONTEXTO

El estudio experimental citado puede encuadrarse en los trabajos de investigación acerca del paradigma de cruce perceptual. El grupo ISAAC plantea una nueva forma de analizar estas series temporales atendiendo a la estructura fractal de dichas series y al estudio de las correlaciones de largo alcance, este planteamiento difiere de los procedimientos y métodos considerados por el resto de grupos de investigación.

Desde el punto de vista del análisis DFA, se aborda la problemática que presentan las señales muestreadas no uniformemente, consideradas por primera vez para este análisis.

### METODOLOGÍA Y PROCEDIMIENTOS

Como paso inicial previo al desarrollo de las distintas metodologías y procedimientos, se ha procedido a la lectura de los archivos en formato JSON para obtener una representación gráfica del problema del experimento como primera aproximación y así poder reconocer las estructuras y datos más relevantes para el estudio.

En el planteamiento de las distintas señales sugeridas para el análisis se han tenido en cuenta dos perspectivas de la sociología: la teoría individualista y la teoría holística. Se han tenido en cuenta las repercusiones que conllevan ambos planteamientos en cuanto al análisis estadístico posterior, y en concreto, aspectos importantes como la independencia de las muestras y la aplicación de métodos que la asegurarían en determinados casos: NLME (*non-linear mixed effects*). Para las señales sugeridas se han tenido en cuenta los resultados de los experimentos sobre cruce perceptual, así como resultados obtenidos en otros experimentos que también podrían considerarse en este caso [11].

Matlab constituye el entorno de trabajo de este proyecto.

En primer lugar es necesario convertir los datos de los ficheros en formato JSON a estructuras accesibles desde Matlab, mediante el algoritmo *loadjson* [15]. A continuación se organiza y clasifica la información mediante algoritmos que crean estructuras y las rellenan a partir de la información registrada.

En segundo lugar se procede a la representación gráfica de las series temporales e inspección de las mismas para determinar las características principales que presentan. El uso de histogramas ha permitido corroborar algunas de estas ideas, entre ellas: la discusión acerca del muestreo de la señal, sugiriendo la reconstrucción de la señal.

## CAPÍTULO PRIMERO

Para poder abordar el análisis DFA, las señales registradas muestreadas no uniformemente se convierten en señales muestreadas uniformemente mediante tres soluciones distintas:

La primera solución considera muestreo *sample&hold*.

La segunda solución se basa en la primera pero ofrece una propuesta más elaborada cuyo resultado es algo más realista: muestreo *sample&hold* seguido de un filtro paso bajo. Se diseña el filtro paso bajo adecuándolo a las características observadas en la señal registrada. El resultado del ajuste experimental del filtrado da lugar finalmente al empleo de dos filtros paso bajo con ventana de Kaiser, en cascada.

La tercera solución, distinta a las anteriores, recurre a la interpolación de las muestras registradas. Aunque en un principio se propone aplicar diferencias divididas de Lagrange atendiendo a las características que presenta la señal, como el orden del filtro resulta ser muy elevado posteriormente se propone abordar el problema de la interpolación mediante spline cúbico.

Además, se determina un criterio para la medida del error en la reconstrucción de las señales. Como se desconoce la traza original de los jugadores, se decide realizar en paralelo un estudio que permita estimar el error cometido.

Se genera una serie de señales de referencia, con características similares a las de las señales registradas en un número suficiente de realizaciones para cada patrón (ley de potencias, empleando el algoritmo *spatialPattern* [49]), a las que se les aplica muestreo no uniforme. A partir de estas nuevas señales se procede a la reconstrucción según las tres soluciones y se compara con las señales de referencia iniciales para estimar el error de la reconstrucción, calculando el coeficiente de kurtosis y la desviación estándar de la distribución del error, y el error cuadrático medio (empleando el algoritmo *rmse* [26]).

También se decide realizar en paralelo un estudio que permita determinar el efecto que produce el filtrado (de la segunda solución) sobre el análisis DFA.

Se genera una serie de señales de referencia (ruido blanco) cuyo resultado del análisis DFA es bien conocido. A estas señales se les aplica el filtrado paso bajo y posteriormente se someten al análisis DFA (empleando el algoritmo *fastdfa* [32]) cotejando los resultados obtenidos y determinando los cambios debidos al filtro.

## CAPÍTULO PRIMERO

### DESCRIPCIÓN DE LA MEMORIA

En este primer capítulo de introducción: se describe el objetivo del proyecto y su alcance, se indican los trabajos previos en los que se apoya y el contexto en el que se realiza, se explica la forma en que se aborda el problema y se describe el contenido de esta memoria.

En el segundo capítulo se introduce el contexto y motivación del estudio experimental tratado en el proyecto, para ello en primer lugar se describe el paradigma del cruce perceptual a través de los experimentos más importantes desarrollados en los últimos años por distintos grupos de investigación, y en segundo lugar se presentan los experimentos que constituyen dicho estudio experimental cuyos datos registrados constituyen el punto de partida de este proyecto.

Los dos capítulos siguientes reflejan el trabajo desarrollado en este proyecto.

En el capítulo tercero se explican los pasos llevados a cabo para lograr extraer de los ficheros originales la información más relevante y adecuarla al entorno de trabajo. Y también se justifica cuál sería la señal de estudio más adecuada (señal sugerida) teniendo en cuenta: las características más importantes observadas en los datos registrados, los fundamentos del análisis DFA y la naturaleza del experimento estadístico.

En el capítulo cuarto se profundiza en la reconstrucción de las series temporales para obtener señales muestreadas uniformemente que permitan abordar el análisis DFA, proponiendo tres soluciones distintas. Para estimar el grado de precisión de estas reconstrucciones, se llevan a cabo dos estudios paralelos que permiten por un lado estimar el error cometido en la reconstrucción y por otro lado determinar el efecto del filtrado paso bajo sobre los resultados del análisis DFA.

En el quinto y último capítulo, se enuncian las conclusiones derivadas del proyecto, se ofrece una valoración del trabajo realizado y se exponen las futuras líneas de trabajo planteadas en el desarrollo de la memoria.



# CAPÍTULO SEGUNDO

## RESUMEN

En este segundo capítulo se describe el contexto y la motivación del estudio experimental (cuyos datos registrados constituyen el punto de partida de este proyecto).

En la primera parte se plantea el paradigma de cruce perceptual a través de los experimentos más importantes realizados en los últimos años, destacando los resultados y conclusiones extraídos de cada uno de ellos:

Murray y Trevarthen [38] reflexionan sobre la falta de sincronía entre las emociones de los sujetos y la ruptura de la dinámica de turnos en el fenómeno de interacción al sustituir la interacción en tiempo real por una grabación en diferido.

Auvray y Lenay [2] [30] recrean un escenario virtual basado en el experimento de Murray y Trevarthen, aunque de forma mucho más minimalista. Se analiza la relación causa-efecto, es decir, la relación entre los comportamientos observados y los eventos que han tenido lugar en los instantes previos. En la interacción se reconoce la existencia de un atractor (concepto definido en sistemas dinámicos).

Froese y Di Paolo [17] modelan no solo el entorno sino también el comportamiento de los jugadores, recurriendo a redes neuronales y algoritmos genéticos, corroborando los resultados de Auvray y Lenay.

En la segunda parte, se describen los nuevos experimentos que forman parte del estudio experimental citado en el primer capítulo (grupo de estudio, finalidad del experimento, descripción y plataforma sobre la que se desarrolla el experimento).

Los cambios en el metabolismo del cerebro y los cambios axonales observados en personas que llevan practicando meditación durante varios años [16], sugieren una mejora en sus funciones cognitivas (atención y conciencia). Se propone analizar si estos cambios y mejoras se traducen en cambios notables en el comportamiento de estos individuos en situaciones de interacción social.

Se describen los detalles del experimento [24]: entorno (espacio virtual compartido), representación de los jugadores, descripción de los bots y distribución de parejas y rondas.

Se dan algunos apuntes acerca de la plataforma en la que se implementa el experimento: comunicación cliente servidor mediante tecnología WebSocket, empleando archivos en formato JSON para el intercambio de datos.

## 2.1. INTRODUCCIÓN

Este proyecto fin de carrera da continuidad al estudio experimental multidisciplinar sobre cruce perceptual desarrollado en el Servicio de Psiquiatría del Hospital Miguel Servet de Zaragoza y realizado por el grupo ISAAC (*Interdisciplinary Studies in Adaptivity, Autonomy and Cognition*) del Departamento de Ingeniería e Informática de Sistemas de la Universidad de Zaragoza.

El proyecto se centra especialmente en uno de los dos experimentos que forman parte del estudio. Aunque los dos experimentos plantean un escenario similar de cruce perceptual, existen matices que los diferencian ya que se persiguen objetivos específicos distintos en cada caso, quedando reflejado así en su diseño y sugiriendo abordar el análisis de cada uno de ellos de forma distinta acorde a su finalidad.

El paradigma de cruce perceptual abre un nuevo campo de estudio sobre cognición social que abarca distintas disciplinas, presentando un escenario simple en el que se plantean incógnitas interesantes sobre las claves de la interacción social. A continuación se destacan los siguientes tres grupos de investigación (entre los que se incluye el grupo de trabajo de nuestra universidad) por los trabajos y experimentos realizados y su contribución en este campo.

El equipo formado por Auvray<sup>1</sup> y Lenay<sup>2</sup> sienta precedentes en el estudio del cruce perceptual. Desarrollan los primeros experimentos científicos en este campo, estableciendo con rigor las condiciones de los mismos y analizando las claves de la interacción social que de ellos se desprenden. [2]

Para poder descifrar las claves de la interacción social se pone a prueba a los individuos que participan en el experimento: sin conocimiento preciso a priori en ocasiones se enfrentan a entes artificiales (también llamados bots) con comportamientos muy dispares (algunos de ellos intentan imitar el comportamiento humano), y en otras ocasiones se enfrentan con otras personas. El entorno en el que se desarrolla el experimento, las condiciones que deben cumplirse y el desarrollo y diseño de estos entes artificiales con comportamientos complejos demuestran la estrecha relación que se establece entre este tipo de experimentos y el campo de la inteligencia artificial.

En esta línea el equipo formado por Froese y Di Paolo<sup>3</sup> profundiza en el diseño del entorno virtual sobre el que se desarrolla el experimento de cruce perceptual, planteando distintos modelos y reflexionando sobre ellos. [10] [17]

Por último es preciso citar al grupo ISAAC, del Departamento de Ingeniería e Informática de Sistemas de la Universidad de Zaragoza, que en los últimos años han profundizado

---

<sup>1</sup> Malika Auvray ha trabajado en el ISIR (*Institut des Systèmes Intelligents et de Robotique*) perteneciente al CNRS (*Centre National de la Recherche Scientifique*) en Francia.

<sup>2</sup> Charles Lenay ha trabajado en el laboratorio COSTECH (*Connaissance Organisation et Systèmes Techniques*) perteneciente al Departamento de Tecnologías y Ciencias del Hombre de la UTC (*Université de Technologies de Compiègne*) en Francia.

<sup>3</sup> Tom Froese y Ezequiel A. Di Paolo han trabajado en el CCNR (*Centre for Computational Neuroscience and Robotics*) de la Universidad de Sussex, en Reino Unido.

## CAPÍTULO SEGUNDO

en el análisis basado en la estructura fractal de las series temporales [22] (*detrended fluctuation analysis*, DFA, análisis conocido y empleado en otras áreas como la climatología, la sismología, la fisiología, la psicopatología o la economía), proponiendo dicho análisis como una nueva técnica complementaria para el estudio de los experimentos de cruce perceptual desde una perspectiva diferente a la planteada en los análisis desarrollados por los otros grupos de investigación citados.

David Gracia Larrodé desarrolló como proyecto fin de carrera [24] la plataforma que soporta los experimentos de cruce perceptual, diseñó el comportamiento de los bots y supervisó la adquisición de los datos. Estos datos registrados y almacenados para su posterior tratamiento constituyen el punto de partida de este proyecto.

Entre los trabajos precedentes de análisis de series temporales realizados por el grupo ISAAC se destaca el estudio del perfil de la risa<sup>4</sup>. Dicho estudio centraba su atención en las señales de audio registradas. Para eliminar el ruido y las interferencias de estas señales fue necesario someterlas a un tratamiento previo. Asumiendo la existencia de una estructura fractal en estas series temporales, las señales de audio limpias fueron sometidas a continuación al análisis DFA.

Las señales consideradas en este proyecto no requieren el tratamiento previo (sobre ruido e interferencias) que exigían las señales de audio citadas anteriormente, pero a diferencia de éstas no presentan un muestreo uniforme<sup>5</sup> de modo que se requiere reconstruir las señales para obtener nuevas señales muestreadas uniformemente (requisito imprescindible para poder aplicar correctamente el análisis DFA).

Si se logran descifrar las claves de la interacción social que conforman el paradigma de cruce perceptual, dicho experimento podría considerarse un buen ejemplo de técnica no invasiva que permitiría realizar el diagnóstico y seguimiento de patologías de reconocimiento y empatía.

Por el momento el estudio experimental, desarrollado por el Servicio de Psiquiatría del Hospital Miguel Servet de Zaragoza, se centra en un sector muy concreto de la población que no muestra desórdenes ni patologías pero que también ha despertado el interés de la comunidad en base a las evidencias clínicas reveladas en otros estudios.

Un grupo de siete investigadores<sup>6</sup> ha corroborado mediante técnicas de neuroimagen<sup>7</sup> cambios en el metabolismo cerebral y cambios axonales en individuos que habían practicado meditación durante más de ocho años. [16]

---

<sup>4</sup> La primera parte de este trabajo consistió en la adquisición de datos. El resultado de esta primera parte se materializó en el proyecto fin de carrera [20]. Y la segunda parte del trabajo consistió en el análisis y tratamiento de dichos datos. El trabajo se realizó en el seno del grupo ISAAC y se materializó en el proyecto fin de carrera [42].

<sup>5</sup> En el experimento de cruce perceptual [24] solamente se registraron valores nuevos cuando las variables cambiaban de valor, de este modo se lograba ocupar el mínimo espacio de memoria necesario.

<sup>6</sup> Pertenecientes al Servicio de Psiquiatría del Hospital Miguel Servet de Zaragoza, al departamento de Psicología y Sociología de la Universidad de Zaragoza, al departamento de Radiología del Hospital Quirón de Zaragoza, a la Unidad de Epidemiología del Hospital 12 de Octubre de Madrid, al departamento de Medicina Preventiva de la Universidad de Málaga y a la Red de Investigación en Actividades Preventivas de Barcelona.

<sup>7</sup> Imagen del tensor de difusión y Espectroscopia por resonancia magnética.

## CAPÍTULO SEGUNDO

A través de las actividades de meditación estas personas perciben todos los estímulos de su entorno sin focalizar su atención en estímulos concretos, se trata de un estado de atención y conciencia plena de la mente (*mindfulness*).

Varias escalas psicológicas, desarrolladas en los últimos años, permiten evaluar de forma objetiva la capacidad de conciencia plena de un individuo (como por ejemplo la escala MAAS *Mindful Attention Awareness Scale*). Los cambios inducidos en la función cognitiva<sup>8</sup> a través de las actividades de meditación despiertan interés sobre cómo estos individuos se desenvolverían en una situación de interacción social como la planteada en el experimento de cruce perceptual. En este contexto se ha desarrollado el estudio experimental del que versa este proyecto fin de carrera.

---

<sup>8</sup> Especialmente en las funciones cognitivas de atención y conciencia.



## 2.2. EL PARADIGMA DE CRUCE PERCEPTUAL

El paradigma de cruce perceptual planteado por los investigadores en estos últimos años se establece como un punto de partida que abre una nueva línea de investigación que pretende profundizar en las claves del fenómeno de la interacción social.

El caldo de cultivo del paradigma de cruce perceptual lo encontramos en algunos experimentos que permiten reflexionar acerca de aspectos interesantes desde la perspectiva de la ciencia de la complejidad: cómo nos relacionamos con nuestro entorno y cómo nos relacionamos con nuestros semejantes conformando un orden mayor (orden social), y en especial cuáles son los mecanismos desarrollados, las estrategias seguidas y los fenómenos que condicionan nuestro comportamiento.

### 2.2.1. EXPERIMENTOS DE LYNNE MURRAY Y COLWYN TREVARTHEN

Uno de los experimentos más interesantes (pues constituye el germen de los experimentos sobre los que más adelante se construirá el paradigma de cruce perceptual) fue realizado en los años ochenta por Lynne Murray y Colwyn Trevarthen. Este experimento estableció un paradigma e impulsó en los años siguientes a su realización un estudio en profundidad del desarrollo cognitivo y lingüístico de los bebés en sus primeros años de vida.

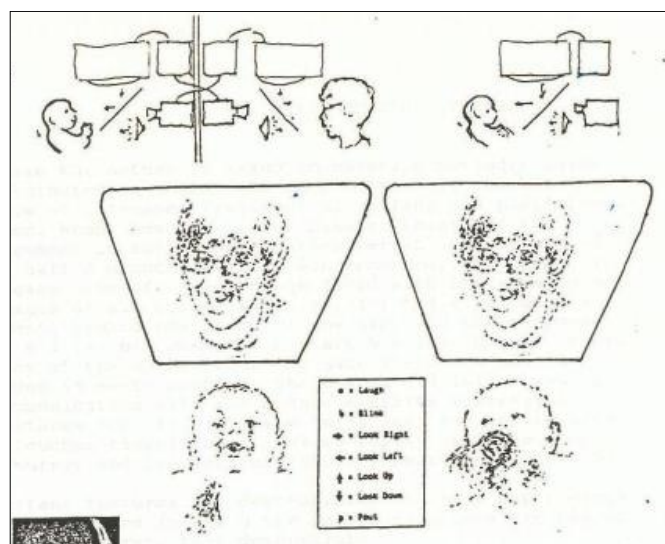


Fig 2.1. Detalle del experimento de Lynne Murray y Colwyn Trevarthen.

A la izquierda se observa la primera sesión en la que, a través de un circuito cerrado de vídeo, interactúan (en directo) el bebé y la madre. A la derecha se observa la segunda sesión (en diferido) en la que el bebé contempla en la pantalla la grabación de la madre correspondiente a la sesión anterior.

Imagen extraída del trabajo de Lynne Murray y Colwyn Trevarthen [38].

## CAPÍTULO SEGUNDO

El experimento (Fig. 2.1) consistía en dejar interactuar a un bebé (de entre 6 y 12 semanas) con su madre, situados en habitaciones distintas, pero conectados a través de un circuito cerrado de video.

En la primera parte del experimento se establece una sesión en directo: el bebé observa a través de la pantalla el rostro de su madre e interactúa con ella, la madre observa a través de la pantalla de vídeo las reacciones del bebé. Tras un descanso, en la segunda parte del experimento se establece una sesión en diferido: al bebé se le proyecta en la pantalla una grabación de la madre en la sesión anterior. Al principio el bebé identifica a su madre e inicia la interacción, pero al cabo de un tiempo se extraña por la falta de sincronía en las respuestas que observa y finalmente se termina asustando.

Estudios posteriores describen con más detalle las fases del desarrollo de la comunicación en los bebés. Durante los dos primeros meses de vida el bebé tiende a orientar su percepción hacia formas y figuras con apariencia humana, responden a las personas mediante protogestos, adaptan sus movimientos a patrones rítmicos marcados por la voz de la persona que habla e imitan gestos sencillos (como abrir la boca o sacar la lengua). Pero a partir del segundo mes, la forma de relación se orienta hacia las protoconversaciones: se establece con frecuencia contacto visual, la comunicación entra en una dinámica de turnos y se observa una tendencia a compartir un mismo estado emocional.

Así pues la interacción se ha reducido a un plano muy sencillo: el bebé todavía no conoce el lenguaje y tampoco ha desarrollado la capacidad de análisis para poder interpretar el lenguaje corporal de su interlocutor, aunque ya empieza a distinguir algunos estados emocionales. La falta de sincronía entre las emociones del bebé y de la madre en la segunda parte del experimento, la ruptura de la dinámica de turnos y otros aspectos sin resolver, plantean cuestiones acerca del fenómeno de interacción.

### 2.2.2. EXPERIMENTOS DE MALIKA AUVRAY Y CHARLES LENAY

Malika Auvray y Charles Lenay proponen un experimento que intenta reproducir una situación de interacción social parecida a la del experimento anterior, esta vez con personas adultas, y en el que no resulte relevante el conocimiento del lenguaje o la capacidad de análisis del lenguaje corporal. Así pues, se plantea reducir la comunicación entre los dos sujetos a la mínima expresión posible.

La simplificación propuesta por estos dos investigadores reduce la presencia de los sujetos a una representación virtual de los mismos (Fig. 2.2). Los dos sujetos se encuentran en habitaciones distintas y desde cada una de ellas se conectan a una plataforma que permite recrear un espacio virtual en el que se sitúan los dos sujetos representados por cursores.

Los sujetos disponen de un ratón que pueden mover con total libertad y los movimientos de este dispositivo se traducen en movimientos del cursor correspondiente a izquierda o derecha sobre una línea horizontal. Cada sujeto desconoce la ubicación exacta del

## CAPÍTULO SEGUNDO

contrincante en el espacio virtual compartido, por eso se dice que se trata de sujetos “ciegos”. Los dos sujetos se mueven libremente por este espacio virtual y en ocasiones sus trayectorias se cruzan. Cada vez que se produce un cruce se activa una señal táctil (mediante un dispositivo conectado a la yema del dedo) que avisa al sujeto de que se ha producido un cruce.

Si la posición del cursor del contrincante no se genera a partir del movimiento (en tiempo real) del ratón controlado por dicho sujeto sino que toma los valores de la trayectoria generada por el sujeto en la sesión anterior, se habrá logrado reproducir una situación similar a la descrita en el experimento de Lynne Murray y Colwyn Trevarthen del bebé y su madre: en la primera parte del experimento se establece una sesión en directo mientras que en la segunda parte se establece una sesión en diferido. Ante estas dos situaciones, los sujetos son capaces de distinguir en qué casos se está produciendo interacción con otra persona (en tiempo real) y en qué casos no.

Como se ha comentado anteriormente, la sesión en diferido se lleva a cabo tomando los valores de la trayectoria generada por el contrincante en la sesión que le precede (en tiempo real), es decir, para la sesión en diferido se recurre a una grabación. Si en este aspecto se planteasen otras posibilidades distintas más elaboradas entrarían en juego algunas ideas desarrolladas en el campo de la inteligencia artificial.

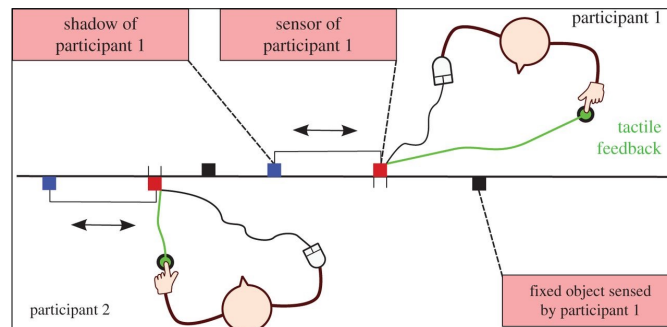


Fig 2.2. Detalle del experimento de Malika Auvray y Charles Lenay.

A cada sujeto se conectan dos dispositivos: ratón (permite mover el cursor y hacer click) e indicador táctil (avisa al sujeto cada vez que se produce un cruce con otro objeto). En la figura se observan los dos jugadores: jugador 1 en la parte superior y jugador 2 en la parte inferior. De forma esquemática, por debajo de la línea (espacio virtual compartido) se aprecian los tres objetos que puede observar el jugador 1: objeto fijo (a la derecha, en color negro), el cursor del otro jugador (a la izquierda, en color rojo) y el señuelo móvil (a la izquierda, en color azul). Este último está vinculado al cursor del jugador 2, siempre situado a una distancia concreta de éste. De forma análoga, por encima de la línea, los tres objetos que puede observar el jugador 2.

Ilustración que representa el experimento de Malika Auvray y Charles Lenay, extraída del trabajo de Ezequiel A. Di Paolo [10].

Las primeras soluciones las adoptan Malika Auvray y Charles Lenay en su experimento de cruce perceptual. En este nuevo experimento modificado cada sujeto se enfrenta a una única sesión y en el espacio virtual compartido se puede encontrar tres objetos diferentes: un objeto fijo que se encuentra siempre en la misma posición, una persona (contrincante) que se mueve libremente y un señuelo móvil (denominado “sombra”) que siempre está situado a una

## CAPÍTULO SEGUNDO

distancia concreta del contrincante. Tanto el objeto fijo como el señuelo móvil son objetos artificiales generados por la plataforma que soporta el experimento. Durante la sesión, el sujeto se mueve libremente y puede cruzarse con estos tres objetos. Cada vez que el sujeto crea estar interactuando con una persona deberá indicarlo (haciendo click con el ratón).

Para el análisis de los datos registrados se observan las respuestas proporcionadas por los jugadores. En este análisis, cada vez que un jugador a través de los clicks del ratón indica a su juicio la presencia de otra persona, se abre una ventana temporal (de 2 segundos de duración) que rastrea los eventos que han tenido lugar poco antes del click para conocer las causas que motivaron esa decisión.

Los resultados de este experimento revelan algunas de las estrategias seguidas por los jugadores para distinguir cada uno de los objetos. Los sujetos distinguen con cierta facilidad un objeto fijo de un objeto móvil porque al primero esperan encontrarlo siempre en la misma posición mientras que el segundo, al estar en movimiento, aparece en posiciones inesperadas (antes de lo esperado o más tarde). A los sujetos les cuesta distinguir un poco más entre los dos objetos móviles: cada vez que un sujeto se cruza con un objeto vuelve atrás y cambia su sentido de movimiento, y si se vuelve a cruzar con ese objeto vuelve a cambiar su sentido de movimiento, reduciendo la distancia y provocando varios cambios de sentido; en el caso de coincidir con otra persona los dos individuos muestran una estrategia similar produciéndose una especie de baile, algo que no se produce en el caso del señuelo (porque no existe interacción, de modo que el señuelo no responde a la colisión, no modifica su trayectoria tras el cruce). En la interacción se reconoce la existencia de un atractor<sup>9</sup>.

En esta primera caracterización (modelado) de los comportamientos adoptados por los objetos generados a través de la plataforma se sigue una teoría individualista: los objetos parecen estar aislados, no se relacionan con el entorno ni con el sujeto. En el caso del objeto fijo, éste permanece siempre en la misma posición y en el caso del objeto “sombra” (señuelo móvil) siempre se encuentra situado a un determinado número de píxeles del contrincante, independientemente del comportamiento del otro jugador, se hayan producido o no cruces con el otro sujeto.

### 2.2.3. EXPERIMENTOS DE TOM FROESE Y EZEQUIEL A. DI PAOLO

De forma paralela a estos experimentos, Tom Froese y Ezequiel A. Di Paolo también reflexionan acerca de estas cuestiones y proponen modelar los comportamientos de los sujetos que participan en el experimento y su entorno mediante robótica evolutiva.

En primer lugar modelan el espacio virtual compartido (espacio unidimensional, de 600 unidades, semejante a una circunferencia) y los cursores que definen a los dos sujetos y a cada uno de los objetos (cada cursor ocupa 4 unidades del espacio). El campo receptor se corresponde con el espacio que ocupa el cursor de un sujeto, y se define una señal de entrada para cada sujeto; cuando un objeto se solapa con el campo receptor de un sujeto se activa la señal de entrada de ese sujeto.

---

<sup>9</sup> Según el concepto definido en sistemas dinámicos.

## CAPÍTULO SEGUNDO

A diferencia del experimento de Malika Auvray y Charles Lenay en el que la tarea que debían llevar a cabo los sujetos era hacer click con el ratón cada vez que considerasen que se encontraban frente a otra persona, en el experimento de Tom Froese y Ezequiel A. Di Paolo la tarea que deben llevar a cabo los sujetos (en esta ocasión sujetos simulados) es localizar al otro sujeto y acercarse lo máximo posible a él.

El comportamiento de cada sujeto se determina mediante una red neuronal CTRNN<sup>10</sup> y se optimiza empleando algoritmos genéticos.

Para poder ajustar la red neuronal y obtener un comportamiento apropiado, se plantearon cuestiones interesantes acerca del comportamiento de los sujetos y las estrategias que siguen, cuestiones que se traducen en modificaciones de los parámetros y de las conexiones que forman la red neuronal, evaluadas mediante un procedimiento de prueba error hasta ajustar los valores a un comportamiento apropiado. También comprobaron que al introducir un retardo temporal en la activación del campo receptor se lograban soluciones más robustas y dinámicas.

Las soluciones adoptadas por Tom Froese y Ezequiel A. Di Paolo al resolver los problemas que surgen en el modelado corroboran los resultados obtenidos en los experimentos de Malika Auvray y Charles Lenay.

---

<sup>10</sup> Red neuronal CTRNN (*continuous-time recurrent neural network*), sin restricciones de conectividad, recurrente, de tiempo continuo y con una estructura impuesta no simétrica. Para más información acerca del diseño de esta red neuronal y los algoritmos genéticos empleados en el experimento de Tom Froese y Ezequiel A. Di Paolo, aspectos no tratados en este proyecto, se recomienda la lectura del artículo publicado por estos autores [17].

## 2.3. NUEVOS EXPERIMENTOS

En los últimos años el grupo ISAAC, del Departamento de Ingeniería e Informática de Sistemas de la Universidad de Zaragoza, ha sugerido efectuar un nuevo análisis (basado en la estructura fractal de las series temporales) que complementaría a los análisis expuestos en los experimentos citados anteriormente. Los fundamentos de este análisis se explicarán con más detalle en el capítulo siguiente (apartado 3.3).

Solamente desde una perspectiva multidisciplinar sería posible abordar el paradigma de cruce perceptual y comprender las claves de la interacción social.

Uno de los objetivos planteados a largo plazo sería el poder consolidar estos experimentos como un buen ejemplo de técnica no invasiva que permitiese realizar el diagnóstico y seguimiento de patologías de reconocimiento y empatía. Si estas patologías afectan de forma negativa a la actividad cognitiva, deteriorándola, se podría esperar que el comportamiento, las estrategias o los patrones expresivos de estas personas presentasen diferencias sustanciales respecto al resto de la población y esto se reflejase en cambios notables en los resultados del experimento.

También se plantea la posibilidad contraria, es decir, que el experimento también sea sensible a una mejora de la actividad cognitiva, y en esta línea se propone como grupo de estudio un sector muy concreto de la población que no muestra desórdenes ni patologías pero que según estudios recientes presenta cambios funcionales y químicos en el cerebro que podrían mejorar algunas funciones cognitivas.

### 2.3.1. MINDFULNESS

Un equipo de investigadores<sup>11</sup> realizó en 2012 un estudio clínico [16] que demostraba cambios en el metabolismo del cerebro y cambios axonales en meditadores que llevaban practicando esta actividad de forma regular durante más de ocho años.

A través de las actividades de meditación estas personas perciben todos los estímulos de su entorno sin focalizar su atención en estímulos concretos pero siendo conscientes de todos ellos, se trata de un estado de atención y conciencia plena de la mente (*mindfulness*). Este estado de atención y conciencia plena de la mente es una capacidad humana inherente que se puede potenciar.

---

<sup>11</sup> Equipo formado por: Javier García Campayo (del Servicio de Psiquiatría del Hospital Miguel Servet de Zaragoza), Nicolás Fayed y Keyla Aguilar (ambos del Departamento de Radiología del Hospital Quirón de Zaragoza), Yolanda López del Hoyo (del Departamento de Psicología y Sociología de la Universidad de Zaragoza), Eva Andrés (de la Unidad de Epidemiología del Hospital 12 de Octubre de Madrid), Juan Bellón (del Departamento de Medicina Preventiva de la Universidad de Málaga), Antoni Serrano-Blanco (del Parc Sanitari Sant Joan de Deu de Sant Boi de Llobregat en Barcelona) y Ausias Cebolla (del Centro de Investigación Biomédica de la Fisiopatología de la Obesidad y Nutrición de la Universidad Jaime I de Castellón).

## CAPÍTULO SEGUNDO

Recientemente se han desarrollado varias escalas psicológicas<sup>12</sup> que permiten evaluar de forma objetiva la capacidad de conciencia plena de un individuo.

En el estudio citado anteriormente, a través de dos técnicas distintas de neuroimagen<sup>13</sup> (espectroscopia por resonancia magnética e imagen del tensor de difusión) fue posible conocer la concentración de determinadas sustancias químicas en el cerebro (más concretamente, la concentración de metabolitos<sup>14</sup> en determinadas zonas del cerebro) y observar las conexiones neuronales.

### 2.3.2. FINALIDAD DE LOS NUEVOS EXPERIMENTOS

El primer experimento (en adelante llamado experimento A) se centra en comprobar si las evidencias clínicas demostradas en el estudio citado anteriormente, que sugieren cambios en las funciones cognitivas, manifiestan comportamientos y patrones distintos en el grupo de estudio y en el grupo de control, en un escenario de cruce perceptual. Por lo tanto, se plantea un contraste de hipótesis considerando como hipótesis nula la ausencia de diferencias significativas entre el comportamiento del grupo de estudio y el comportamiento del grupo de control.

El segundo experimento (en adelante llamado experimento B) profundiza en los procesos de adaptación al entorno y adaptación al cambio, en un escenario de cruce perceptual con grupos mucho más reducidos (cuatro jugadores: tres personas y un bot). En este experimento se destaca por un lado el proceso de aprendizaje que llevan a cabo los individuos y que podría permitir que durante la primera fase del experimento llegasen a identificar a algunos de sus contrincantes a través de los patrones de interacción, y por otro lado el proceso de adaptación que tiene lugar en la segunda fase del experimento cuando se produce un pequeño cambio en las condiciones (se intercambia un individuo de un grupo con otro individuo de otro grupo, este cambio afecta a todos los grupos).

---

<sup>12</sup> Como por ejemplo la escala MAAS (*Mindful Attention Awareness Scale*). Esta escala presenta un estudio psicométrico favorable [44] y por lo tanto se trata de una herramienta válida y fiable utilizada en investigación.

<sup>13</sup> Para conocer en detalle el funcionamiento de estas técnicas de neuroimagen confróntese el trabajo [19]. Se trata de una de las publicaciones más completas en la materia: explica con detalle los fundamentos físicos de la resonancia magnética, muestra los aspectos de ingeniería relacionados con la medida de la intensidad y la extracción de las imágenes, y trata también aspectos propios de otras disciplinas como la medicina (administración de contrastes, interpretación de las imágenes con aplicación clínica y riesgos para la salud en el uso de esta técnica).

<sup>14</sup> Sustancias químicas implicadas en el metabolismo. La presencia de estas sustancias da lugar a determinados neurotransmisores.

## CAPÍTULO SEGUNDO

### 2.3.3. DESCRIPCIÓN DE LOS NUEVOS EXPERIMENTOS

Sin perder de vista la finalidad de estos nuevos experimentos descrita en el apartado anterior, estos experimentos presentan un escenario de cruce perceptual basado en el experimento de Malika Auvray y Charles Lenay descrito en el apartado 2.2.2. A continuación se explican algunos detalles y características propias de estos nuevos experimentos.

#### EXPERIMENTO A

La limitación de los recursos disponibles (los equipos que proporcionan la plataforma en la que se desarrolla el experimento, el laboratorio en el que se realiza la prueba, el personal que supervisa el correcto funcionamiento de los equipos y que garantiza que en todo momento se cumplan las condiciones apropiadas para el experimento) requiere considerar varias sesiones.

El grupo de control se divide en dos subgrupos y cada subgrupo participa en una sesión distinta. El grupo de estudio también se divide en dos subgrupos y cada subgrupo participa en una sesión distinta. Así pues se establecen cuatro sesiones. Para facilitar el emparejamiento, en todos los subgrupos habrá un número par de personas. Por lo tanto, en cada sesión coinciden individuos pertenecientes al mismo grupo, y cada individuo solamente podrá participar una única vez en el experimento (en la sesión que le corresponda).

Cada sesión se desarrolla en dos fases: en la primera fase se llevan a cabo las rondas de entrenamiento (tres rondas) que permiten al jugador familiarizarse con la plataforma y el entorno, y en la segunda fase se llevan a cabo las rondas de juego (diez rondas) en las que el jugador se enfrenta a una persona o a un bot y al finalizar cada una de estas rondas de juego el jugador deberá indicar la naturaleza de su adversario (persona o bot).

En el anexo A se muestra de forma esquemática la distribución de parejas y rondas de este experimento. A continuación se describe el comportamiento de los cinco bots que intervienen en este experimento.

##### FIXED

Se trata de un bot que se mantiene en la misma posición durante toda la ronda. Ha sido diseñado expresamente para la ronda de entrenamiento.

##### CSPEED<sub>i</sub>

Se trata de un bot que se desplaza siempre en la misma dirección con velocidad constante de 15 píxeles por segundo. Ha sido diseñado expresamente para la ronda de entrenamiento.



## CAPÍTULO SEGUNDO

### CSPEED<sub>2</sub>

Similar al caso anterior, se trata de un bot que se desplaza siempre en la misma dirección con velocidad constante de 30 píxeles por segundo. Ha sido diseñado expresamente para la ronda de entrenamiento.

### FOX

Se trata de un bot que describe una trayectoria senoidal con una determinada amplitud (de 200 píxeles) en torno a un determinado punto de partida inicial (posición 300) sobre el que oscila.

### TIMXEL SHADOW

Repite los movimiento del jugador con el que está interactuando, con un determinado retraso temporal y una diferencia de píxeles definida.

Cada jugador dispone de un ratón para desplazar su cursor a izquierda o derecha, a través del espacio virtual compartido. Cada jugador puede visualizar en pantalla<sup>15</sup> el número de ronda que está jugando, el tiempo restante para finalizar la ronda y el número de colisiones producidas en el transcurso de la ronda. Cada vez que se produce una colisión, el cursor del jugador cambia de color por un instante. Además, todos los jugadores llevan unos auriculares (cascos) que emiten una breve señal acústica cuando se produce la colisión.

## EXPERIMENTO B

En este caso se realiza una única sesión y los participantes se dividen en 12 grupos. Cada grupo está formado por 4 sujetos: 3 personas y 1 bot. El emparejamiento se lleva a cabo dentro de cada grupo: en cada ronda se forman 2 parejas dentro de cada grupo.

El experimento consta de 35 rondas. En la ronda 21 se introduce un cambio: se procede a intercambiar una persona de un grupo con otra persona de otro grupo. Este cambio afecta a todos los grupos y se mantiene hasta el final del experimento.

En el anexo B se muestra de forma esquemática la distribución de parejas y rondas de este experimento. En este anexo también se describe el comportamiento de los bots que intervienen en el experimento.

Al igual que en el experimento anterior: cada jugador dispone de un ratón para desplazar su cursor a izquierda o derecha, a través del espacio virtual compartido. Cada

---

<sup>15</sup> Las pantallas que puede visualizar cada jugador durante la partida pueden consultarse en [24].

## CAPÍTULO SEGUNDO

jugador puede visualizar en pantalla el número de ronda que está jugando, el tiempo restante para finalizar la ronda y el número de colisiones producidas en el transcurso de la ronda. Cada vez que se produce una colisión, el cursor del jugador cambia de color por un instante. Además, todos los jugadores llevan unos auriculares (cascos) que emiten una breve señal acústica cuando se produce una colisión.

### 2.3.4. PLATAFORMA QUE SOPORTA LOS NUEVOS EXPERIMENTOS

Para poder implementar estos experimentos, David Gracia Larrodé desarrolló como proyecto fin de carrera [24] una plataforma en la que se establece comunicación cliente servidor mediante tecnología WebSocket. El desarrollo de nuevas formas de intercambio de datos en los servicios web ha puesto en evidencia las limitaciones del protocolo HTTP<sup>16</sup>. Una de las principales ventajas de la tecnología WebSocket<sup>17</sup> es que permite mantener una conexión full-dúplex con estado.

A través de esta plataforma se establece la comunicación entre el servidor y los distintos terminales. Ambos intercambian información de configuración (con las condiciones en las que se va a desarrollar el experimento) y también información del experimento realizado (con los datos registrados). Para el intercambio de datos se emplea un formato ligero menos complejo que XML (*Extensible Markup Language*)<sup>18</sup>: JSON (*JavaScript Object Notation*)<sup>19</sup>.

---

<sup>16</sup> Los servidores web se encargan de encontrar el recurso solicitado por el cliente y proporcionárselo. Durante los primeros años el esquema de interacción cliente servidor era muy sencillo: el usuario pedía un recurso (generalmente un documento de texto) al servidor, éste respondía y finalizaba la sesión. En los últimos años se han establecido nuevos patrones de interacción, los servicios web ya no solo comparten documentos sino que se han erigido como una plataforma para desarrollar aplicaciones web y éstas deben reaccionar a los eventos generados por distintos usuarios. Sin embargo el protocolo HTTP es un protocolo sin estado (no fue diseñado para el intercambio bidireccional de mensajes): el servidor no es capaz de contactar con un cliente en particular, sino que debe esperar la petición del cliente para poder responderle.

<sup>17</sup> La organización internacional *Internet Engineering Task Force* (IETF) regula los estándares de internet, a través de las publicaciones *Request for Comments* (RFC). Las características de la tecnología WebSocket aparecen explicadas en el RFC 6455 [28]. En los últimos años se han publicado nuevos RFC que complementan otros aspectos de esta tecnología.

<sup>18</sup> Metalenguaje basado en marcas.

<sup>19</sup> Para más detalles acerca del formato JSON consúltese [12]

# CAPÍTULO TERCERO

## RESUMEN

Este capítulo y el capítulo siguiente reflejan el trabajo desarrollado en este proyecto.

En la primera parte del capítulo se explican los pasos llevados a cabo para extraer la información más importante de los ficheros originales.

La tarea de conversión (de los datos en formato JSON a estructuras mucho más accesibles desde el entorno de trabajo) y la posterior tarea de organización y clasificación de la información conllevan un ahorro de casi el 83% del espacio ocupado en memoria.

Para la tarea de conversión se emplea el algoritmo *loadjson* [15]. La tarea de organización y clasificación se realiza creando nuevas estructuras, aprovechando las características de Matlab y optimizando recursos. Se sugiere el planteamiento de una base de datos (programación orientada a objetos), de la que solamente se esboza el diagrama de clases. No se avanza en esta línea ya que la solución anterior resulta operativa.

En la segunda parte del capítulo se justifica cuál sería la señal de estudio más adecuada (señal sugerida) teniendo en cuenta: las características más importantes observadas en los datos registrados, los fundamentos del análisis DFA y la naturaleza del experimentos estadístico.

Respecto a las características observadas en los datos registrados, algunas tienen que ver con los comportamientos de los jugadores y la dinámica de las señales (componentes de baja y alta frecuencia), con la forma en que se representa el espacio virtual compartido (saltos finitos al atravesar la frontera), o con el modo en que se realiza la adquisición de los datos (irregularidades en la trayectoria). Aunque la característica más importante corresponde al muestreo no uniforme.

Observando la distribución del tiempo entre muestras se comprueba que no se ajusta a ninguno de los tipos más comunes de muestreo no uniforme, planteando incógnitas acerca de cuáles son los factores que lo provocan. Sin embargo, para poder abordar el problema se asume muestreo aleatorio, se propone la reconstrucción de las señales temporales y se discute cuál sería el tiempo de muestreo más adecuado.

Se introducen los fundamentos del análisis DFA (que permite estudiar las correlaciones de largo alcance para las señales fisiológicas). Se describe la naturaleza del experimento estadístico y, considerando la teoría de la complejidad, se comparan los planteamientos (señales sugeridas) desde dos perspectivas diferentes (paradigma individualista y paradigma holístico) concluyendo que el paradigma individualista permitiría abordar de forma más sencilla el análisis estadístico.

Finalmente se propone como señal sugerida para llevar a cabo el análisis DFA la interpretación de "camino aleatorio" a partir de las trazas registradas de cada jugador. Esta interpretación reflejaría las decisiones del jugador y podría revelar las claves de la interacción consideradas en el experimento de cruce perceptual.

## CAPÍTULO TERCERO

Para disponer de una visión global del análisis que se quiere abordar en el estudio experimental, se muestra a continuación un esquema de bloques muy básico que refleja las distintas etapas del proceso de análisis al que van a ser sometidas las señales registradas.

En este capítulo se explican las tareas de conversión, organización y clasificación de la información, y la sugerencia de las señales más apropiadas para el análisis DFA considerando las características de los datos registrados, los fundamentos del análisis DFA y la naturaleza del experimento estadístico. En el siguiente capítulo se abordará la tarea de reconstrucción.

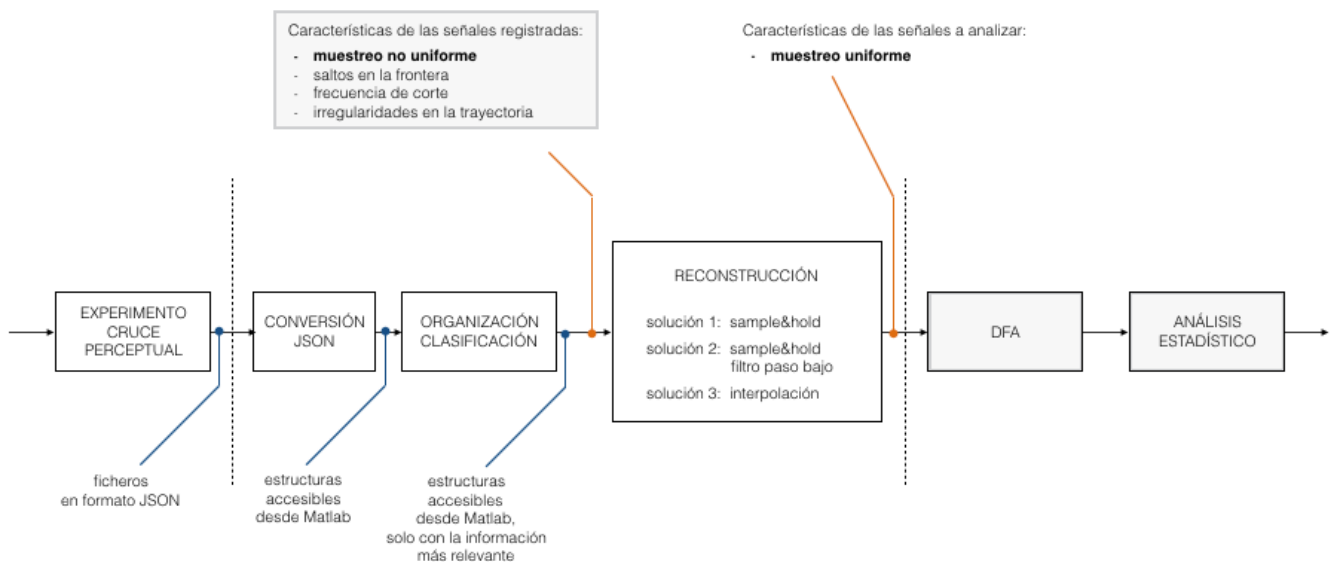


Fig 3.1. Esquema de bloques con las distintas etapas del proceso de análisis.

Los datos registrados en el experimento se encuentran en una serie de ficheros en formato JSON. El contenido de estos ficheros se adecua al entorno de trabajo, convirtiendo la información a estructuras accesibles desde Matlab, organizando y clasificando la información para disponer solamente de la más relevante para el análisis de los datos.

A continuación se inspeccionan las señales temporales para determinar las características de los datos registrados. Una de las características más importantes atiende al muestreo de la señal. Se proponen tres soluciones de reconstrucción para obtener señales muestreadas uniformemente (requisito para el análisis DFA).

Teniendo en cuenta las características de las señales registradas (en color gris), los fundamentos del análisis DFA (en color gris) y la naturaleza del experimento estadístico (en color gris), se discute cuál sería la señal más apropiada para realizar el análisis DFA.

Dicha señal se someterá al análisis DFA, basado en la estructura fractal de las series temporales, para el estudio de las correlaciones de largo alcance. El resultado de este análisis será un coeficiente que refleja la dinámica de la señal temporal analizada.

El conjunto de valores obtenidos tras el análisis DFA será analizado desde el punto de vista estadístico para poder establecer un contraste de hipótesis que permita comprobar si los cambios en el metabolismo cerebral de los sujetos que practican meditación se traducen en cambios significativos en su comportamiento ante situaciones de interacción social.

### 3.1. EXTRACCIÓN DE LA INFORMACIÓN RELEVANTE

Por cada una de las cuatro sesiones que forman el experimento A (en el que se centra este proyecto) se obtienen como resultado una serie de archivos de texto, distinguiendo tres tipos: los que contienen respuestas al cuestionario final, los que contienen información relativa a las rondas de entrenamiento y los que contienen información relativa a las rondas de juego.

En lo que respecta al primer tipo de archivos de texto (respuestas al cuestionario final), se dispone de un archivo por cada jugador. Contienen las respuestas al cuestionario final en el que se le pide al jugador por un lado que explique con sus propias palabras cuál ha sido su estrategia de juego y por otro lado que indique qué aspectos le han permitido distinguir personas y bots. Ha resultado interesante realizar la lectura de estos archivos para corroborar algunas estrategias de juego, pero no han resultado críticos ni determinantes para el desarrollo del proyecto.

En lo que respecta al segundo tipo de archivos de texto (información relativa a las rondas de entrenamiento), se presentan en formato JSON [12] y se dispone de un archivo por cada jugador. Aunque en un primer momento se consideró que podrían resultar interesantes para la calibración de parámetros y para la estimación de errores, debido a la falta de datos necesarios para reconstruir las trazas de los bots implicados finalmente se han desechado estos archivos.

En lo que respecta al tercer tipo de archivos de texto (información relativa a las rondas de juego), también se presentan en formato JSON y se dispone de un archivo por cada jugador. Dentro de cada archivo la información se ordena por rondas, la información de cada ronda contempla por un lado las condiciones generales en las que se ha desarrollado la ronda (duración de la ronda, tamaño del espacio virtual compartido, activación de señales acústicas en caso de colisión, instante temporal en el que se inicia la partida, etc.), y por otro lado los datos recopilados en el transcurso de la ronda (la traza del jugador<sup>20</sup> así como los datos necesarios para poder reconstruir la traza del contrincante<sup>21</sup>).

De modo que la información más relevante del experimento se encuentra en este último tipo de archivos. Esta información se presenta en formato JSON, fácil de leer para las personas ya que cuenta con separadores y marcadores (caracteres en ambos casos) que permiten estructurar la información, pero este proceso de lectura no es inmediato en el caso de las aplicaciones, ya que el archivo contiene una única cadena de caracteres lo que implica una lectura secuencial de todo el fichero cada vez que sea necesario acceder a un dato. Por lo tanto es necesario en primer lugar convertir estos datos a estructuras mucho más accesibles.

---

<sup>20</sup> Cada vez que el jugador cambia de posición se registra la siguiente terna de datos: el instante temporal en el que se produce el cambio, la nueva posición y un indicador que refleja si ese cambio ha provocado una colisión.

<sup>21</sup> En el caso de que el contrincante sea una persona, es suficiente con su identificador ya que por cada jugador existe un archivo de texto y por lo tanto solo se necesita acceder al archivo correspondiente para recuperar dicha traza. En el caso de que el contrincante sea un bot, según el tipo de bot: o bien se dispone de los parámetros que definen su comportamiento y que permiten reconstruir su traza, o bien se dispone directamente de su traza (si el comportamiento es más complejo).

## 3.1.1. CONVERSIÓN DEL FORMATO JSON

En este proyecto se ha empleado el algoritmo *loadjson*<sup>22</sup>. El algoritmo accede al fichero indicado como parámetro de entrada y realiza una lectura completa de la cadena de caracteres contenida en dicho fichero, identificando los separadores y marcadores definidos por el formato JSON y creando las estructuras necesarias en cada caso.

```
{
  "roundInfo": {
    "matchId": 12,
    "player": "Pilar
      6_FOX",
    "pairPlayerId": "BC8E8EBBA81A9D9D41962750989057B2",
    "round": 1,
    "group":
      0,
    "activeCollisions": 3,
    "passiveCollisions": 17,
    "timeDelay": 0,
    "pixelDelay":
      0,
    "crazyLeap": 0,
    "randomStep": 0,
    "randomList": [],
    "shadowFile": "",
    "shadowPlay":
      0,
    "complexList": [],
    "pendulumList": [],
    "foxList": [
      {
        "time": "0",
        "x": 0
      },
      {
        "time": "31",
        "x": 300
      },
      {
        "time": "47",
        "x": 319
      },
      {
        "time": "63",
        "x": 329
      },
      {
        "time": "94",
        "x": 339
      },
      {
        "time": "110",
        "x": 358
      },
      {
        "time": "125",
        "x": 367
      },
      {
        "time": "156",
        "x": 376
      },
      {
        "time": "172",
        "x": 394
      },
      {
        "time": "188",
        "x": 402
      },
      {
        "time": "219",
        "x": 411
      },
      {
        "time": "235",
        "x": 427
      },
      {
        "time": "250",
        "x": 434
      },
      {
        "time": "281",
        "x": 441
      },
      {
        "time": "297",
        "x": 454
      },
      {
        "time": "313",
        "x": 460
      },
      {
        "time": "328",
        "x": 466
      },
      {
        "time": "360",
        "x": 471
      },
      {
        "time": "375",
        "x": 480
      },
      {
        "time": "391",
        "x": 484
      },
      {
        "time": "422",
        "x": 488
      },
      {
        "time": "438",
        "x": 494
      },
      {
        "time": "453",
        "x": 496
      },
      {
        "time": "485",
        "x": 497
      },
      {
        "time": "500",
        "x": 499
      },
      {
        "time": "516",
        "x": 500
      },
      {
        "time": "547",
        "x": 499
      },
      {
        "time": "563",
        "x": 497
      },
      {
        "time": "578",
        "x": 496
      },
      {
        "time": "610",
        "x": 494
      },
      {
        "time": "625",
        "x": 488
      },
      {
        "time": "641",
        "x": 484
      },
      {
        "time": "672",
        "x": 480
      },
      {
        "time": "688",
        "x": 471
      },
      {
        "time": "719",
        "x": 466
      },
      {
        "time": "735",
        "x": 454
      },
      {
        "time": "750",
        "x": 447
      },
      {
        "time": "781",
        "x": 441
      },
      {
        "time": "797",
        "x": 427
      },
      {
        "time": "813",
        "x": 419
      },
      {
        "time": "844",
        "x": 410
      },
      {
        "time": "860",
        "x": 394
      },
      {
        "time": "875",
        "x": 385
      },
      {
        "time": "891",
        "x": 376
      },
      {
        "time": "922",
        "x": 367
      },
      {
        "time": "938",
        "x": 348
      },
      {
        "time": "953",
        "x": 338
      },
      {
        "time": "985",
        "x": 329
      },
      {
        "time": "1000",
        "x": 309
      },
      {
        "time": "1016",
        "x": 300
      },
      {
        "time": "1047",
        "x": 280
      },
      {
        "time": "1063",
        "x": 270
      }
    ]
  }
}
```

Fig 3.2. Ejemplo de la cadena de caracteres presente en cualquiera de los ficheros originales.

Como se puede observar en este ejemplo, entre los marcadores se encuentran los siguientes: llaves { }, corchetes [ ], comillas "", y signos de puntuación (p.e. dos puntos, comas). Para más información acerca de la sintaxis empleada en el formato JSON consúltese [12].

El resultado de la conversión es una nueva estructura de datos en la que es posible identificar distintos campos con sus valores correspondientes. En el anexo C.1 se muestra un ejemplo de estructura obtenida para un jugador, y la forma de acceder a los datos.

Esta nueva estructura resulta mucho más accesible desde Matlab (entorno de trabajo empleado en este proyecto para el análisis y tratamiento de los datos). La conversión presenta alguna ventaja más como se verá a continuación.

Por lo tanto, es necesario aplicar la conversión a cada uno de los archivos de texto citados (ficheros originales) obteniendo un conjunto de estructuras de datos.

<sup>22</sup> Algoritmo creado por Qianqian Fang. Qianqian Fang ha trabajado en la Escuela de Medicina de la Universidad de Harvard dedicando su trabajo al ámbito de la Imagen Médica (radiología), y actualmente participa en trabajos de bioingeniería en la Universidad Northeastern también en Massachusetts. El algoritmo también incluye los trabajos de mejora aportados por Nedialko Krouchev, François Glineur y Josel Feenstra con los que se han podido crear estructuras vacías (vectores y matrices) necesarias para la conversión. Dicho algoritmo se encuentra accesible desde de la plataforma de intercambio de archivos de MATLAB Central [15].

### VENTAJAS DE LA CONVERSIÓN

La información contenida en estas estructuras es la misma que la contenida en los ficheros originales. El acceso a esta información ya no se realiza mediante la lectura secuencial de la única cadena de caracteres (como sucedía en los ficheros originales), sino que con la nueva estructura de datos es posible acceder al valor de los campos definidos de forma mucho más rápida a través de variables.

La otra ventaja que proporciona la conversión se encuentra en la reducción del espacio de memoria necesario. A modo de ejemplo, a continuación se van a exponer algunas consideraciones que permiten entender por qué se produce esta reducción del espacio de memoria, para ello se analiza uno de los archivos disponibles<sup>23</sup>.

En este archivo se han detectado 341.852 caracteres. Mediante el código ASCII es posible representar cada carácter empleando 1 byte, de modo que este archivo ocuparía 334 KB. Además de los datos (en este caso, caracteres) Matlab también requiere una pequeña parte de memoria (al menos 8 KB) para definir y gestionar los distintos tipos de datos y estructuras contenidas en el archivo, de modo que se obtiene un archivo de 342 KB (fichero original).

Al realizar la conversión hay que tener en cuenta que:

Por un lado, todos los marcadores son interpretados adecuadamente al crearse la nueva estructura y dejan de formar parte de los datos del archivo. Entre estos marcadores se encuentran los siguientes: llaves { }, corchetes [ ], comillas “ ”, y signos de puntuación: p.e. dos puntos y coma. Los identificadores de los campos quedarán únicamente registrados en la zona de memoria que gestiona la nueva estructura de datos. Los identificadores más abundantes presentes en los ficheros originales son los siguientes: time, x, colision; aparecen en todas las trazas cada vez que se registra un cambio de posición del jugador. Tanto marcadores como identificadores de campo suponen alrededor del 50% del contenido del fichero original.

Por otro lado, hay que tener en cuenta que los números serán interpretados como tales y por lo tanto algunos números de tres cifras (3 bytes)<sup>24</sup> ahora pueden representarse con tan solo 1 byte<sup>25</sup>, y números de hasta cinco cifras (5 bytes)<sup>26</sup> se pueden representar con tan solo 2 bytes<sup>27</sup>.

---

<sup>23</sup> 20150604095642\_28E7BAB6E75FE95BE723352FF6AD289D\_infoJSON.txt

<sup>24</sup> En el fichero original cada cifra se corresponde con un carácter. Como cada carácter se representa mediante 1 byte, los números de tres cifras requieren de 3 bytes para ser representados en código ASCII.

<sup>25</sup> Números enteros sin signo comprendidos entre 0 y 127 (de tres cifras) pueden ser representados mediante 1 byte.

<sup>26</sup> En el fichero original cada cifra se corresponde con un carácter. Como cada carácter se representa mediante 1 byte, los números de cinco cifras requieren de 5 bytes para ser representados en código ASCII.

<sup>27</sup> Números enteros sin signo comprendidos entre 0 y 65535 (de cinco cifras) pueden ser representados mediante 2 bytes. Los números registrados en las trazas de los jugadores son números enteros sin signo: el tiempo (en milisegundos) siempre aparecerá como un número entero sin signo (su valor irá desde 0 hasta aproximadamente 30.000), y la posición del jugador (en píxeles) siempre estará comprendida entre los valores 0 y 600.

## CAPÍTULO TERCERO

Una vez citadas las claves que permiten entender en qué medida se produce un ahorro de memoria tras la conversión de un archivo, se analiza el tamaño ocupado por todos los archivos generados en el experimento (archivos de texto en formato JSON) y se compara con el tamaño resultante de los nuevos archivos tras la conversión.

### RESUMEN DE LA CONVERSIÓN:

Total ficheros JSON: 38  
Espacio ocupado en memoria antes de la conversión: 15.21 MB  
Espacio ocupado en memoria después de la conversión: 4.8221 MB  
Ahorro del espacio de memoria ocupado: 68.2968 %  
Tiempo total de conversión: 357.6723 segundos (aproximadamente 6 minutos)  
Tiempo medio de conversión por archivo: 8.1289 segundos

### 3.1.2. ORGANIZACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LA INFORMACIÓN

De entre toda la información disponible en los archivos generados en el experimento de cruce perceptual, solo parte de esa información es relevante para el análisis que se desarrolla en este proyecto. Se plantea una nueva estructura que solamente contenga la información necesaria, prescindiendo del resto de datos. Para facilitar el análisis de los datos se piensa en una estructura que permita un acceso mucho más intuitivo a la información. Por lo tanto se elabora un algoritmo que crea nuevas estructuras y las rellena con los datos de los archivos ya convertidos.

La traza de cada jugador viene descrita por una serie de valores que componen una terna en la que se indica el instante de muestreo (tiempo), la posición del jugador (posición) y si dicho movimiento ha provocado una colisión (colisión).

En los ficheros originales que contienen la información registrada de cada ronda también se registra en instante inicial (campo *startTime*) que sirve de referencia temporal para la ronda y el jugador correspondiente. Durante la organización y clasificación de la información, se compara la referencia temporal de todos los jugadores, para establecer un nuevo origen de tiempos, de modo que los nuevos valores guardados (instantes de muestreo) presenten la misma referencia temporal.

En el anexo C.2 se muestra el aspecto de esta nueva estructura. Para acceder a esta nueva estructura se emplean una serie de variables mucho más intuitivas: estudio, ronda,



## CAPÍTULO TERCERO

pareja. La nueva estructura emplea vectores y estructuras para organizar la información, aprovechando las características de Matlab y optimizando los recursos<sup>28</sup>.

Otra cuestión que se plantea hace referencia a qué hacer con las trazas “vacías”: el jugador ha decidido no mover el ratón durante toda la ronda y por lo tanto no ha habido registro de cambios en su posición, de modo que el campo correspondiente está vacío. En estos casos se ha decidido no desechar estas trazas porque esta decisión del jugador también tendría sentido como estrategia de juego desde el punto de vista del experimento de cruce perceptual: atendiendo al paradigma individualista<sup>29</sup>, la decisión de permanecer inmóvil permitiría al jugador reconocer a través de las colisiones pasivas al contrincante en determinados casos (por ejemplo al enfrentarse a un bot con movimiento oscilatorio<sup>30</sup>); y atendiendo al paradigma holístico<sup>29</sup>, considerando la pareja de jugadores, el comportamiento del otro jugador viene condicionado por el de éste.

Se define como “estructura inicial” la que se obtuvo tras la conversión del formato JSON, y “estructura final” la que obtiene tras la organización y clasificación de la información más relevante necesaria para continuar con el análisis de los datos del experimento.

### RESUMEN DE LA ORGANIZACIÓN Y CLASIFICACIÓN:

Espacio ocupado en memoria por la estructura inicial: 5.1<sup>31</sup> MB

Espacio ocupado en memoria por la estructura final: 2 MB

Ahorro del espacio de memoria ocupado: 49.02 %

Finalmente se compara el tamaño resultante de esta nueva estructura tras las fases de conversión y clasificación de la información. Se aprecia un ahorro notable.

### RESUMEN CONJUNTO:

Ahorro total del espacio en memoria: 82.91%<sup>32</sup>

---

<sup>28</sup> En esta nota se describe un ejemplo de optimización de recursos.

Se pueden plantear varias soluciones distintas para almacenar la traza del jugador: una posibilidad sería considerar un vector de estructuras (cada elemento del vector lo forma una estructura con tres campos: tiempo, posición y colisión), y otra posibilidad sería considerar una estructura de tres campos (tiempo, posición y colisión; y cada campo lo forma un vector).

Entre estas dos posibilidades, atendiendo a la optimización de recursos, la segunda solución sería mucho mejor: cada vez que Matlab define una estructura requiere uso de memoria para poder gestionarla. La primera solución define una estructura distinta para cada elemento del vector de modo que Matlab requiere uso de memoria para la gestión de cada una de estas estructuras, sin embargo para la segunda solución solo se define una única estructura necesitando mucho menos espacio en memoria.

La solución finalmente adoptada considera la optimización de recursos y además atiende a la robustez y consistencia de los datos, de modo que las trazas se almacenan en una matriz.

<sup>29</sup> En el apartado 3.4.1. se exponen las perspectivas de los paradigmas individualista y holístico.

<sup>30</sup> Bot FOX, descrito en el apartado 2.3.3.

<sup>31</sup> Se observa una pequeña diferencia entre el tamaño de la estructura reflejado en este resumen (informe) y el reflejado en el resumen generado tras la conversión del formato JSON (al final del apartado anterior 3.1.1). Esta pequeña diferencia se debe a una corrección que se tuvo que llevar a cabo al detectar que algunos caracteres numéricos no se habían convertido correctamente a los valores numéricos correspondientes, para lo cual se tuvo que elaborar un algoritmo que completase correctamente la tarea de conversión.

<sup>32</sup> El ahorro total del espacio de memoria incluye la fase de conversión y la fase de organización y clasificación.

## PLANTEAMIENTO DE LA BASE DE DATOS (PROGRAMACIÓN ORIENTADA A OBJETOS)

Esta nueva estructura sugiere una solución más elegante planteando la creación de una base de datos basada en programación orientada a objetos. Matlab dispone de herramientas que permiten definir objetos (atributos y métodos).

Esta solución se propone como posible futura línea de trabajo<sup>33</sup>. No se ha avanzado en la misma ya que la anterior solución adoptada (empleando vectores de celdas y estructuras) resulta operativa y sin embargo esta nueva solución requiere de un cuidadoso diseño que contemple las definiciones adecuadas de los objetos (atributos y métodos), así como las posibles herencias y relaciones entre los distintos elementos.

No obstante, como primera aproximación se ha esbozado un esquema con los objetos y las relaciones básicas que debería presentar. Este esquema se muestra en el anexo C.3.

---

<sup>33</sup> Esta solución permitiría acceder tanto a los datos del experimento A como a los datos del experimento B.

## 3.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS DATOS REGISTRADOS

Para poder llevar a cabo el análisis DFA (que se tratará en el apartado 3.3) es necesario disponer de una señal muestreada uniformemente. Y para poder abordar esta tarea y poder reconstruir las señales registradas de la forma más adecuada es necesario en primer lugar conocer las características que presentan los datos registrados.

A continuación se enuncian las características más importantes observadas en las señales registradas, estas características serán fundamentales para poder tomar decisiones y plantear soluciones al problema del análisis. En el anexo D se ilustran mediante ejemplos algunas de estas características.

### 3.2.1. SALTOS EN LA FRONTERA DEL ESPACIO VIRTUAL COMPARTIDO

Como se comentó en el apartado 2.2.3., en el experimento de Tom Froese y Ezequiel A. Di Paolo se modela el espacio virtual compartido como un espacio unidimensional de 600 unidades (semejante a una circunferencia) y también se modelan los cursores<sup>34</sup> que definen a los sujetos y a los objetos<sup>35</sup>. En el experimento A se implementan estos modelos y la posición de los jugadores se registra en un campo cuyo valor está comprendido entre 0 y 600.

Una de las consecuencias de esta implementación son los grandes saltos finitos que se producen en la frontera. Cuando un sujeto se desplaza en un sentido y atraviesa esta frontera, el valor del campo correspondiente pasa de valores cercanos a 600 a valores cercanos a 0, o viceversa. Este salto no es real y solo representa el paso del sujeto a través de la frontera. En el anexo D.1. se muestra un ejemplo de traza que presenta esta característica.

Como solución a este problema, los algoritmos desarrollados en el proyecto consideran directamente esta situación aplicando en los casos en los que se requiera aritmética modular, sentencias condicionales sujetas a un umbral de salto, o elección de la mínima distancia de salto entre dos muestras consecutivas y sus alías correspondientes

### 3.2.2. FRECUENCIA DE CORTE

Analizando con detalle la dinámica de las señales registradas se pueden observar distintos comportamientos en el movimiento de los jugadores.

---

<sup>34</sup> Cada cursor ocupa 4 unidades del espacio.

<sup>35</sup> Además de los dos sujetos (jugadores) también se definen dos objetos para cada jugador: objeto fijo y señuelo móvil asociado al contricante. Para más detalle, véase figura 2.2 (apartado 2.2.2).

## CAPÍTULO TERCERO

Desde el punto de vista frecuencial es posible pensar en componentes de baja frecuencia para aquellas situaciones en las que el valor de la posición del jugador se mantiene casi constante durante un largo intervalo de tiempo (en el anexo D.2. se muestra un ejemplo de traza que presenta esta dinámica). Del mismo modo, es posible pensar en componentes de alta frecuencia para situaciones en las que se producen movimientos oscilatorios muy bruscos (en el anexo D.3. se muestra un ejemplo de traza que presenta esta dinámica).

Se plantea por lo tanto una nueva cuestión acerca del rango de frecuencias contenidas en las trazas registradas.

Esta cuestión adquiere mayor importancia en el capítulo siguiente cuando se plantean distintas soluciones para reconstruir la señal. Una de las soluciones más sencillas e intuitivas consiste en asignar el último valor de posición registrado a cada nueva muestra introducida en el proceso de reconstrucción (*sample&hold*). Esta solución mantiene el valor de la posición del jugador hasta que se produce un cambio, y estos cambios tienen lugar en instantes muy concretos de tiempo, de modo que la señal reconstruida presenta una forma escalonada introduciéndose componentes de muy alta frecuencia cada vez que se produce un cambio en la posición del jugador.

Si se quisiera aplicar un filtro paso bajo a esta nueva señal reconstruida para eliminar esas componentes de muy alta frecuencia introducidas en la solución anterior, sería necesario conocer el rango de frecuencias contenidas en las trazas registradas para que el filtro preserve la información de la dinámica de los jugadores, y por lo tanto sería necesario definir una frecuencia de corte que represente la máxima variación en el movimiento de los jugadores<sup>36</sup>.

A partir de la información registrada, para poder determinar esa frecuencia de corte se analiza cuál es la variación que se produce entre las muestras de la señal.

### 3.2.3. IRREGULARIDADES EN LA TRAYECTORIA

Del mismo modo, observando con detalle la dinámica de las señales registradas, se pueden observar en determinadas ocasiones comportamientos irregulares que distan del comportamiento esperado.

---

<sup>36</sup> Si los instantes de muestreo estuviesen equiespaciados (condición que no se cumple, como se verá en los dos apartados siguientes), se podría recuperar el espectro original siempre que la frecuencia de muestreo satisfaga el criterio de Nyquist. Sin embargo, cuando las muestras no están equiespaciadas, se pierde la ortogonalidad de las exponenciales y se introducen componentes espectrales espúreas en la banda de interés. Confróntese [34].

Por otro lado, como se comentará en el anexo E (donde se habla de las implicaciones del muestreo no uniforme), el análisis espectral de este tipo de señales que no presentan estacionariedad ni muestreo uniforme de los datos, requiere el uso de técnicas de estimación de la densidad espectral de potencia menos conocidas, como el periodograma de Lomb. Confróntese [6].

En cualquier caso, la necesidad de conocer el espectro de la señal no resulta tan relevante como en otras aplicaciones médicas en las que las variaciones de las componentes frecuenciales pueden revelar desórdenes y patologías. Así pues, en el contexto en el que se están analizando las características de las señales registradas en este proyecto sería suficiente con determinar la máxima tasa de variación que se produce entre dos muestras consecutivas.

## CAPÍTULO TERCERO

Esto es así en segmentos en los que se aprecia un movimiento suave en la trayectoria del jugador que avanza en un sentido concreto. De repente el movimiento se ve interrumpido durante un breve intervalo de tiempo (manteniéndose constante el valor de posición), y más adelante vuelve a apreciarse de nuevo un movimiento suave (similar al que tuvo lugar antes de que se produjese la interrupción) pero esta vez en sentido contrario. Sería razonable pensar que ha sido el propio jugador el que ha detenido el movimiento llegado a ese punto para continuar en sentido contrario transcurrido un tiempo. Sin embargo, hay evidencias que sugieren otra explicación ya que las formas de onda parecen estar recortadas.

Por otro lado, también se observa que al producirse un movimiento amplio la trayectoria del jugador va cambiando pero el registro de estos datos no es minucioso: en principio sólo se registran las posiciones de los jugadores si éstas cambian de valor, de modo que para estos movimientos se esperaría disponer de un número elevado de puntos. Sin embargo esto no es así y se comprueba que solo se han registrado algunos de ellos: suficientes para observar la dinámica de la señal pero insuficientes en cuanto al muestreo esperado.

En ambos casos (tanto en el caso de las formas de onda recortadas como en el caso del número insuficiente de valores registrados) se considera que estas irregularidades podrían ser propias de la comunicación cliente servidor y de las características de la plataforma que permite llevar a cabo el experimento (como la gestión de interrupciones del sistema operativo o la limitación electromecánica de los dispositivos). En el anexo D.4. se muestra un ejemplo de traza que presenta esta característica y se observa que la distribución del tiempo de muestreo presenta un comportamiento extraño que no se ha podido explicar<sup>37</sup>.

### 3.2.4. MUESTREO NO UNIFORME

Considerando que sólo se registran las posiciones de los jugadores si éstas cambian de valor (criterio que asegura un buen uso de los recursos, en concreto, del espacio ocupado en memoria), y sin perder de vistas las irregularidades citadas anteriormente<sup>37</sup>, se observa que las señales registradas no presentan muestreo uniforme (como sería deseable para poder llevar a cabo el análisis DFA).

---

<sup>37</sup> Al analizar la distribución del tiempo de muestreo para una de las trazas (figura D.5.) se intuyó la presencia de ciertas ventanas de muestreo (tiempos de muestreo en torno a un valor concreto y en torno a sus múltiplos). En primer lugar se consideró que estas ventanas podrían deberse a la comunicación cliente servidor o a las características de la plataforma que permite llevar a cabo el experimento.

Sin embargo, analizando la distribución del tiempo de muestreo para otras trazas (figura D.6.) se descartó esta posibilidad, aunque se seguían apreciando ciertas ventanas temporales y se pensó que quizás la distribución del tiempo de muestreo estuviese relacionada con la dinámica de la señal. Pero señales con una dinámica (tasa de variación entre muestras consecutivas) similar no presentaban la misma distribución.

Durante la revisión de la memoria se volvió a considerar la primera hipótesis ya que la distribución del tiempo de muestreo podría estar relacionada con la realización de las distintas sesiones del experimento (las condiciones experimentales de cada sesión podrían ser diferentes, y las trazas de la figura D.6. pertenecen a sesiones diferentes). De momento no se ha encontrado una explicación al respecto y se ha propuesto como futura línea de trabajo investigar sobre este fenómeno.

## CAPÍTULO TERCERO

La siguiente cuestión que se plantea es definir un tiempo de muestreo adecuado que permita la reconstrucción de las señales<sup>38</sup> para obtener señales muestreadas uniformemente.

Una de las definiciones más sencillas para el tiempo de muestreo consistiría en identificar el mínimo intervalo de tiempo existente entre dos muestras consecutivas (considerando el conjunto completo de todas las señales registradas), es decir, la resolución de la escala temporal. Procediendo de este modo se obtiene una propuesta muy conservadora de tiempo de muestreo que además coincide con la unidad de tiempo más pequeña definida en el experimento: el milisegundo. Ahora bien, las consecuencias negativas que se derivan de considerar este tiempo de muestreo tan reducido repercuten especialmente en el espacio ocupado en memoria tras la reconstrucción de la señal.

De hecho, se ha comprobado que si se considera como tiempo de muestreo 1 ms, las nuevas trazas reconstruidas presentan, de media, un tamaño casi 33 veces mayor respecto a las trazas originales (muestreadas no uniformemente). Por este motivo, se decide que la reconstrucción de las señales se limite exclusivamente al paso previo al análisis DFA<sup>39</sup>.

A pesar de la desventaja que supone en cuanto a la ocupación de memoria, teniendo en cuenta la consideración anterior de limitar la reconstrucción exclusivamente al proceso de análisis, teniendo también en cuenta que el volumen de datos no es excesivo (trazas de hasta 30.000 muestras) y que los datos no se analizan en tiempo real (por lo tanto, el tiempo de procesado no es relevante), por sencillez se ha decidido considerar en este proyecto como tiempo de muestreo: 1 ms.

La siguiente cuestión que se plantea (y que se propone como futura línea de trabajo) consiste en buscar una mejor definición del tiempo de muestreo. La definición óptima del tiempo de muestreo será el resultado de un compromiso entre la máxima resolución temporal que permita seguir dibujando la dinámica de la señal original y el mínimo espacio necesario ocupado en memoria.

En relación a la resolución temporal, en el siguiente apartado se tratará otro aspecto que también podría condicionar el tiempo de muestreo, dándose allí las últimas pinceladas sobre este tema.

Antes de concluir este apartado es preciso comentar que la situación de muestreo no uniforme requiere de un análisis mucho más elaborado y exhaustivo, y que además presenta implicaciones importantes en el análisis frecuencial de la señal original. En este proyecto no se

---

<sup>38</sup> Llegado a este punto, conviene notar que siempre se cometerá un pequeño error en la reconstrucción de la señal original: el registro de las señales siempre lleva implícito un error de medida que se asume, este error de medida normalmente se expresa como un ruido aditivo, de muestras independientes, idénticamente distribuido y de media nula.

<sup>39</sup> En el diagrama de bloques de la figura 3.1. se aprecia que tras las fases de conversión y organización y clasificación de la información, los datos se almacenan en estructuras accesibles desde Matlab. Estas señales registradas se encuentran muestreadas no uniformemente. Sin embargo, el análisis DFA requiere de señales muestreadas uniformemente. Los fundamentos del análisis DFA se verán en detalle en el apartado 3.3.

Durante el proceso de reconstrucción, el tamaño de las trazas va a aumentar de forma notable, de modo que se trabajará con estas señales reconstruidas única y exclusivamente como paso previo al análisis DFA. El análisis DFA se aborda con un número muy reducido de trazas: una (si la señal sugerida sigue el paradigma individualista) o a lo sumo dos (si se consideran las trazas de la pareja de jugadores, siguiendo el paradigma holístico). Estos dos paradigmas (individualista y holístico) se explican en el apartado 3.4.1.

Una vez obtenido el resultado del análisis DFA (es decir, una vez obtenido el coeficiente que refleja la dinámica de las señales analizadas), las señales reconstruidas se desechan y solamente se almacena el coeficiente obtenido del análisis DFA.

## CAPÍTULO TERCERO

ha abordado esta circunstancia, pero se resalta la importancia y complejidad de este tema, proponiéndose dicho estudio como futura línea de trabajo. No obstante, en el anexo E se han expuesto algunas ideas relacionadas con este tema.

### 3.2.5. PRECISIÓN EN EL REGISTRO DE LAS COLISIONES

De toda la información disponible en las trazas registradas, el registro de colisiones es una de las más interesantes para comprobar el correcto funcionamiento del experimento desde el punto de vista técnico. El sistema detecta una colisión cuando dos sujetos atraviesan la misma posición en el espacio virtual compartido. La colisión (también denominada colisión activa<sup>40</sup>) se asigna al sujeto que ha iniciado el movimiento, es decir, al que ha provocado dicha colisión.

Debido a las irregularidades en las trayectorias y al muestreo no uniforme, no siempre es posible conocer la posición de los dos jugadores cada vez que se ha producido una colisión (en la mayoría de las ocasiones<sup>41</sup> solo se conoce la posición de uno de ellos), por lo tanto la posición del otro jugador es desconocida y presenta incertidumbre, dificultando el análisis.

Lo que uno espera encontrar en los instantes en los que se ha activado el indicador de colisión es que la posición de los dos jugadores coincida. Sin embargo, se ha comprobado que esto no es así, que existen ciertos márgenes.

La cuestiones que se plantean son las siguientes: si se pudiese analizar lo cerca o lejos que se encuentran los dos jugadores en el momento en el que se activa el indicador de colisión sería posible definir una resolución espacial, y del mismo modo si se pudiese determinar el margen de tiempo que transcurre desde que las trayectorias de los dos jugadores se cruzan hasta que se activa el indicador de colisión sería posible definir una resolución temporal.

### CÓMO AFECTA LA RESOLUCIÓN A LA DEFINICIÓN DEL TIEMPO DE MUESTREO

La resolución condiciona el ajuste del tiempo de muestreo. Para entender esta idea se va a considerar un ejemplo sencillo, véase la figura 3.3 en la página siguiente para entender mejor el planteamiento.

---

<sup>40</sup> En el elemento *roundInfo* de los ficheros originales en formato JSON (para más información consúltese en [24] la tabla D.6) se dispone de dos campos en los que se han registrado: por un lado el número total de colisiones activas (las que ha provocado ese jugador debido a sus movimientos) y por otro lado el número total de colisiones pasivas (debidas al movimiento del otro jugador).

En las trayectorias registradas de cada jugador (terna: tiempo, posición, colisión) solamente se dispone de la información detallada de las colisiones activas, entendiéndose que las colisiones pasivas podrían extraerse de la trayectoria registrada del contrincante (aunque esto solo sería posible si el contrincante es también otra persona, en el caso de bots esta información no estaría disponible).

<sup>41</sup> Tan solo en un 0,06% de todos los instantes registrados en los que se ha activado el indicador de colisión se dispone de la información simultánea de la posición de los dos jugadores que forman la pareja de juego. Y en general, para el conjunto de todas las muestras registradas en el experimento, solamente para el 1,71% de los instantes registrados (se haya producido colisión o no) se dispone de información simultánea de posición de los dos jugadores que forman la pareja de juego.

Si las trayectorias de los dos sujetos se cruzan pero el indicador de colisión se activa con un cierto retardo, no sería necesario afinar el tiempo de muestreo por debajo de ese margen temporal, ya que el sistema (la plataforma que soporta el experimento) no es capaz de discernir los eventos que se producen dentro de ese margen. Si solo se dispusiese de las trazas de posición, la definición de esta resolución temporal permitiría obtener el registro de colisiones de forma precisa a partir de las trazas de posición sin cometer ningún error.

Del mismo modo, cuando se registra una colisión es posible que en ese instante los dos sujetos se encuentren en posiciones distintas, separados una distancia concreta, pero situados lo suficientemente próximos como para considerar que en torno a ese instante temporal tuvo lugar una colisión. No es necesario concretar y afinar la posición exacta de los jugadores sino determinar una ventana espacial dentro de la cual se puede considerar que tuvo lugar una colisión<sup>42</sup>. Si solo se dispusiese de las trazas de posición, esta resolución espacial permitiría obtener el registro de colisiones de forma precisa sin cometer ningún error.

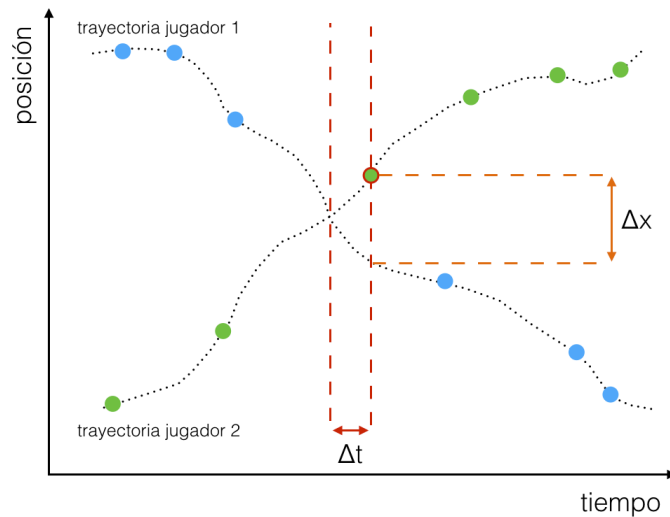


Fig 3.3. Resolución temporal y resolución espacial según el registro de las colisiones.

En esta figura se representa de forma hipotética la evolución temporal de la posición de dos jugadores, es decir, sus trayectorias (en línea discontinua) y los instantes muestreados por el sistema (puntos de color azul para el jugador 1 y puntos de color verde para el jugador 2). Se suponen dos trayectorias que se cruzan. Además, se destaca una de las muestras del jugador 2 (borde en color rojo) correspondiente a la muestra en la que se ha activado el indicador de colisión. Desde que se produce la colisión hasta que el sistema activa el indicador de colisión, transcurre un margen de tiempo  $\Delta t$  que definiría la resolución temporal. En el momento en el que se activa el indicador de colisión, los jugadores se encuentran separados una distancia  $\Delta x$  que definiría la resolución espacial.

El principal inconveniente que se observa en este planteamiento es la definición de una resolución con valores demasiado grandes que pudiesen enmascarar e incluso eliminar las variaciones que contienen información acerca de la estructura fractal y las correlaciones de largo alcance de las señales a analizar, invalidando el análisis posterior.

<sup>42</sup> Dicho en otras palabras, se podría establecer un valor umbral (resolución espacial) y si la diferencia de posición de los dos jugadores es inferior a dicho umbral, se puede considerar que tuvo lugar una colisión.



### 3.3. DETRENDED FLUCTUATION ANALYSIS

En el experimento de cruce perceptual descrito en el apartado 2.2.2. se analizan las series temporales<sup>43</sup> observando los eventos que se producen en torno a las reacciones del jugador (relación causa-efecto) mediante ventanas temporales de 2 segundos de duración.

La siguiente cuestión que se plantea es acerca de la conveniencia del tamaño de ventana: es posible que ésta no sea lo suficientemente grande y que algunos eventos de interés queden fuera de dicha ventana y pasen desapercibidos. También puede suceder que los patrones de comportamiento conserven la misma forma pero a diferentes escalas.

Ante esta situación, el grupo ISAAC, del Departamento de Ingeniería e Informática de Sistemas de la Universidad de Zaragoza, propone un nuevo análisis complementario [22] que permita estudiar la dinámica de la señal sin condicionar el análisis a la escala temporal elegida. Se trata del análisis DFA (*detrended fluctuation analysis*), conocido y empleado en otros ámbitos de la ciencia (como la climatología, la sismología, la fisiología, la psicopatología o la economía), se centra en el estudio de la estructura fractal de las series temporales y en el estudio de las correlaciones de largo alcance.

En el anexo F se describen, a través de varios ejemplos, los posibles comportamientos observados en las trazas de los jugadores<sup>44</sup>: en el primer ejemplo se aprecia el tiempo de reacción de un jugador<sup>45</sup>, en el segundo ejemplo se aprecia un comportamiento de búsqueda<sup>46</sup> y en el tercer ejemplo se aprecia un comportamiento de interacción<sup>47</sup>.

Estos comportamientos describen distintos patrones con características muy diferentes. Siguiendo el planteamiento del análisis tradicional (propuesto en el apartado 2.2.2.) la dinámica que presentan estos comportamientos podría no ser detectada correctamente si no se elige un tamaño de ventana adecuado. Sin embargo, mediante el análisis de la estructura fractal y las

---

<sup>43</sup> En este tercer capítulo todavía no se ha hecho ningún hincapié sobre qué tipos de señales se deberían analizar en el estudio experimental sobre el que versa este proyecto. Al final del apartado 3.4. se indicará cuál es la señal de estudio más adecuada (señal sugerida) teniendo en cuenta las características observadas en los datos registrados (comentadas en el apartado anterior), los fundamentos del análisis DFA (que se explicarán en este apartado) y la naturaleza del experimento estadístico (que se discutirá en el apartado siguiente).

No obstante, en el experimento al que hace referencia el texto (descrito en el apartado 2.2.2) se analizan los clicks que ha hecho el jugador con el ratón al identificar a una persona (efecto) y se ha tenido en cuenta la posición de todos los agentes que participan en el experimento para identificar cuál de ellos ha provocado ese efecto (causa).

<sup>44</sup> Conviene aclarar que las ideas desarrolladas en estos ejemplos son una interpretación del posible comportamiento de los jugadores observando sus trayectorias y podrían no corresponderse con la realidad. No obstante, las ideas expuestas están basadas en las evidencias observadas y han sido justificadas en la medida de lo posible.

<sup>45</sup> Cuando las trayectorias de los dos jugadores se cruzan, la plataforma emite una señal luminosa acompañada de una señal sonora y tras un pequeño intervalo de tiempo (tiempo de reacción al estímulo) el sujeto reacciona a las señales recibidas y modifica su trayectoria. El tiempo de reacción es de aproximadamente 1 segundo, aunque depende de las características de cada individuo.

<sup>46</sup> El sujeto va dando bandazos, barriendo todo el espacio, buscando al otro jugador.

<sup>47</sup> Cada vez que los dos sujetos se cruzan, modifican el sentido de avance y reducen la amplitud para provocar sucesivos cruces. En términos de sistemas dinámicos sus trayectorias confluyen hacia un atractor, se produce un "baile" en el que los dos sujetos parecen estar interactuando.

correlaciones de largo alcance, sería posible<sup>48</sup> reconocer los distintos patrones (ya que el análisis se lleva a cabo considerando todas las escalas temporales posibles) y cuantificar (a través del coeficiente DFA) la naturaleza dinámica de los mismos.

Avanzando un paso más en las etapas del estudio experimental (recuérdese fig. 3.1.): si este análisis DFA se aplica a todos los individuos que han participado en el experimento, se obtendría una muestra representativa de la población. Los valores obtenidos del análisis DFA describirían de algún modo el comportamiento de los individuos en situaciones de interacción social. Así pues, la siguiente cuestión que se plantearía sería comprobar si existen diferencias significativas entre el grupo de estudio y el grupo de control. Este asunto se abordará en el apartado siguiente (3.4). Una vez recordado el objetivo del experimento, volvamos al análisis DFA (que permitirá describir la naturaleza dinámica de las señales a analizar).

A continuación se explican las ideas más importantes acerca de este análisis<sup>49</sup>: en primer lugar se introducen los conceptos que permiten describir la naturaleza de las señales temporales que presentan estructura fractal, en segundo lugar se enuncian los pasos del algoritmo con el que se realiza el análisis DFA y que concluye con la obtención de un valor numérico (coeficiente  $\alpha$ ) que es una estimación del coeficiente de Hurst, y finalmente se muestra el resultado del análisis para distintos procesos.

### 3.3.1. FUNDAMENTOS DEL ANÁLISIS

Cada vez hay más evidencias de que los procesos fisiológicos presentan fluctuaciones que no están sujetas a una escala característica, y es precisamente en estas fluctuaciones (en la naturaleza dinámica de estos procesos) donde se encuentran las claves de determinadas funciones fisiológicas [39]. La siguiente cuestión que se plantea hace referencia a la estructura fractal de estas series temporales, para ello es necesario introducir previamente algunos conceptos importantes.

Se dice que una estructura presenta la propiedad de autosimilitud si una pequeña parte de la estructura es similar a la estructura completa. Esta propiedad de autosimilitud se observa en todas las dimensiones, es decir, se trata de una propiedad isotrópica. La propiedad de autoafinidad es un caso particular de autosimilitud en el que dicha propiedad solo se verifica para unas determinadas dimensiones (por ejemplo, la escala temporal en series temporales). Las series temporales que reflejan procesos fisiológicos pueden mostrar propiedades de autoafinidad.

Las estructuras que presentan autosimilitud y los procesos que presentan autoafinidad tienen una distribución estadística que puede expresarse mediante una ley de potencias. Si se

---

<sup>48</sup> Conviene notar que todavía no se ha demostrado que el análisis DFA aplicado sobre las señales temporales del estudio experimental sobre el que versa este proyecto pueda ofrecer unos resultados acordes a las expectativas puestas en dicho análisis. Hasta el momento la propuesta del análisis DFA se plantea como una alternativa en base a los resultados observados en otros experimentos en los que también se han estudiado respuestas fisiológicas que conllevan la intervención de funciones cognitivas] [22] [39].

<sup>49</sup> En los tres apartados siguientes, confróntese [25].

analiza la desviación estándar de estas series<sup>50</sup>, ésta presenta el mismo valor independientemente de la escala considerada mostrando por lo tanto la propiedad de invarianza temporal. La ley de potencias puede describirse a través del coeficiente de Hurst cuyo valor se encuentra comprendido entre 0 y 1.

### 3.3.2. DESCRIPCIÓN DEL ALGORITMO

El análisis DFA (*detrended fluctuation analysis*) fue introducido por Chung-Kang Peng en 1994 para el análisis de las correlaciones de largo alcance, con supuestos mucho menos estrictos (especialmente en lo que respecta a la estacionariedad de la señal) que los necesarios para la obtención de la señal de autocorrelación.

El algoritmo con el que se realiza el análisis DFA se resume en los siguientes pasos:

En primer lugar, para crear el perfil de la señal, se calcula la suma acumulada de la serie temporal.

A continuación se define un conjunto T de valores que representan diferentes tamaños equiespaciados en escala logarítmica, con valores comprendidos entre 4 muestras (valor mínimo) y el tamaño de la señal (valor máximo).

Para cada valor de longitud de ventana perteneciente al conjunto T, el perfil de la señal se divide en porciones pequeñas según el tamaño de ventana correspondiente, con solapamiento del 50%, obteniéndose un nuevo conjunto W.

Para cada una de las porciones pertenecientes al conjunto W, se elimina la tendencia lineal (empleando ajuste de mínimos cuadrados). A continuación se calcula la desviación estándar de la porción sin tendencia. Y finalmente se determina la función de fluctuación que depende del tamaño de ventana. Cada valor de la función de fluctuación representa la desviación estándar media de todas las porciones que presentan el mismo tamaño de ventana.

Si se representa la función fluctuación según el tamaño de ventana, empleando ejes logarítmicos, se obtiene de forma aproximada una recta cuya pendiente se identifica con el coeficiente  $\alpha$  del análisis DFA. Como se comentó anteriormente este valor numérico puede relacionarse con el coeficiente de Hurst.

En el proyecto se ha empleado el algoritmo *fastdfa* [32] para la aplicación del análisis a las series temporales.

---

<sup>50</sup> Se dice que un proceso estocástico no estacionario presenta la propiedad de autoafinidad en sentido estadístico si una versión escalada de una pequeña parte de la serie temporal presenta la misma distribución estadística que una parte mayor. En la práctica, esta propiedad se observa analizando la desviación estándar.

En concreto, para las señales registradas en este experimento se ha analizado la desviación estándar calculada a diferentes escalas y se ha comprobado que el valor medio permanece constante independientemente de la escala considerada, presentando por lo tanto la propiedad de invarianza temporal citada anteriormente.

### 3.3.3. PROCESOS ESTACIONARIOS Y PROCESOS NO ESTACIONARIOS

Los procesos estacionarios sin escala característica normalmente se pueden modelar como ruido gaussiano fraccional, mientras que los procesos no estacionarios sin escala característica se pueden modelar como ruido browniano fraccional.

Además, existe una estrecha relación entre estos dos modelos: las variaciones de un proceso browniano fraccional pueden modelarse como un proceso gaussiano fraccional con el mismo coeficiente de Hurst. Como consecuencia de esto, las definiciones dadas para procesos estacionarios se pueden extrapolar a procesos no estacionarios observando las variaciones de estos últimos.

En la siguiente tabla se muestra un esquema resumen que relaciona el coeficiente  $\alpha$  del análisis DFA, con el coeficiente de Hurst y distintos tipos de procesos. Se distinguen por un lado los procesos estacionarios de los no estacionarios. Y dentro de los estacionarios es posible distinguir entre procesos sin memoria (proceso incorrelado<sup>51</sup>) y procesos con memoria (proceso anticorrelado<sup>52</sup> y proceso correlado<sup>53</sup>).

PROCESOS ESTACIONARIOS $H = \alpha$	se pueden modelar como RUIDO GAUSSIANO FRACCIONAL	$0 \leq \alpha \leq 0.5$	proceso ANTICORRELADO
		$\alpha = 0.5$	proceso INCORRELADO
		$0.5 \leq \alpha \leq 1$	proceso CORRELADO
PROCESOS NO ESTACIONARIOS $H = \alpha - 1$	se pueden modelar como RUIDO BROWNIANO FRACCIONAL	$1 \leq \alpha \leq 2$	

Tabla 3.1. Esquema resumen en el que se relaciona el coeficiente  $\alpha$  del análisis DFA, con el coeficiente de Hurst y distintos tipos de procesos.

<sup>51</sup> Se dice que un proceso es incorrelado o sin memoria cuando el valor de una muestra es independiente de las muestras anteriores. Por el contrario, en un proceso con memoria el valor de una muestra depende de los valores de las muestras anteriores. Considerando el ejemplo de camino aleatorio, en el caso de un proceso incorrelado cada decisión tomada por el jugador es independiente de las decisiones anteriores y existe la misma probabilidad de que el jugador se desplace a izquierda o derecha.

<sup>52</sup> Un proceso anticorrelado puede interpretarse como el resultado de un mecanismo de estabilidad (equilibrio). Considerando el ejemplo de camino aleatorio, cualquier acción llevada a cabo por el jugador (por ejemplo, movimiento a la derecha) implica que lo más probable es que las acciones futuras vayan encaminadas en el sentido opuesto para preservar el equilibrio (movimiento a izquierda). Se trata de un proceso con memoria porque el valor de cada muestra depende de los valores de las muestras anteriores.

<sup>53</sup> Un proceso con correlación positiva tiene el efecto contrario al caso anterior (proceso anticorrelado). Considerando el ejemplo de camino aleatorio, cualquier acción llevada a cabo por el jugador (por ejemplo, movimiento a la derecha) implica que lo más probable es que las acciones futuras vayan encaminadas en el mismo sentido (movimiento a derecha). Se trata de un proceso con memoria porque el valor de cada muestra depende de los valores de las muestras anteriores.

## 3.4. NATURALEZA DEL EXPERIMENTO ESTADÍSTICO. SEÑALES SUGERIDAS.

Como ya se ha comentado anteriormente (recuérdese figura 3.1), las señales temporales son sometidas al análisis DFA y como resultado de este análisis se obtiene un coeficiente que describe la naturaleza dinámica de las señales. La siguiente etapa corresponde al análisis estadístico de los valores obtenidos del análisis DFA.

Uno de los objetivos del experimento es comprobar si las evidencias clínicas observadas (cambios en el metabolismo del cerebro y cambios axonales, en el grupo de estudio) reflejan también cambios importantes en los patrones de interacción social.

Las investigaciones más recientes apenas empiezan a desvelar las claves de la interacción social, de modo que al abordar este análisis no está claro cuáles son las señales que podrían resultar más interesantes, es decir, cuáles son las que mejor reflejan estos cambios. Así pues, ésta es una de las tareas más delicadas de los estudios de investigación que actualmente profundizan en esta materia.

No obstante, a continuación se van a desgranar tres aspectos interesantes que van a aportar una perspectiva mucho más completa del problema y que además van a permitir justificar la elección de la señal sugerida para el análisis.

### 3.4.1. PARADIGMA INDIVIDUALISTA Y PARADIGMA HOLÍSTICO

En primer lugar es necesario distinguir las dos vertientes de la sociología que analizan los fenómenos y las claves de la interacción social, una de ellas defiende el paradigma individualista que sitúa el punto de mira en el individuo, en sus decisiones y acciones, mientras que la otra vertiente defiende el paradigma holístico que sitúa el punto de mira en un orden superior. Así pues, sería posible plantear estas dos vertientes en el experimento en el que se centra este proyecto.

Según el paradigma individualista, los fenómenos sociales pueden reducirse en última instancia a los fenómenos propios del individuo, ya que el individuo es el elemento básico y real que constituye la sociedad y por lo tanto del que emanan los fenómenos sociales. En este sentido el interés del análisis se centra en la respuesta de cada jugador, es decir, en la trayectoria que describe. Por lo tanto, cada jugador genera una traza de posición y cada traza será sometida al análisis correspondiente para determinar los patrones de interacción que genera ese jugador.

Según el paradigma holístico, los fenómenos sociales no pueden limitarse a los individuos que componen la sociedad: el entorno condiciona nuestro comportamiento y la

## CAPÍTULO TERCERO

interacción social solo puede entenderse observando un orden superior. En este sentido, los patrones de interacción solo pueden analizarse considerando la pareja de jugadores que interactúa, no tendría sentido analizar por separado la traza de cada jugador ya que el comportamiento de uno de los jugadores viene condicionado por el comportamiento del otro. Por lo tanto, para cada pareja de jugadores sería necesario definir una nueva señal temporal que combinase los comportamientos de los dos jugadores (por ejemplo, una señal que representase la distancia relativa entre los dos jugadores) y sería esta nueva señal temporal la que se sometería al análisis correspondiente para determinar los patrones de interacción.

Por sencillez (y por otras razones, que se comentarán más adelante, relacionadas con la naturaleza del experimento) en este proyecto se va a considerar el paradigma individualista. No obstante, se propone como futura línea de trabajo abordar este mismo análisis desde la perspectiva holística.

### 3.4.2. LA INCÓGNITA DE LAS CLAVES DE LA INTERACCIÓN SOCIAL

En segundo lugar es conveniente considerar todas aquellas señales que pudieran reflejar de algún modo las claves de la interacción social. Se trata de uno de los puntos más complicados a desarrollar durante la investigación. Para abordar esta tarea es necesario recurrir al método científico: a partir de los paradigmas establecidos y los estudios realizados en la materia, se formulan ciertas hipótesis de trabajo, proponiendo el estudio de unas señales determinadas; a continuación se lleva a cabo el análisis de estas señales y se determina si éstas reflejan los cambios esperados, en caso contrario se formulan nuevas hipótesis de trabajo, proponiendo el estudio de nuevas señales.

Se plantea por lo tanto la cuestión de identificar cuáles son las señales que mejor reflejan las claves de la interacción social. Como punto de partida se consideran las trayectorias de los jugadores, es decir, se dispone de las trazas de posición. Atendiendo al sentido físico de estas señales, no sería nada descabellado considerar también la velocidad o la aceleración (señales obtenidas a partir de las primeras).

En concreto, en lo que respecta a la aceleración, se ha demostrado que cuando el sujeto ejerce un control activo sobre el movimiento del ratón para modificar su trayectoria, en la aceleración se reflejan estos cambios<sup>54</sup>. En otras palabras, en la aceleración se refleja la intención del sujeto, de modo que esta señal se postula como candidata al análisis.

De forma análoga al planteamiento anterior, y siguiendo esta vez la vertiente holística, como punto de partida se podría considerar la distancia entre jugadores (posición relativa). Y del mismo modo no sería nada descabellado considerar las derivadas correspondientes. No obstante, como se ha comentado anteriormente, se deja como futura línea de trabajo abordar este análisis (perspectiva holística).

---

<sup>54</sup> Esta premisa está basada en los resultados (comportamiento motor) obtenidos en uno de los experimentos descritos en el artículo [11]

## CAPÍTULO TERCERO

Además de las trayectorias de los jugadores (trazas de posición), también se dispone de las trazas que indican los instantes en los que se han producido colisiones activas. Así pues, otra posible señal de interés, relacionada con los experimentos de Malika Auvray y Charles Lenay sobre cruce perceptual (citados en el apartado 2.2.2.), consistiría en determinar la densidad de colisiones.

Cada vez que dos sujetos se cruzan, modifican el sentido de avance para provocar sucesivos cruces con el otro jugador. En términos de sistemas dinámicos sus trayectorias confluyen hacia un atractor, se produce un “baile” en el que los dos sujetos parecen estar interactuando. Por lo tanto, en esos casos de interacción la densidad de colisiones presentará un valor elevado.

### 3.4.3. NATURALEZA DEL EXPERIMENTO

Y en tercer lugar, y no menos importante, es necesario tener en cuenta la naturaleza del experimento desde el punto de vista estadístico. Además a la hora de plantear el análisis estadístico es fundamental comprobar que se cumple una de las condiciones más importantes: la independencia de las muestras<sup>55</sup>.

Se plantea por lo tanto la cuestión de determinar si todas las muestras del experimento son independientes o si existe algún tipo de relación entre ellas. En este apartado también se pretende aclarar cuáles serían las señales más apropiadas para analizar desde el punto de vista estadístico y por qué la perspectiva del paradigma individualista permite abordar el problema de una forma mucho más sencilla.

Recordando brevemente la descripción del experimento: se dispone de dos grupos (grupo de control y grupo de estudio); los jugadores de cada grupo se reparten en dos sesiones. En cada sesión se desarrollan varias rondas (en concreto, 10 rondas de juego), y en cada ronda un jugador puede enfrentarse a otro jugador o a un bot. Durante el juego se registra la trayectoria de cada jugador. Desde el punto de vista estadístico se dispone de 10 muestras por cada jugador, esas 10 muestras no son independientes entre sí ya que corresponden a un mismo jugador. Este hecho complica el análisis estadístico del experimento.

En este experimento se pretende abordar un contraste de hipótesis que permita demostrar si efectivamente se aprecian diferencias significativas en los patrones de interacción del grupo de estudio en comparación con los del grupo de control. Cada muestra se corresponde con un valor numérico (coeficiente obtenido del análisis DFA) que representa la naturaleza del patrón de interacción de un jugador en una partida determinada.

---

<sup>55</sup> Antes de continuar con esta idea es preciso realizar una pequeña aclaración para evitar cualquier confusión con los términos empleados. En los apartados anteriores, el término “muestra” hacía referencia a cada uno de los valores registrados que representan la posición del jugador en un determinado instante de tiempo, de modo que el conjunto de todas las muestras constituía la serie temporal correspondiente. Sin embargo, en este apartado se presenta una visión global del experimento desde el punto de vista estadístico: en cada ronda el jugador describe una trayectoria que se reduce (tras el análisis DFA) a un valor numérico que describe la naturaleza de su comportamiento, cada uno de estos valores numéricos (coeficiente  $\alpha$ ) constituye una muestra en el experimento.

## CAPÍTULO TERCERO

De forma general se propone elaborar un modelo de regresión. La elección de los factores que determinan la naturaleza del patrón de interacción es uno de los puntos más delicados, y dado que se están empezando a desvelar las claves de la interacción social y que el conocimiento en esta materia se está empezando a consolidar, la sugerencia de estos factores se basa en la observación y en la elaboración de hipótesis o planteamientos que deben ser comprobados.

Uno de los factores más importantes sería el que determina si el sujeto pertenece al grupo de estudio o al grupo de control, ya que el objetivo del modelo de regresión es comprobar si efectivamente las diferencias entre ambos grupos son significativas.

Pero también pueden influir otros factores, como el aprendizaje del sujeto a medida que éste va participando en las sucesivas rondas de juego. No obstante, se ha considerado que en el experimento A el número de rondas de juego es suficientemente pequeño como para que este factor no resulte relevante. Por el contrario, en el experimento B el número de rondas de juego es mayor, además tras varias rondas de juego se produce un cambio<sup>56</sup> y uno de los objetivos del experimento B es observar la capacidad de adaptación de los jugadores al cambio que se ha producido, de modo que en este caso sí sería relevante este factor de aprendizaje.

Otros factores a tener en cuenta serían aquellos que determinan las características de cada individuo (edad, sexo, etc.), así pues en el propio modelo de regresión ya se contemplarían estos factores asociados a cada individuo. Respecto a este punto, se dispone de una base de datos muy completa y detallada con las características de cada individuo, esta base de datos facilita la tarea de determinar dichos factores. En el anexo H se muestran las características recogidas en esa base de datos.

Debido a la complejidad de este análisis, se propone una solución algo más sencilla que también tiene en cuenta que para una misma persona se dispone de varias muestras. Se trata del modelo NLME (*non linear mixed effects*). Se propone como futura línea de trabajo realizar el análisis estadístico correspondiente de los datos obtenidos del análisis DFA.

Este análisis estadístico resultaría muchísimo más complejo si se considerase la perspectiva holística, ya que en ese caso cada muestra estaría vinculada a dos jugadores distintos, la dependencia entre las distintas muestras sería muchísimo mayor. Ilustrando esta idea, en el anexo I se muestra la interrelación entre los distintos jugadores que componen cada una de las parejas del experimento.

---

<sup>56</sup> Como se comentó en el apartado 2.3.3. y se ilustró de forma esquemática en el anexo B: El experimento B consta de 35 rondas. En la ronda 21 se procede a intercambiar una persona de un grupo con otra de otro grupo. Este cambio afecta a todos los grupos y se mantiene hasta el final del experimento.



### 3.4.4. SEÑALES SUGERIDAS

Así pues, teniendo en cuenta los puntos desarrollados en este capítulo (características de la señal registrada, nociones del análisis DFA y naturaleza del experimento estadístico), se sugiere realizar el análisis DFA de la siguiente señal temporal.

Para poder abordar el análisis estadístico de forma sencilla se considera el paradigma individualista y se centra la atención en las señales relacionadas con cada jugador. Las trazas registradas describen la posición de cada jugador durante el experimento (proceso no estacionario).

Si se tiene en cuenta la relación existente entre el modelo de procesos no estacionarios (ruido browniano fraccional) y el modelo de procesos estacionarios (ruido gaussiano fraccional), comentada en el apartado sobre el análisis DFA, la variación de la posición del jugador (señal sugerida) puede modelarse como un proceso estacionario.

Además, se pueden establecer ciertas analogías con el proceso descrito como camino aleatorio y considerar que los cambios de posición del jugador son el resultado de pequeñas decisiones tomadas por el mismo, pudiendo reflejar los procesos fisiológicos asociados a las funciones cognitivas que se pretende estudiar.



# CAPÍTULO CUARTO

## RESUMEN

En este capítulo, al igual que en el capítulo anterior, se refleja el trabajo desarrollado en este proyecto.

En el capítulo anterior se vio que las señales registradas presentaban muestreo no uniforme. Para poder abordar el análisis DFA es necesario disponer de señales muestreadas uniformemente. En este capítulo cuarto se plantean tres soluciones de reconstrucción de la señal según el tiempo de muestreo sugerido en el capítulo anterior.

- Solución 1. Se propone rellenar la señal según el criterio *sample&hold*.
- Solución 2. A la solución anterior (que introduce componentes de alta frecuencia) se le aplica filtrado paso bajo empleando: dos filtros paso bajo, con ventana de Kaiser, situados en cascada, ajustados experimentalmente, que preserven la dinámica que presentaba la señal antes de la reconstrucción.
- Solución 3. Interpolación. A partir del conjunto de muestras que definen la traza registrada, se realiza la interpolación mediante spline cúbico (en sustitución de la propuesta inicial de aplicar diferencias divididas de Lagrange, debido al orden elevado del polinomio integrador).

Para determinar el grado de precisión de estas reconstrucciones, por un lado se quiere estimar el error cometido en la reconstrucción, y por otro lado se quiere determinar el efecto del filtro paso bajo (presente en la segunda solución de reconstrucción) sobre los resultados del análisis DFA.

Como solo se dispone de las trazas registradas y no se conoce la trayectoria real del jugador, como primera aproximación se propone abordar el problema de la estimación del error cometido en la reconstrucción a partir del estudio de una serie de señales de referencia (procesos estacionarios que modelan de forma simplificada algunos comportamientos observados en el ámbito de la ciencia cognitiva y las funciones fisiológicas). Estas señales de referencia son sometidas a muestreo aleatorio obteniendo unas nuevas señales con ciertas características más o menos similares a las registradas en el experimento. Sobre estas señales muestreadas no uniformemente se aplican las tres soluciones de reconstrucción y se calcula el error cometido (ya que en este caso sí se dispone de la trayectoria real: señales de referencia). En el último apartado del capítulo se analizan los resultados obtenidos de la medida del error para las tres soluciones de reconstrucción: coeficiente de kurtosis y desviación típica de la distribución del error, y medida del error cuadrático medio.

En lo que respecta al efecto del filtro paso bajo (presente en la segunda solución de reconstrucción) sobre los resultados del análisis DFA, se considera de nuevo una serie de señales de referencia (en este caso, varias realizaciones de un proceso incorrelado: el resultado del análisis DFA de estas señales es conocido) a las que se les aplica el filtrado paso bajo, y las nuevas señales filtradas son sometidas al análisis DFA observando los resultados obtenidos e identificando el efecto del filtro en el análisis. Se propone como futura línea de investigación caracterizar el efecto de un filtro sobre el análisis DFA según el tipo de filtro (paso bajo, paso banda o paso alto), y sus características: frecuencia de corte o banda de paso. Y también se propone como futura línea de investigación realizar un análisis similar para determinar el efecto de las etapas consideradas en el resto de soluciones: intercalador de ceros y filtro de interpolación.

## 4.1. PLANTEAMIENTO GENERAL DE LAS SOLUCIONES

Para poder llevar a cabo el análisis de los datos es necesario realizar un tratamiento previo de las señales temporales registradas para adecuarlas a los requerimientos del análisis DFA, en concreto, disponer de señales muestreadas uniformemente. Para ello es necesario reconstruir la señal temporal.

En este apartado se van a esbozar, de forma general, las tres soluciones planteadas que permiten llevar a cabo la tarea de reconstrucción, y en los apartados siguientes se va a determinar la manera de medir el error cometido al reconstruir cada una de las señales, el efecto que tienen algunas soluciones adoptadas (en concreto, el efecto del filtrado paso bajo) sobre el análisis DFA, y algunos resultados acerca de las soluciones de reconstrucción.

El objetivo fundamental de la reconstrucción es obtener una nueva señal temporal, lo más fiel posible a la señal que describe la trayectoria del jugador (tomando como punto de partida la señal registrada), y que presente un muestreo uniforme.

Como se comentó en el capítulo anterior, solo se registran las posiciones de los jugadores si éstas cambian de valor. Por lo tanto, sería razonable pensar que el jugador permanece en la misma posición durante los instantes de tiempo comprendidos entre dos muestras registradas. Así pues, la primera solución que se va a plantear (*sample&hold*) mantiene el valor de la posición del jugador hasta la siguiente muestra registrada.

La nueva señal reconstruida presentará una apariencia de señal escalonada. La mayoría de las muestras tendrán el mismo valor que la muestra anterior: no aportarán información nueva (desde el punto de vista frecuencial estas muestras habrán introducido componentes de baja frecuencia). Las muestras presentes tanto en la señal reconstruida como en la señal registrada serán las muestras que aporten información, y precisamente es allí donde se producirán los cambios en la posición del jugador (escalones en la señal reconstruida) cuya variación podrá ser mayor o menor según los valores registrados; desde el punto de vista frecuencial con estas muestras se habrán introducido componentes de alta frecuencia.

La siguiente cuestión que se plantea es la conveniencia de un filtro que mitigue los efectos introducidos en la reconstrucción según la primera solución planteada. De este modo surge la segunda solución: no conforme con el resultado obtenido anteriormente (señal escalonada) se advierte de la necesidad de aplicar un filtro paso bajo a la señal reconstruida para que la nueva señal sea mucho más fiel y represente mucho mejor la trayectoria del jugador.

En el apartado 3.2. se analizaron las características de las señales registradas y se determinó una frecuencia de corte que representaba la máxima variación contenida en dichas señales. El diseño del filtro paso bajo deberá hacerse de modo que se respete la dinámica de la señal original y por lo tanto esa frecuencia de corte estimada deberá formar parte de las especificaciones del filtro. Al final de este apartado se describen algunos detalles del filtrado paso bajo diseñado para esta solución, y en el apartado 4.3. se tratará el efecto del filtro sobre el análisis DFA.

## CAPÍTULO CUARTO

La tercera solución planteada es independiente de las dos soluciones anteriores, considera el conjunto de las muestras registradas (es decir, un conjunto formado por parejas de puntos: tiempo y posición) y propone para la reconstrucción de la señal recurrir a la interpolación. De entre las posibles técnicas de interpolación se propone inicialmente como solución emplear el polinomio de interpolación de diferencias divididas de Lagrange en base a los siguientes puntos citados a continuación, y teniendo en cuenta la estabilidad que proporciona.

Considerando que las muestras registradas son el resultado del muestreo de la señal original, no se dispone de información adicional<sup>57</sup> (más allá de las muestras registradas) sobre las características de la señal original.

Una de las ventajas que presentan las diferencias divididas es que permiten estimar el error de interpolación sin necesidad de conocer la función original.

En algunas ocasiones el número de puntos puede resultar muy elevado<sup>58</sup> en los términos considerados para la interpolación. De hecho, en la práctica, para poder abordar el problema de interpolación se hará necesario recurrir a la técnica del spline cúbico en sustitución de las diferencias divididas.

Antes de concluir este planteamiento general de las soluciones, se va a explicar brevemente las características que presenta el filtrado paso bajo diseñado para la segunda solución de reconstrucción.

## DETALLES DEL FILTRADO PASO BAJO

Se contempla la necesidad de un filtro paso bajo que preserve la dinámica de la traza original registrada, conservando las máximas variaciones presentes en la trayectoria de los jugadores. El resultado del ajuste experimental del filtro da lugar al empleo de dos filtros paso bajo en cascada.

El primer filtro es un filtro paso bajo, con ventana de Kaiser, con una fuerte atenuación que consigue suprimir las componentes de alta frecuencia introducidas por la primera solución de reconstrucción (*sample&hold*). La banda de paso se extiende hasta los 35 Hz y presenta un rizado de 1 dB, mientras que la banda de atenuación presenta una atenuación de 80 dB para valores superiores a 75 Hz.

---

<sup>57</sup> Algunas técnicas de interpolación, como la interpolación de Hermite, aprovechan el conocimiento de estas características en su planteamiento, pero en este caso esa información no está disponible.

<sup>58</sup> El orden del polinomio está relacionado con el número de muestras consideradas inicialmente. Las trazas registradas teóricamente podrían llegar hasta las 30.000 muestras, aunque se constata que la traza registrada que presenta mayor número de muestras contiene 2.687 muestras. En cualquier caso se trata de un número muy elevado.

Si bien es cierto que mediante diferencias divididas es posible agilizar el cálculo de los coeficientes del polinomio integrador, la evaluación de las nuevas muestras reconstruidas requiere de un número muy elevado de operaciones.

## CAPÍTULO CUARTO

En la respuesta temporal de la señal filtrada ya no se observan los escalones abruptos de la primera solución de reconstrucción, pero todavía se aprecia la forma escalonada de la señal (aunque con pendiente algo más suave), de modo que se decide emplear un segundo filtro en cascada que permita obtener una representación mucho más cercana a la trayectoria real del jugador.

Este segundo filtro es también un filtro paso bajo con ventana de Kaiser. La banda de paso se extiende hasta los 5 Hz y presenta un rizado de 0.1 dB, mientras que la banda de atenuación presenta una atenuación de 40 dB para valores superiores a 25 Hz.

Para la implementación de estos filtros, se ha empleado el algoritmo *designfilt* de la librería de Matlab y se ha recurrido a filtros con ventana de Kaiser por comodidad y facilidad a la hora de determinar las características de los mismos y permitir de forma sencilla su ajuste.

Además se ha analizado el retardo temporal introducido por el filtro estudiando la respuesta impulsional conjunta, y se ha observado que los dos filtros en cascada introducen un retardo de 116 muestras (valor necesario para poder realizar correctamente la medida del error descrita en el apartado siguiente al comparar la señal reconstruida con la señal real).

### 4.2. MEDIDA DEL ERROR

El conjunto de señales registradas es la única información disponible sobre la trayectoria de los jugadores. La siguiente cuestión que se plantea es si las nuevas señales obtenidas de la reconstrucción representan de forma fiel a las señales originales. De la trayectoria real del jugador solo se conocen los valores registrados, es decir, el valor de la posición del jugador en determinados instantes de tiempo. Esos instantes de tiempo son los que permitirán medir el error como la diferencia entre los nuevos valores reconstruidos y los valores registrados en el experimento.

Según esta medida del error, la primera solución de reconstrucción (*sample&hold*) no presentaría ningún error ya que mantiene el valor de posición hasta que se produce un cambio, por lo tanto en esos instantes tanto la señal registrada como la señal reconstruida toman el mismo valor. Del mismo modo, la tercera solución de reconstrucción (interpolación) tampoco presentaría ningún error ya que en la interpolación se impone como condición que la señal reconstruida pase por los puntos de la señal original.

Sin embargo, esta primera propuesta de medida del error no es adecuada. Teniendo en cuenta las irregularidades de la señal, comentadas en el apartado 3.2.3, es posible que entre dos muestras consecutivas de la señal registrada la trayectoria del jugador haya cambiado aunque no se hayan registrado de forma minuciosa estos cambios.

Para ilustrar esta idea, se va a considerar un ejemplo sencillo (figura 4.1): el jugador describe una trayectoria (señal de color rojo) representada como un desplazamiento a velocidad constante entre dos muestras consecutivas de la señal registrada.

## CAPÍTULO CUARTO

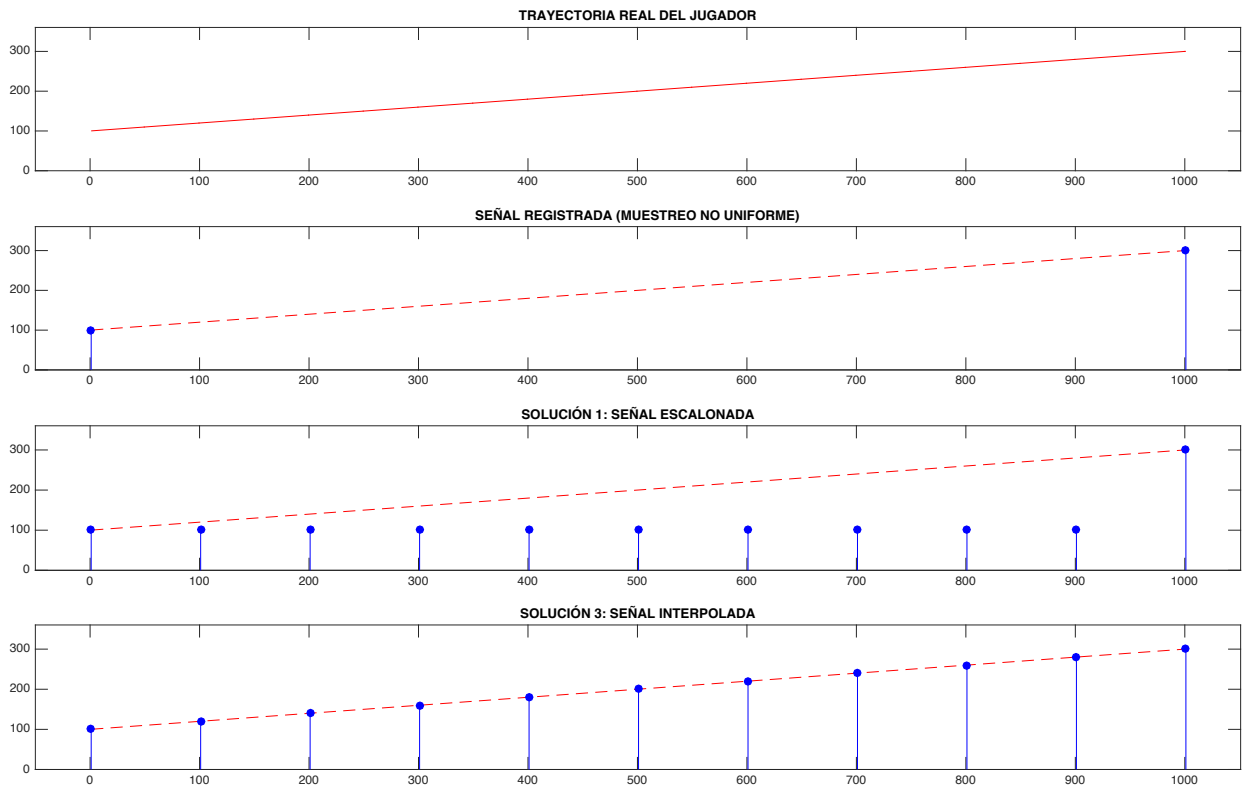


Fig 4.1. Medida del error

En esta figura se representa de forma cualitativa un ejemplo sencillo que demuestra que la medida del error, basada en la diferencia entre los valores registrados y los valores de las señales reconstruidas, no puede limitarse únicamente a los instantes de muestreo de la señal registrada. El eje horizontal muestra la evolución temporal y el eje vertical indica la posición del jugador.

La primera solución de reconstrucción (*sample&hold*, señal escalonada) mantiene el mismo valor hasta que se produce el cambio, de modo que el error en los extremos sería nulo, sin embargo el error cometido entre esas dos muestras registradas se incrementaría de forma gradual siendo máximo en las proximidades de la segunda muestra. Esta medida del error es mucho más realista. El inconveniente es que no se conoce la trayectoria real del jugador, solo se dispone de las muestras registradas.

## CAPÍTULO CUARTO

Para poder caracterizar el error de las soluciones de reconstrucción, en primer lugar se creará una señal de referencia<sup>59</sup> que representará el comportamiento de un jugador (equivalente a la trayectoria real). A partir de ésta, mediante muestreo aleatorio (muestreo no uniforme) se obtendrá una nueva señal con características más o menos similares a las que presentan las señales registradas, y será sobre esta nueva señal sobre la que se aplicarán las soluciones de reconstrucción. Como en este caso se conoce la trayectoria real, será posible medir de forma exacta el error cometido en cada una de las soluciones.

Para lograr la estimación del error de reconstrucción se calcula el error<sup>60</sup> de las tres soluciones para distintas señales de referencia<sup>61</sup>, y se analiza la distribución que presenta este error incidiendo especialmente en la caracterización de la distribución mediante el coeficiente de kurtosis<sup>62</sup> y la desviación típica<sup>63</sup>; también se ha considerado la medida del error cuadrático medio para cada una de estas situaciones. En el apartado 4.4. se exponen los resultados obtenidos de este análisis.

### 4.3. EFECTO DEL FILTRO EN EL RESULTADO DEL ANÁLISIS DFA

Como se explicó en el capítulo 3.3., el análisis DFA permite estudiar las correlaciones de largo alcance e identificar la naturaleza de la estructura fractal de la serie temporal. Si la señal reconstruida (muestreada uniformemente) se somete a un filtro paso bajo (como se plantea en la segunda solución de reconstrucción) es evidente que el efecto de este filtro va a modificar la dinámica de la señal de modo que el valor de una muestra no se va a alejar demasiado del valor de las muestras que la rodean. Este efecto también depende del tiempo de muestreo y del número de muestras nuevas introducidas en el proceso de reconstrucción de la señal.

---

<sup>59</sup> Para poder abordar el problema, por sencillez se va a considerar el comportamiento descrito por un proceso estacionario que sigue una ley de potencias. No obstante, se propone como futura línea de trabajo experimentar con modelos matemáticos y estadísticos más elaborados y complejos que se aproximen mejor al comportamiento del jugador.

Para poder generar esta señal de referencia se ha empleado el algoritmo *spatialPattern* creado por Jon Yearsley (2004) siguiendo el método descrito en [31]. Este algoritmo se encuentra accesible desde la plataforma de intercambio de archivos de Matlab Central [49]. Jon Yearsley ha trabajado en Macaulay Land Use Research Institute (ahora conocido como James Hutton Institute) para el estudio e investigación de las consecuencias medioambientales y sociales del uso de los campos en el entorno rural; y actualmente se dedica al modelado de procesos ecológicos en la Escuela de Biología y Ciencias Medioambientales de la Universidad de Dublín.

<sup>60</sup> Diferencia entre la señal de referencia (trayectoria real) y la señal reconstruida.

<sup>61</sup> Considerando el comportamiento descrito por un proceso estacionario que sigue una ley de potencias, las señales de referencia que se van a considerar corresponden a distintos valores del exponente que describe esta ley de potencias. En concreto, se consideran los valores para los que tiene sentido la descripción de procesos que modelan de forma simplificada comportamientos desde el punto de vista cognitivo. [21] [22]

En relación a los procesos descritos en la tabla 3.1, se estarían considerando valores de  $\alpha$  comprendidos entre 0 y 2.

<sup>62</sup> El coeficiente de kurtosis es una medida del apuntamiento que presenta la distribución del error. La mejor solución de reconstrucción será la que presente mayor coeficiente de kurtosis (mayor apuntamiento).

<sup>63</sup> La desviación típica es una medida de la dispersión que presenta la distribución del error. La mejor solución de reconstrucción será la que presente menor desviación típica (menor dispersión).



## CAPÍTULO CUARTO

En este apartado se pretende caracterizar el efecto del filtro sobre el resultado del análisis DFA. Para poder llevar a cabo esta tarea será necesario considerar una señal de referencia (de la cual se conozca el resultado del análisis DFA) de modo que al aplicar el filtrado paso bajo sobre esta señal se pueda observar cómo afecta al resultado y qué cambios introduce el filtro. [25]

En este contexto, una de las señales más estudiadas es precisamente el ruido blanco. Se trata de una señal incorrelada, proceso sin memoria, en la que cada muestra es independiente de la anterior. Al ser sometida al análisis DFA se obtiene como resultado una recta cuya pendiente se identifica con el exponente  $\alpha$  del análisis: coeficiente de valor 0,5. Además el espectro frecuencial de la señal también es conocido: el ruido blanco contiene todas las componentes frecuenciales y éstas presentan la misma potencia, de modo que el espectro del ruido blanco puede verse como un espectro plano en frecuencia.

El efecto del filtro no solo modifica el espectro frecuencial de la señal (en este caso, al tratarse de un filtro paso bajo elimina las componentes de alta frecuencia) sino que también modifica el resultado del análisis DFA. La nueva curva presenta un comportamiento similar al del ruido blanco para escalas grandes, pero distinto para las pequeñas escalas (figura 4.2).

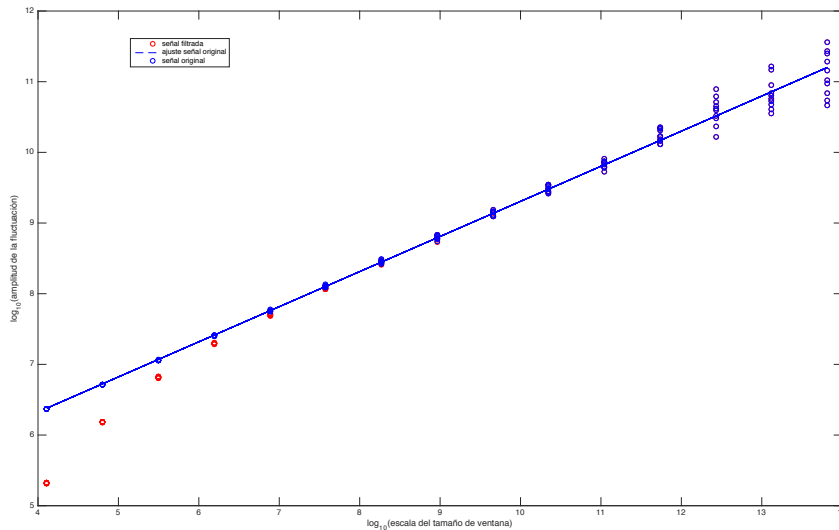


Fig 4.2. Efecto del filtro en los resultados del análisis DFA

La figura muestra la representación que se obtiene al someter al análisis DFA varias series temporales<sup>64</sup> correspondientes a procesos incorrelados. La pendiente de la curva (en color azul y línea continua) que se ajusta a los valores obtenidos para este proceso (nube de puntos en color azul) muestra un coeficiente  $\alpha=0,5$ .

En la figura también se muestra la representación que se obtiene al someter al análisis DFA las series temporales filtradas (nube de puntos en color rojo). El efecto del filtro se aprecia especialmente para las escalas más pequeñas, para las que el comportamiento dinámico de la señal filtrada se aleja del comportamiento del proceso incorrelado.

<sup>64</sup> Se han llevado a cabo 100 realizaciones de un proceso incorrelado obteniendo para cada realización una serie temporal de larga duración (1.000.000 muestras). No obstante, por claridad, en la figura 4.2 solamente se han representado los resultados de 10 realizaciones.

## CAPÍTULO CUARTO

Efectivamente este comportamiento era el comportamiento esperado, ya que por efecto del filtro paso bajo se eliminan las componentes de alta frecuencia de modo que el valor de una muestra estará muy próximo al valor de las muestras que la rodean. La correlación entre muestras será muy grande para muestras muy próximas (por efecto del filtro paso bajo) pero a medida que aumente la separación entre muestras (escalas temporales mayores en el desarrollo del análisis DFA) la correlación disminuirá y se asemejará a la existente en el caso de ruido blanco (muestras independientes).

Comprobado el efecto del filtro paso bajo sobre el resultado del análisis DFA, el filtro (y más concretamente la frecuencia de corte del mismo) define un umbral de escala a partir del cual el resultado del análisis coincide con el caso original (sin filtro). Por lo tanto, el resultado del análisis DFA deberá considerarse a partir de ese umbral para que los valores obtenidos sean los que corresponden a la señal original.

Se propone como futura línea de trabajo determinar la relación que pudiera existir entre el tipo de filtro (filtro paso bajo, filtro paso alto o filtro paso banda), la frecuencia de corte o banda de paso, y la forma de la curva obtenida del análisis DFA considerando la señal de referencia (ruido blanco).

En este capítulo se ha caracterizado el efecto del filtro en el análisis DFA. Del mismo modo, sería posible plantearse el efecto que provocan las otras etapas que también forman parte de las soluciones de reconstrucción planteadas: efecto del intercalador de ceros y efecto del filtro interpolador. La caracterización del efecto de estas etapas sobre el análisis DFA se propone como futura línea de trabajo.

## 4.4. RESULTADOS

Las señales de referencia consideradas para la medida del error de reconstrucción se identifican con procesos que modelan de forma simplificada algunos comportamientos observados en el ámbito de la ciencia cognitiva y las funciones fisiológicas. [22] [39]

Además, para la obtención de los resultados comentados en este apartado, se han considerado algunas de las nociones presentadas en el apartado 3.3. y, más concretamente, las correspondientes a procesos estacionarios y no estacionarios comentadas en el apartado 3.3.3., que pueden resumirse según la tabla 3.1.

Antes de mostrar los resultados obtenidos para las distintas soluciones de reconstrucción se va a reflexionar acerca de la información contenida en la señal muestreada y cuáles serían los resultados esperados.

En el caso de procesos incorrelados<sup>51</sup>, sin memoria, cada muestra del proceso es independiente del resto de muestras que constituyen la señal de referencia. Esta señal se somete a muestreo aleatorio para disponer de una nueva señal con características más o menos similares a las de las señales registradas en el experimento.

Como consecuencia de la naturaleza del proceso incorrelado, la señal con muestro no uniforme también estará formada por muestras independientes. Todas aquellas muestras pertenecientes a la señal original que no se encuentran en la nueva señal muestreada no se van a poder reconstruir porque no se dispone de información suficiente para hacerlo. Por lo tanto, se espera que para este tipo de procesos, las tres soluciones de reconstrucción no alcancen el objetivo y no sean capaces de reconstruir la señal original.

Sin embargo, en el caso de procesos correlados<sup>52,53</sup>, con memoria, el valor de cada muestra depende de los valores de las muestras anteriores, por lo tanto cada muestra contiene información de las muestras de su entorno. El tiempo de muestreo<sup>65</sup> y el grado de correlación del proceso<sup>66</sup> influirán en los resultados. No obstante, para este tipo de procesos se esperan mejores resultados en la reconstrucción de las señales.

Para la medida del error se han llevado a cabo 100 realizaciones distintas para cada uno de los casos analizados<sup>67</sup> para poder disponer de muestras suficientes que permitan considerar el teorema del límite central.

A continuación se comentan brevemente los resultados observados para las tres soluciones de reconstrucción. Se muestra el aspecto que presenta en cada caso la distribución del error (fig. 4.3), destacando las características más importantes observadas: medidas de centralización (media), de dispersión (desviación típica) y de forma (coeficiente de kurtosis o apunta-

---

<sup>65</sup> Como se comentó en el apartado 3.2.4., en el que se explicaron los pros y contras que conlleva la elección de un determinado tiempo de muestreo, se sugiere como tiempo de muestreo: 1 ms.

<sup>66</sup> El grado de correlación del proceso puede variarse considerando distintas señales de referencia. De hecho, en este estudio se ha procedido de esta manera para estimar el error cometido en función de las características que puede presentar el proceso.

<sup>67</sup> Es decir, para cada solución y cada valor del exponente de la ley de potencias, se han llevado a cabo 100 realizaciones distintas.

## CAPÍTULO CUARTO

miento). También se muestra la medida del error cuadrático medio para cada uno de los casos considerados. Estos resultados se complementan con las gráficas del anexo J donde se puede observar y comparar la reconstrucción de las señales en el dominio temporal.

### DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DEL ERROR DE RECONSTRUCCIÓN

En la siguiente figura se muestra la distribución de probabilidad del error para las tres soluciones de reconstrucción (en la primera fila se representan los resultados de la primera solución, en la segunda fila los de la segunda solución y en la tercera los de la tercera solución), considerando distintos valores del exponente de la ley de potencias que describe los procesos reflejados en las señales de referencia empleadas para la medida del error.

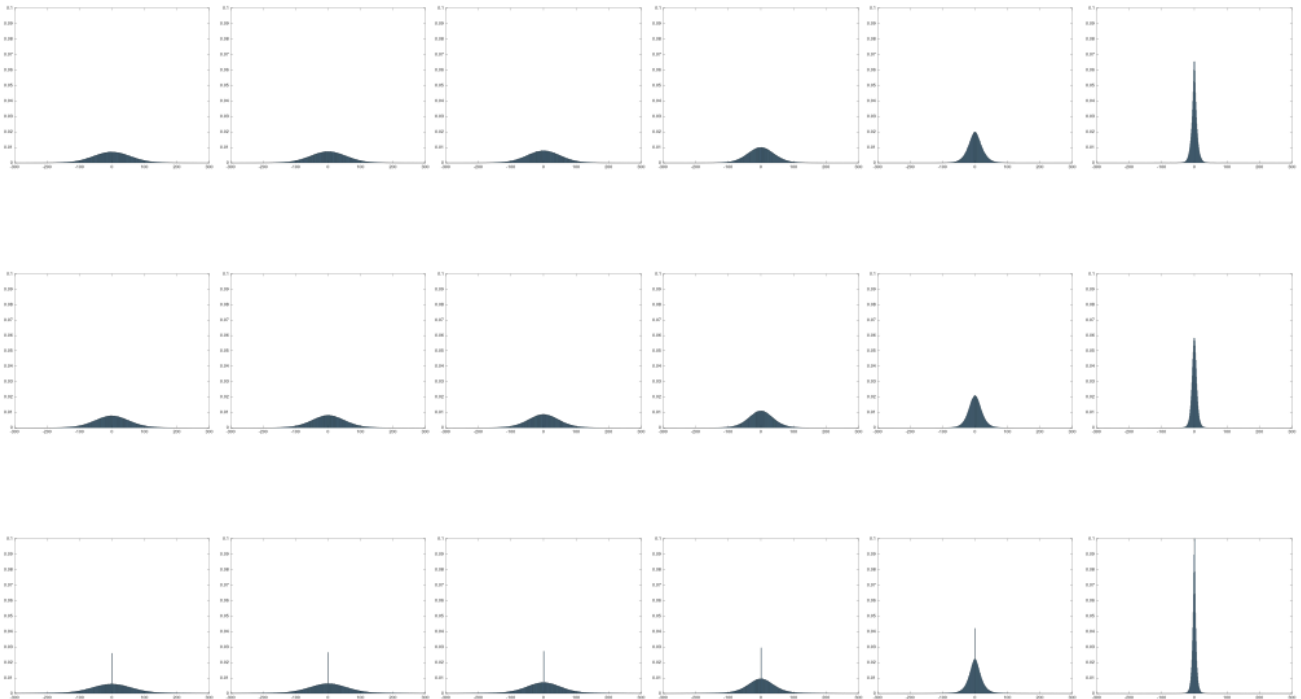


Fig 4.3. Distribución de probabilidad del error de reconstrucción.

En esta figura se muestra la distribución de probabilidad del error de reconstrucción, considerando para cada uno de los casos mostrados un número suficiente de realizaciones (en concreto, 100 realizaciones) que permita considerar el teorema del límite central. Cada fila representa una solución de reconstrucción diferente. Cada columna corresponde a un valor distinto del exponente de la ley de potencias que describe los procesos reflejados en las señales de referencia empleadas para la medida del error. En concreto, los valores del exponente de la ley de potencias representados en la figura son los siguientes:  $\beta=0.2$ ,  $\beta=0.5$ ,  $\beta=0.7$ ,  $\beta=1.0$ ,  $\beta=1.5$ ,  $\beta=2.0$ .

Para precisar acerca del aspecto de estas distribuciones, en las tablas mostradas a continuación se indican las características más importantes observadas.

## CAPÍTULO CUARTO

### PRIMERA SOLUCIÓN

		$\beta=0.2$	$\beta=0.5$	$\beta=0.7$	$\beta=1.0$	$\beta=1.5$	$\beta=2.0$
medida de centralización	media	-0.09	0.63	0.06	-0.10	0.12	-0.05
medida de dispersión	desviación típica	57.55	55.53	52.01	41.40	23.05	9.06
medida de forma	kurtosis	3.0481	3.0613	3.0847	3.2026	3.7965	9.9165

Tabla 4.1. Medidas de la distribución del error de reconstrucción para la solución 1.

### SEGUNDA SOLUCIÓN

		$\beta=0.2$	$\beta=0.5$	$\beta=0.7$	$\beta=1.0$	$\beta=1.5$	$\beta=2.0$
medida de centralización	media	-0.11	0.61	0.03	-0.11	0.12	-0.05
medida de dispersión	desviación típica	53.22	51.30	47.97	38.18	21.12	8.25
medida de forma	kurtosis	3.1281	3.1462	3.1909	3.2989	3.6802	9.8893

Tabla 4.2. Medidas de la distribución del error de reconstrucción para la solución 2.

### TERCERA SOLUCIÓN

		$\beta=0.2$	$\beta=0.5$	$\beta=0.7$	$\beta=1.0$	$\beta=1.5$	$\beta=2.0$
medida de centralización	media	-2.89	-1.30	0.23	0.41	0.23	0.00
medida de dispersión	desviación típica	900.10	234.54	102.07	119.07	30.77	18.49
medida de forma	kurtosis	$2.85 \cdot 10^4$	$1.14 \cdot 10^4$	$0.05 \cdot 10^4$	$0.46 \cdot 10^4$	$0.10 \cdot 10^4$	$0.76 \cdot 10^4$

Tabla 4.3. Medidas de la distribución del error de reconstrucción para la solución 3.

## CAPÍTULO CUARTO

### ERROR CUADRÁTICO MEDIO

	$\beta=0.2$	$\beta=0.5$	$\beta=0.7$	$\beta=1.0$	$\beta=1.5$	$\beta=2.0$
solución 1	57.4418	55.4546	51.9188	41.2484	22.9004	8.9402
solución 2	53.1267	51.2282	47.8954	38.0517	20.9858	8.1416
solución 3	395.8021	159.2397	98.3666	90.6324	28.5065	11.8017

Tabla 4.4. Medida del error cuadrático medio para las tres soluciones de reconstrucción.

### VALORACIÓN DE LOS RESULTADOS

La medida del error cuadrático medio (tabla 4.4) resulta fundamental para decidir cuál de las tres soluciones se aproxima mejor a la señal original. Las dos primeras soluciones presentan valores parecidos, ligeramente mejores para la solución que incluye el filtro. La tercera solución sin embargo presenta errores muy elevados y siempre por encima de las dos soluciones anteriores. En los tres casos se observa que a medida que aumenta el valor de  $\beta$  (procesos con mayor correlación) se obtienen mejores resultados, ya que las soluciones aprovechan las características de la señal para mejorar la aproximación ya que al tratarse de procesos con memoria, cada muestra contiene información de las muestras anteriores.

En lo que respecta a la distribución del error de reconstrucción (figura 4.3), se observa una distribución normal en todos los casos, con el matiz que presenta la tercera solución: pico elevado correspondiente a error nulo debido a que la técnica de interpolación fuerza a que la señal reconstruida pase por los datos registrados y por lo tanto en todos esos puntos el error es nulo.

Para las medidas de centralización y dispersión de la distribución del error de reconstrucción se han considerado dos decimales en las tablas mostradas (tablas 4.1, 4.2 y 4.3) para mayor precisión, aunque solamente tendría sentido la lectura de estos datos sin decimales. Así pues se observa que las tres soluciones presentan prácticamente media nula. Y en lo que respecta a la dispersión del error (desviación típica), la tercera solución es la que presenta peores resultados.

En cuanto a la medida de forma (kurtosis), todas ellas presentan un forma leptocúrtica, aunque como era de esperar los mejores resultados en este sentido corresponden a la tercera solución, que debido al pico de error no nulo presenta un apuntamiento mayor para todos los casos, resultando mucho más notable el apuntamiento general de toda la distribución para valores grandes de  $\beta$  en los que la interpolación aprovecha las características de la señal aproximándose mucho mejor a la señal original.

# CAPÍTULO QUINTO

## RESUMEN

En este quinto y último capítulo se enuncian las conclusiones derivadas del proyecto, se ofrece una valoración del trabajo realizado y se exponen las futuras líneas de trabajo planteadas en el desarrollo de la memoria.

## 5.1. CONCLUSIONES

La tarea de conversión del formato JSON a estructuras de datos accesibles desde el entorno de trabajo y la tarea de organización y clasificación de la información para considerar únicamente la información más relevante del experimento, facilita el tratamiento de los datos y reduce de forma notable el espacio ocupado en memoria en un 83% aproximadamente.

Del estudio de las características de las señales registradas se observa en la evolución de la posición del jugador saltos finitos cada vez que el jugador atraviesa la frontera del espacio virtual compartido. Los algoritmos desarrollados en este proyecto consideran esta situación aplicando en los casos en los que se requiera: aritmética modular, sentencias condicionales sujetas a un umbral de salto, o elección de la mínima distancia de salto entre dos muestras consecutivas y sus alías correspondientes.

Aunque inicialmente se presupone que en el experimento A solo se han registrado valores nuevos de posición cuando el jugador ha cambiado de posición, del estudio de las características de las señales registradas se observa que este hecho no se cumple con rigor, dando lugar a irregularidades en la trayectoria y determinando el muestreo no uniforme de la señal.

## CAPÍTULO QUINTO

El análisis DFA de los datos registrados exige que las señales temporales presenten muestreo uniforme, por ello se plantea la reconstrucción de las señales registradas.

Del estudio de las características de las señales registradas se observa la resolución temporal descrita según el tiempo de separación entre dos muestras consecutivas: 1ms. Se han valorado las consecuencias de considerar un tiempo de muestreo tan reducido: incremento del tamaño de las nuevas trazas (en media, presentarían un tamaño casi 33 veces mayor respecto a las trazas originales), volumen de datos y ocupación de memoria (considerando el experimento completo: las señales reconstruidas darían lugar a 570 trazas de 30.000 muestras cada una), tiempo de procesado (los datos no se analizan en tiempo real) y determinación del valor de las muestras.

Finalmente, se determina un tiempo de muestreo de 1ms y se establece trabajar con las señales reconstruidas únicamente como paso previo para abordar el análisis DFA: cada señal registrada se reconstruye, se somete al análisis DFA y una vez obtenido el coeficiente  $\alpha$  correspondiente, se desecha la señal reconstruida, y solamente se almacena el valor de dicho coeficiente (que refleja la dinámica de la señal temporal analizada, como resultado del estudio de las correlaciones de largo alcance y análisis de la estructura fractal de la serie temporal).

Una vez obtenidos los coeficientes del análisis DFA de todas las series temporales registradas, dichos coeficientes constituyen el conjunto de muestras a analizar desde el punto de vista estadístico.

La independencia de las muestras es una de las propiedades más importantes que debe presentar el conjunto de muestras a analizar para poder abordar de forma sencilla el análisis estadístico. Para ello se inspeccionan las relaciones que existen entre las distintas muestras consideradas y se observa que no se cumple esta propiedad: por un lado, cada sujeto genera durante el experimento diez muestras de modo que existe una relación evidente entre ellas al pertenecer al mismo sujeto; y por otro lado, si se considera el juego por parejas, se establecen distintas interrelaciones entre los individuos que forman cada pareja en cada una de las rondas.

Para abordar el análisis estadístico de forma rigurosa se propone la elaboración de un modelo de regresión que considere los efectos más significativos aprovechando los datos estadísticos del experimento (base de datos con las características personales y aspectos médicos de interés de cada uno de los sujetos) destacando como efecto más importante el estudiado en el experimento: meditación (grupo de estudio) frente a no meditación (grupo de control). Debido a la complejidad del análisis, como alternativa se sugiere (desde la perspectiva del paradigma individualista) abordar el problema de una forma sencilla aplicando el modelo NLME (*nonlinear mixed effects*) que sin entrar en el rigor de los efectos descritos en la base de datos estadística, permitiría considerar las distintas muestras pertenecientes a la misma persona como una única muestra.



## CAPÍTULO QUINTO

Este proyecto se centra especialmente en el diseño y valoración de tres soluciones de reconstrucción que permitan obtener señales temporales que presenten muestreo uniforme (requisito necesario para abordar el análisis DFA), y en la discusión acerca de qué señales podrían resultar más adecuadas para poder extraer conclusiones acerca del paradigma de cruce perceptual.

Considerando las características más importantes observadas en los datos registrados, los fundamentos del análisis DFA y la naturaleza del experimento estadístico, se propone como señal sugerida para llevar a cabo el análisis DFA la interpretación de “camino aleatorio” a partir de las trazas registradas de cada jugador (variación de la posición). Esta interpretación reflejaría las decisiones del jugador y podría revelar las claves de la interacción consideradas en el experimento de cruce perceptual.

Respecto al diseño de las tres soluciones de reconstrucción:

La primer solución propone reconstruir la señal según el criterio *sample&hold*. Es la solución más sencilla de implementar pero conlleva la aparición de componentes frecuenciales en todo el espectro, no presentes en la señal original y que podrían alterar los resultados del análisis posterior.

La segunda solución propone reconstruir la señal según el criterio *sample&hold* y a continuación aplicar un filtro paso bajo para eliminar las componentes de alta frecuencia. En este caso se emplean dos filtros paso bajo, con ventana de Kaiser, situados en cascada y ajustados experimentalmente. La banda de paso del primer filtro se extiende hasta los 35 Hz y presenta un rizado de 1dB, y la banda de atenuación se extiende desde los 75 Hz con una atenuación de 80dB. La banda de paso del segundo filtro se extiende hasta los 5 Hz y presenta un rizado de 0.1dB, y la banda de atenuación se extiende desde los 25 Hz con una atenuación de 40dB. Se determina el efecto del filtro sobre los resultados del análisis posterior y se establece un valor umbral de escala de modo que por encima de ese valor los resultados del análisis posterior se corresponden con los de la señal original.

La tercera solución propone aplicar métodos de interpolación para reconstruir la señal. Se realiza la interpolación mediante spline cúbico (en sustitución de la propuesta inicial de aplicar diferencias divididas de Lagrange, debido al orden elevado del polinomio integrador). Para la elección del método de interpolación se han tenido en cuenta las características de la señal: no se dispone de información adicional más allá de los nodos registrados, los datos no se analizan en tiempo real (por lo tanto no se van a incorporar nuevos nodos y el tiempo de procesado no es determinante), y en algunos casos el número de muestras puede ser elevado (según el método de interpolación elegido el orden del polinomio podría estar relacionado con el número de muestras, y en algunos casos se podría llegar a las 2.687 muestras).

## CAPÍTULO QUINTO

En lo que respecta a la valoración de las tres soluciones, se ha estimado la medida del error de reconstrucción empleando señales de referencia con algunas características más o menos similares a las de las señales registradas: variación de la posición, muestreo aleatorio, y modelo de procesos que presentan interés en el ámbito de la ciencia cognitiva y las funciones fisiológicas basado en ley de potencias. Se han llevado a cabo 100 realizaciones de cada proceso para cada uno de los casos analizados, disponiendo de datos suficientes que permitan considerar el teorema del límite central.

Las dos primeras soluciones presentan valores del error cuadrático medio muy parecidos, destacando una ligera mejora en el caso de la segunda solución (la que incluye el filtro paso bajo). Sin embargo, la tercera solución presenta errores mucho más elevados que los de las otras soluciones, sobre todo en los casos que describen procesos incorrelados, ofreciendo mejores resultados al aproximar los casos que describen procesos fuertemente correlados.

Respecto a la distribución del error de reconstrucción, se observa una distribución que se aproxima a la normal en todos los casos. Aunque en la tercera solución se destaca la presencia de un pico elevado correspondiente al error nulo debido a la técnica de interpolación que fuerza a que la señal reconstruida pase por los datos registrados dando lugar a error nulo en todos esos casos.

La medida de centralización refleja para las tres soluciones media nula.

La medida de dispersión (desviación típica) destaca en el caso de la tercera solución por presentar peores resultados en casi todos los casos. Y para las dos primeras soluciones, la medida de dispersión es similar, mejorando ligeramente en el caso de la segunda solución (la que incluye el filtro paso bajo), y en general para todas las soluciones la dispersión mejora para valores elevados de  $\beta$ .

Atendiendo a la medida de forma (kurtosis), las tres soluciones presentan una forma leptocúrtica. Se destaca el caso de la tercera solución que es la que presenta mejores resultados mostrando un apuntamiento mayor en todos los casos (debido al pico de error no nulo).

De los resultados obtenidos se concluye que la segunda solución ofrece mejores prestaciones al presentar por un lado el menor error cuadrático medio en cada caso, y por otro lado al mostrar una dispersión menor de la distribución del error de reconstrucción. No obstante se pueden considerar otras técnicas de interpolación que puedan mejorar las prestaciones de la tercera solución (que en general muestra un apuntamiento mayor de la distribución del error de reconstrucción).

## 5.2. VALORACIÓN DEL TRABAJO REALIZADO

En este apartado se muestra la evolución del trabajo desarrollado en los meses que ha durado el proyecto y se hace una breve valoración del mismo.

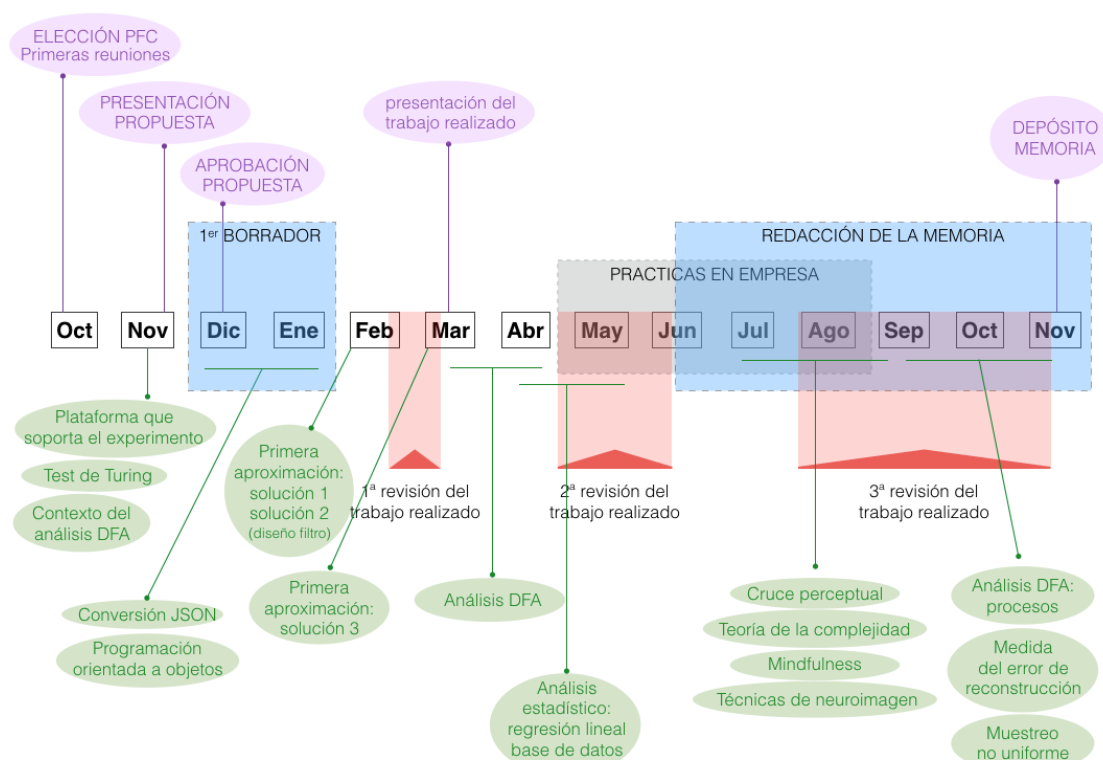


Fig 5.1. Cronograma: fases del proyecto.

Valoro de forma muy positiva la posibilidad que me ha brindado el proyecto de conocer y descubrir otras disciplinas interesantes como la medicina y la ciencia cognitiva (que a su vez ha conectado con otras disciplinas como la sociología, la neurociencia y la inteligencia artificial), y el poder profundizar en temas interesantes como los experimentos sobre cruce perceptual o conocer algunas técnicas de neuroimagen.

Este proyecto me ha permitido dar un sentido práctico al aprendizaje adquirido durante la carrera, especialmente en el área de comunicaciones mediante el tratamiento y análisis de la señal. En esta misma línea, las prácticas realizadas estos últimos meses en una importante empresa multinacional me ha permitido poner en práctica conocimientos de otras áreas de las telecomunicaciones distintas a las consideradas en este proyecto, conocer el funcionamiento de una gran empresa y valorar la importancia de los idiomas en el entorno laboral.

## CAPÍTULO QUINTO

Desde el punto de vista procedimental y metodológico, el proyecto ha supuesto un gran reto y me ha permitido poner a prueba distintas capacidades: la capacidad de análisis para dibujar el planteamiento del problema, para identificar los aspectos más importantes a considerar, para conectar con otras ideas; la capacidad de plantear estrategias para resolver los distintos problemas que han ido surgiendo en el discurso del proyecto; y las capacidades de comunicación y síntesis para concretar las ideas más importantes y poder plasmarlas en esta memoria.

En esta memoria se ha querido estructurar el contenido siguiendo un posible ordenamiento de ideas que parecen fluir con naturalidad. Sin embargo, el desarrollo del proyecto se encuentra lejos de esa realidad, ya que ha sido necesario revisar constantemente el trabajo y replantear algunas soluciones sobre todo cada vez que una nueva idea irrumpía en el contexto. Las decisiones finales tomadas en el proyecto son el resultado de todo este trabajo.

Desde su concepción, el proyecto se ha planteado como la pieza de un engranaje, no empieza ni concluye en sí mismo sino que toma sentido como herramienta para poder avanzar en el análisis de los datos del estudio experimental sobre el que versa. Esta circunstancia ha supuesto en algunas ocasiones un serio problema, al no disponer de control sobre el diseño del experimento ni sobre las condiciones en las que se desarrolló. No obstante, los aspectos mencionados en este proyecto pretenden ilustrar las circunstancias que se han de tener en cuenta al diseñar el experimento para poder abordarlo de forma asequible.

### 5.3. FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO

En este apartado se enuncian las distintas líneas de trabajo sugeridas en la memoria.

La tarea de organización y clasificación de la información, desarrollada en el apartado 3.1.2., se materializa en este proyecto a través de una solución que se podría mejorar planteando la creación de una base de datos mediante programación orientada a objetos. Además Matlab dispone de herramientas que permitirían definir los objetos (atributos y métodos). Como primera aproximación se ha esbozado un esquema con los objetos y las relaciones básicas que debería plantear esta base de datos, esta solución permitiría acceder tanto a los datos del experimento A como a los del experimento B; este esquema se muestra en el anexo C.3.

En el apartado 3.2.4. se propone la elección del tiempo de muestreo en base a la resolución temporal definida entre dos muestras consecutivas, sugiriéndose un valor demasiado pequeño: 1ms. Se propone la búsqueda de un tiempo de muestreo más adecuado que sea resultado del compromiso entre la máxima resolución temporal que permita seguir dibujando la dinámica de la señal original y el mínimo espacio necesario ocupado en memoria.

En el apartado 3.2.4. se advierte del muestreo no uniforme de las señales registradas y en el anexo E se exponen algunas ideas acerca de las implicaciones del muestreo no uniforme. Esta característica de las series temporales requiere de un análisis mucho más elaborado y

## CAPÍTULO QUINTO

exhaustivo. Se resalta la importancia y complejidad de dicho estudio proponiéndose como línea de trabajo.

El estudio de las características de las señales registradas ha permitido conocer algunos detalles acerca del muestreo no uniforme llevado a cabo en el experimento (distribución del tiempo de muestreo) así como la generación de señales que modelan de forma muy sencilla algunos procesos que podrían estar relacionados con los procesos fisiológicos y las funciones cognitivas ocultas en las series temporales a analizar. En esta línea se propone investigar por un lado acerca de los fenómenos que dan lugar a ese muestreo no uniforme para poder caracterizarlo mejor, y por otro lado investigar acerca del modelado de los procesos fisiológicos y de las funciones cognitivas para disponer de modelos más elaborados.

En el apartado 4.3, se ha desarrollado el estudio del efecto del filtro paso bajo (de la segunda solución de reconstrucción) en el resultado del análisis DFA. Por un lado se propone como futura línea de trabajo determinar la relación que pudiera existir entre el tipo de filtro (filtro paso bajo, filtro paso alto o filtro paso banda), la frecuencia de corte o banda de paso, y la forma de la curva obtenida del análisis DFA considerando la señal de referencia (ruido blanco). Y por otro lado se propone ampliar el estudio para determinar el efecto de las otras etapas que también forman parte de las soluciones de reconstrucción planteadas: efecto del intercalador de ceros y efecto del filtro interpolador.

Desde el punto de vista de la teoría de la complejidad, en este proyecto se han planteado dos perspectivas (paradigma individualista y paradigma holístico) y se ha discutido la conveniencia de abordar el análisis desde una u otra, apostando por la primera de ellas por los motivos expuestos en el apartado 3.4. No obstante, se propone como futura línea de trabajo considerar la segunda propuesta y plantear el estudio según el paradigma holístico.



## BIBLIOGRAFÍA

- [1] AHUALLI J., "Aspectos generales de las secuencias de difusión de imagen en resonancia magnética", *Revista Argentina de Radiología*, Volumen 74, Número 3 (2010).
- [2] AUVRAY M., LENAY C., STEWART J., "Perceptual Interactions in a Minimalist Virtual Environment", *New Ideas in Psychology*, Número 27 (2009).
- [3] BANCHOFF M.D., "Websocket: comparación de performance e implementación de aplicaciones web", proyecto fin de grado de la Universidad Nacional de La Plata (2011).
- [4] BERNHARDT B., SINGER T., "The neural basis of empathy", *Neuroscienc*e, 2012, Volumen 35, 1-23 (2012).
- [5] CAREY F., "Organic Chemistry", Cap.13: Spectroscopy, McGraw-Hill Education 4ª Ed.
- [6] CARRIÓN P., RODENAS J., RIETA J.J., "Procesado de señales biomédicas". Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha (2007). Capítulo sobre variabilidad del ritmo cardíaco, escrito por LAGUNA P., SÖRNMO L.
- [7] CHARTRAND T., LAKIN J., "The antecedents and consequences of human behavioral mimicry", *Psychology*, 2013, Volumen 64, 285-308 (2013).
- [8] CONTRERAS LIZARDO O.A., "Secuencias funcionales en resonancia magnética (difusión, DTI, espectroscopia)", *Archivos de Neurociencias*, Volumen 14, Número 1, 58-68 (2009).
- [9] DECLERCK G., LENAY C., STEINER P., "Perceptual presence and possibilities in perception. Phenomenological accounts and explanatory challenges", artículo de la charla presentada en la conferencia sobre psicología y filosofía "*Embodied Perception and the Human World*" en la Universidad de Limerick, Irlanda (2015).
- [10] DE JAEGER H., DI PAOLO E., ADOLPHS R., "What does the interactive brain hypothesis mean for social neuroscience? A dialogue", *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B, Biological Sciences*, volumen 371, artículo 1693 (2016).
- [11] DOTOV D.G., NIE L., CHEMERO A., "A demonstration of the transition from ready-to-hand to unready-to-hand", *Plos One* (2010).
- [12] ECMA INTERNACIONAL, "Introducción a JSON"  
Recuperado de <https://www.json.org/json-es.html>
- [13] ENG F., "Non-Uniform Sampling in Statistical Signal Processing", *Linköping Studies in Science and Technology. Dissertations*. Número 1082 (2007).

## BIBLIOGRAFÍA

- [14] ESCAYOLA J., “Contribuciones a estándares y tecnologías de comunicación en dispositivos médicos para e-salud: integración en aplicaciones de telemonitorización y gestión de la información”, tesis doctoral de la Universidad de Zaragoza (2012).
- [15] FANG Q., “JSONlab: a toolbox to encode/decode JSON files”. Matlab Central: File Exchange (2015). Recuperado de <https://es.mathworks.com/matlabcentral>
- [16] FAYED N., LÓPEZ DEL HOYO Y., ANDRES E., SERRANO-BLANCO A., BELLÓN J., AGUILAR K., CEBOLLA A., GARCIA-CAMPAYO J., “Brain changes in long-term zen meditators using proton magnetic resonance spectroscopy and diffusion tensor imaging: a controlled study”, *Plos One* (2013).
- [17] FROESE T., DI PAOLO E. A., “Modeling social interaction as perceptual crossing: an investigation into the dynamics of the interaction process”, *Connection Science* (2009).
- [18] FROESE T., IZUKA H., IKEGAMI T., “Embodied social interaction constitutes social cognition in pair of humans: a minimalist virtual reality experiment”, *Scientific Reports* (2014).
- [19] GILI J., “Introducción biofísica a la resonancia magnética en neuroimagen”, Centre Diagnòstic Pedralbes. Barcelona (1993).
- [20] GODINO A., “Estudio neurocomputacional de la risa aplicado al diagnóstico psiquiátrico: detección automática de la risa”, proyecto fin de carrera de la Universidad de Zaragoza (2015).
- [21] GOLDBERG A., AMARAL L., HAUSDORFF J., IVANOV P., PENG C., STANLEY H., “Fractal dynamics in physiology: alterations with disease and aging”. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Volumen 99, nº suppl. 1 (2002).
- [22] GONZALEZ BEDIA M., AGUILERA M., GÓMEZ T., GRACIA LARRODÉ D., SERÓN F., “Quantifying long-range correlations and 1/f patterns in a minimal experiment of social interaction”, *Frontiers in Psychology*, Volumen 5, Artículo 1281 (2014).
- [23] GONZÁLEZ DEL YERRO A., “El desarrollo de la comunicación en los dos primeros años de vida”, material didáctico de la asignatura que imparte sobre desarrollo cognitivo y lingüístico en la Universidad Autónoma de Madrid (2007).
- [24] GRACIA LARRODÉ D., “Implementación de un sistema de test multijugador de cruce perceptual”, proyecto fin de carrera de la Universidad de Zaragoza (2013). Recuperado de <https://zaguan.unizar.es/record/11818>
- [25] HARDSTONE R., POIL S., SCHIAVONE G., JANSEN R., NIKULIN V., MANSVELDER H., LINKENKAER-HANSEN K., “Detrended fluctuation analysis: a scale-free view on neuronal oscillations”, *Frontiers in Psychology*, Volumen 3, Artículo 450 (2012).
- [26] HEBELER F., “RMSE”. Matlab Central: File Exchange (2016). Recuperado de <https://es.mathworks.com/matlabcentral>



## BIBLIOGRAFÍA

- [27] HERNÁNDEZ D., “Técnicas de neuroimagen y su utilidad en el conocimiento de la etiología de los trastornos del espectro del autismo (TEA)”, proyecto fin de grado de la Universidad de La Laguna (2015).
- [28] IETF (Internet Engineering Task Force), “RFC 6455: The WebSocket protocol” (2011). Recuperado de <https://tools.ietf.org/html/rfc6455>
- [29] KASTNER R., SELBOM M., SALEKIN R., EARLEY R., “The taste of aggression: a model for psychopathy and reactive aggression”, tesis doctoral de la Universidad de Alabama (2012).
- [30] LENAY C., STEWART J., “Minimalist approach to perceptual interactions”, *Frontiers in Human Neuroscience*, Volumen 6, Artículo 98 (2012).
- [31] LENNON J., “Red-shifts and red herrings in geographical ecology”. *Ecography*, Volumen 23, páginas 101-113 (2000).
- [32] LITTLE M., MCSHARRY P., MOROZ I., ROBERTS S., “Nonlinear, biophysically-informed speech pathology detection”, *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing* (2006). Algoritmo *fastdfa* recuperado de <https://maxlittle.net/software>
- [33] MARIAN V., NEISSER U., ROCHAT P., “Can 2-month-old infants distinguish live from videotaped interactions with their mother”, *Emory Cognition Project*, Report 33, Departamento de Psicología de la Universidad de Emory (1996).
- [34] MATEO J., LAGUNA P., “Análisis espectral de la variabilidad del ritmo cardíaco mediante la señal temporización cardíaca”.
- [35] MESTRE V., FRÍAS M.D., SAMPER P., “La medida de la empatía: análisis del Interpersonal Reactivity Index”, *Psicotherma*, Volumen 16, Número 2, 255-260 (2004).
- [36] MOLINA PICÓ A., “Caracterización de medidas de regularidad en señales biomédicas. Robustez a outliers”, tesis doctoral de la Universidad Politécnica de Valencia (2014).
- [37] MORENO RUIZ, S., “Control de un agente inteligente mediante redes neuronales en el entorno del videojuego UT2004”, proyecto fin de carrera de la Universidad de Zaragoza (2012).
- [38] MURRAY L., TREVARTHEN C., “Emotional regulation of interactions between two-month-olds and their mothers”, *Social Perception in Infants* (1985).
- [39] PENG C., HAUSDORFF J., GOLDBERG A., “Fractal mechanisms in neural control: human heartbeat and gait dynamics in health and disease”. *Self-organized Biological Dynamics and Non-linear Control*. Cambridge. (2000).
- [40] PEREA-BARTOLOMÉ M.V., LADERA-FERNÁNDEZ V., “El tálamo: aspectos neurofuncionales”, *Neurología*, Volumen 38, Número 7, 687-693 (2004).

## BIBLIOGRAFÍA

- [41] PHYSIONET, "Fractal Mechanisms in Neural Control" (2016).  
Recuperado de <https://physionet.org/tutorials/fmnc>
- [42] RODRIGO J., "Análisis del perfil acústico de la risa según las distintas expresiones emocionales asociadas", proyecto fin de carrera de la Universidad de Zaragoza (2015).
- [43] SÁNCHEZ GONZÁLEZ J., "Bases físicas, adquisición y cuantificación de imagen potenciada en difusión", *Bases, conceptos técnicos y aplicaciones clínicas de la RM Difusión*, Sociedad Española de Radiología Médica (2014).
- [44] SOLER J., TEJEDOR R., FELIU-SOLER A., PASCUAL J., CEBOLLA A., SORIANO J., ALVAREZ E., PEREZ V., "Propiedades psicométricas de la versión española de la escala Mindful Attention Awareness Scale (MAAS)", *Actas Españolas de Psiquiatría*, Volumen 40, Número 1, 18-25 (2012).
- [45] TIRAPU-USTÁRROZ J., LUNA-LARIO P., HERNÁNDEZ-GOÑI P., GARCÍA-SUESCUN I., "Relación entre la sustancia blanca y las funciones cognitivas", *Neurología*, Volumen 52, número 12, 725-742 (2011).
- [46] URRIOLOA J., WENGER R., "Más allá del tensor de difusión: experiencia preliminar en tractografía HARDI-CSD y super-resolución en 1.5T", *Radiología*, Volumen 19, número 4, 166-173 (2013).
- [47] VAN ORDEN G., KLOOS H., WALLOT S., "Living in the pink: intentionality, wellbeing and complexity", *Handbook of the Philosophy of Science*, Volumen 10 (2009).
- [48] VAZQUEZ M., "Programa de entrenamiento en cognición y competencia social en pacientes con esquizofrenia: e-motional training©", tesis doctoral de la Universidad de Santiago de Compostela (2015).
- [49] YEARSLEY J., "Generate spatial data". Matlab Central: File Exchange (2016).  
Recuperado de <https://es.mathworks.com/matlabcentral>



# ANEXOS



# ANEXO A

## DISTRIBUCIÓN DE PAREJAS Y RONDAS DEL EXPERIMENTO A

En este anexo se muestra de forma esquemática la distribución de parejas y rondas del experimento A. Para facilitar la lectura se va a explicar la información mostrada.

Como se comentó en el apartado 2.3.3., la limitación de los recursos disponibles requiere considerar varias sesiones. En el esquema se distinguen cuatro grandes bloques, cada uno se corresponden con una sesión distinta. Entre paréntesis se indica si los jugadores pertenecen al grupo de control o al grupo de estudio.

Dentro de cada sesión, a su vez, se distinguen otros dos bloques: por un lado las rondas de entrenamiento (tres rondas) y por otro lado las rondas de juego (diez rondas). Dentro de cada ronda se muestran las parejas formadas.

Los jugadores que participan en cada sesión quedan representados por un número: la primera sesión la forman 12 jugadores, la segunda la forman 10 jugadores, la tercera la forman 12 jugadores y la cuarta la forman 4 jugadores. Los bots aparecen representados mediante una abreviatura (aclarada al pie de cada sesión y explicada con más detalle en el apartado 2.3.3.) seguidos de un número relacionado con su correspondiente contrincante.

En las rondas de juego se puede observar que cada jugador aparece con dos posibles colores: rojo o verde, que hacen referencia a la respuesta facilitada al finalizar la partida indicando si competían contra una persona o contra un bot.

El color verde representa una respuesta correcta, es decir, si el jugador ha competido contra un bot al finalizar la partida respondió que competía contra un bot, es decir, su respuesta es correcta. El color rojo representa una respuesta incorrecta, es decir, si el jugador ha competido contra un bot al finalizar la partida respondió que competía contra una persona, por lo tanto su respuesta es incorrecta. Así, de una forma sencilla y gráfica, es posible comprobar las respuestas facilitadas por los jugadores.

**EXPERIMENTO A**      **SESIÓN 1**    (grupo de control)

**RONDAS DE ENTRENAMIENTO**

1		2		3	
1	FIX-1	1	CS1-1	1	CS2-1
2	FIX-2	2	CS1-2	2	CS2-2
3	FIX-3	3	CS1-3	3	CS2-3
4	FIX-4	4	CS1-4	4	CS2-4
5	FIX-5	5	CS1-5	5	CS2-5
6	FIX-6	6	CS1-6	6	CS2-6
7	FIX-7	7	CS1-7	7	CS2-7
8	FIX-8	8	CS1-8	8	CS2-8
9	FIX-9	9	CS1-9	9	CS2-9
10	FIX-10	10	CS1-10	10	CS2-10
11	FIX-11	11	CS1-11	11	CS2-11
12	FIX-12	12	CS1-12	12	CS2-12

**RONDAS DE JUEGO**

1		2		3		4		5	
1	FOX-1	1	TMX-1	1	3	1	4	1	6
2	FOX-2	2	TMX-2	2	11	2	5	2	12
3	FOX-3	3	TMX-3	4	8	3	6	3	8
4	FOX-4	4	TMX-4	5	10	7	11	4	5
5	FOX-5	5	TMX-5	6	12	8	12	7	10
6	FOX-6	6	TMX-6	7	9	9	10	9	11
7	FOX-7	7	TMX-7						
8	FOX-8	8	TMX-8						
9	FOX-9	9	TMX-9						
10	FOX-10	10	TMX-10						
11	FOX-11	11	TMX-11						
12	FOX-12	12	TMX-12						

6		7		8		9		10	
1	FOX-1	1	TMX-1	1	3	1	FOX-1	1	3
2	FOX-2	2	TMX-2	2	10	2	FOX-2	2	4
3	FOX-3	3	TMX-3	4	9	3	FOX-3	5	10
4	FOX-4	4	TMX-4	5	11	4	FOX-4	6	7
5	FOX-5	5	TMX-5	6	8	5	FOX-5	8	9
6	FOX-6	6	TMX-6	7	12	6	FOX-6	11	12
7	FOX-7	7	TMX-7			7	FOX-7		
8	FOX-8	8	TMX-8			8	FOX-8		
9	FOX-9	9	TMX-9			9	FOX-9		
10	FOX-10	10	TMX-10			10	FOX-10		
11	FOX-11	11	TMX-11			11	FOX-11		
12	FOX-12	12	TMX-12			12	FOX-12		

FIX-: FIXED, CS1-: CSPEED1, CS2-: CSPEED2, TMX-: TIMXELSHADOW

**EXPERIMENTO A**      **SESIÓN 2**    (grupo de control)

**RONDAS DE ENTRENAMIENTO**

1		2		3	
1	FIX-1	1	CS1-1	1	CS2-1
2	FIX-2	2	CS1-2	2	CS2-2
3	FIX-3	3	CS1-3	3	CS2-3
4	FIX-4	4	CS1-4	4	CS2-4
5	FIX-5	5	CS1-5	5	CS2-5
6	FIX-6	6	CS1-6	6	CS2-6
7	FIX-7	7	CS1-7	7	CS2-7
8	FIX-8	8	CS1-8	8	CS2-8
9	FIX-9	9	CS1-9	9	CS2-9
10	FIX-10	10	CS1-10	10	CS2-10

**RONDAS DE JUEGO**

1		2		3		4		5	
1	5	1	5	1	9	1	FOX-1	1	TMX-1
2	6	2	3	2	4	2	FOX-2	2	TMX-2
3	8	4	7	3	5	3	FOX-3	3	TMX-3
4	7	6	9	6	8	4	FOX-4	4	TMX-4
9	10	8	10	7	10	5	FOX-5	5	TMX-5
						6	FOX-6	6	TMX-6
						7	FOX-7	7	TMX-7
						8	FOX-8	8	TMX-8
						9	FOX-9	9	TMX-9
						10	FOX-10	10	TMX-10

6		7		8		9		10	
1	5	1	FOX-1	1	TMX-1	1	9	1	FOX-1
2	10	2	FOX-2	2	TMX-2	2	5	2	FOX-2
3	6	3	FOX-3	3	TMX-3	3	10	3	FOX-3
4	8	4	FOX-4	4	TMX-4	4	7	4	FOX-4
7	9	5	FOX-5	5	TMX-5	6	8	5	FOX-5
		6	FOX-6	6	TMX-6			6	FOX-6
		7	FOX-7	7	TMX-7			7	FOX-7
		8	FOX-8	8	TMX-8			8	FOX-8
		9	FOX-9	9	TMX-9			9	FOX-9
		10	FOX-10	10	TMX-10			10	FOX-10

FIX-: FIXED, CS1-: CSPEED1, CS2-: CSPEED2, TMX-: TIMXELSHADOW

EXPERIMENTO A SESIÓN 3 (grupo de estudio)

RONDAS DE ENTRENAMIENTO

1		2		3	
1	FIX-1	1	CS1-1	1	CS2-1
2	FIX-2	2	CS1-2	2	CS2-2
3	FIX-3	3	CS1-3	3	CS2-3
4	FIX-4	4	CS1-4	4	CS2-4
5	FIX-5	5	CS1-5	5	CS2-5
6	FIX-6	6	CS1-6	6	CS2-6
7	FIX-7	7	CS1-7	7	CS2-7
8	FIX-8	8	CS1-8	8	CS2-8
9	FIX-9	9	CS1-9	9	CS2-9
10	FIX-10	10	CS1-10	10	CS2-10
11	FIX-11	11	CS1-11	11	CS2-11
12	FIX-12	12	CS1-12	12	CS2-12

RONDAS DE JUEGO

1		2		3		4		5	
1	12	1	FOX-1	1	TMX-1	1	FOX-1	1	TMX-1
2	11	2	FOX-2	2	TMX-2	2	FOX-2	2	TMX-2
3	9	3	FOX-3	3	TMX-3	3	FOX-3	3	TMX-3
4	10	4	FOX-4	4	TMX-4	4	FOX-4	4	TMX-4
5	8	5	FOX-5	5	TMX-5	5	FOX-5	5	TMX-5
6	7	6	FOX-6	6	TMX-6	6	FOX-6	6	TMX-6
		7	FOX-7	7	TMX-7	7	FOX-7	7	TMX-7
		8	FOX-8	8	TMX-8	8	FOX-8	8	TMX-8
		9	FOX-9	9	TMX-9	9	FOX-9	9	TMX-9
		10	FOX-10	10	TMX-10	10	FOX-10	10	TMX-10
		11	FOX-11	11	TMX-11	11	FOX-11	11	TMX-11
		12	FOX-12	12	TMX-12	12	FOX-12	12	TMX-12

6		7		8		9		10	
1	8	1	6	1	FOX-1	1	9	1	12
2	4	2	5	2	FOX-2	2	11	2	9
3	7	3	8	3	FOX-3	3	7	3	5
5	9	4	9	4	FOX-4	4	6	4	10
6	11	7	10	5	FOX-5	5	8	6	11
10	12	11	12	6	FOX-6	10	12	7	8
				7	FOX-7				
				8	FOX-8				
				9	FOX-9				
				10	FOX-10				
				11	FOX-11				
				12	FOX-12				

FIX-: FIXED, CS1-: CSPEED1, CS2-: CSPEED2, TMX-: TIMXELSHADOW

EXPERIMENTO A SESIÓN 4 (grupo de estudio)

RONDAS DE ENTRENAMIENTO

1		2		3	
1	FIX-1	1	CS1-1	1	CS2-1
2	FIX-2	2	CS1-2	2	CS2-2
3	FIX-3	3	CS1-3	3	CS2-3
4	FIX-4	4	CS1-4	4	CS2-4

RONDAS DE JUEGO

1		2		3		4		5	
1	FOX-1	1	4	1	2	1	TMX-1	1	FOX-1
2	FOX-2	2	3	3	4	2	TMX-2	2	FOX-2
3	FOX-3					3	TMX-3	3	FOX-3
4	FOX-4					4	TMX-4	4	FOX-4

6		7		8		9		10	
1	TMX-1	1	2	1	4	1	FOX-1	1	4
2	TMX-2	3	4	2	3	2	FOX-2	2	3
3	TMX-3					3	FOX-3		
4	TMX-4					4	FOX-4		

FIX-: FIXED, CS1-: CSPEED1, CS2-: CSPEED2, TMX-: TIMXELSHADOW





# ANEXO B

## DISTRIBUCIÓN DE PAREJAS Y RONDAS DEL EXPERIMENTO B

En este anexo se muestra de forma esquemática la distribución de parejas y rondas del experimento B. Para facilitar la lectura se va a explicar la información mostrada.

Como se comentó en el apartado 2.3.3., en este experimento se realiza una única sesión. El experimento consta de 35 rondas. En cada ronda se distinguen 12 grupos (numerados de 0 a 11), formados por tres personas y un bot. El emparejamiento se lleva a cabo dentro de cada grupo: en cada ronda se forman 2 parejas dentro de cada grupo.

En el experimento han participado 36 personas, que son representadas por números<sup>68</sup>. Los bots aparecen representados mediante una abreviatura (aclarada al pie de cada sesión y explicada en detalle en la página siguiente).

Al igual que en el experimento anterior, se puede observar que cada jugador aparece con dos posibles colores: rojo o verde, que hacen referencia a la respuesta facilitada al finalizar la partida indicando si competían contra una persona o contra un bot.

El color verde representa una respuesta correcta, es decir, si el jugador ha competido contra un bot al finalizar la partida respondió que competía contra un bot, es decir, su respuesta es correcta. El color rojo representa una respuesta incorrecta, es decir, si el jugador ha competido contra un bot al finalizar la partida respondió que competía contra una persona, por lo tanto su respuesta es incorrecta. Así, de una forma sencilla y gráfica, es posible comprobar las respuestas facilitadas por los jugadores.

En la ronda 21 se produce un cambio: se intercambia una persona de un grupo con otra persona del grupo siguiente<sup>69</sup>, las personas intercambiadas aparecen con un círculo para poder identificar de forma sencilla los cambios introducidos en esta ronda.

---

<sup>68</sup> La numeración en este caso no sigue un orden correlativo como en el experimento anterior. Los jugadores se representan con los siguientes números: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 18, 19, 20, 21, 25, 27, 29, 30, 31, 33, 34, 36, 37, 39, 40, 42, 43, 44, 46, 47 y 48.

<sup>69</sup> Así pues, una persona del grupo 0 se intercambia con una persona del grupo 1. Del mismo modo, una persona del grupo 2 se intercambia con una persona del grupo 3, y así sucesivamente.

## ANEXO B

Comportamiento de los bots que intervienen en el este experimento.

### RANDOMSIMPLE

Se trata de un bot que cada cierto intervalo de tiempo (en concreto, cada segundo) cambia su posición de forma aleatoria.

### SHADOW

Se trata de reproduce la traza (movimientos) de un jugador humano de una ronda de juego almacenada previamente.

### COMPLEX

Se trata de un bot que puede presentar dos comportamientos:

Cinéticofilo, es decir, se siente atraído por el movimiento del jugador. Si el jugador se mueve el bot se aproxima a la posición del jugador y si el jugador se detiene el bot se aleja de la posición del jugador.

Cinéticofobo, es decir, se siente atraído por la ausencia de movimiento del jugador. Si el jugador se detiene el bot se aproxima a la posición del jugador y si el jugador se mueve el bot se aleja de la posición del jugador.

### DELAYEDSHADOW

Se trata de un bot que repite los movimientos del jugador con el que está interactuando, con un determinado retraso de tiempo.

### PENDULUM

Se determina una ventana espacial de longitud determinada que se desplaza dentro del espacio virtual compartido avanzando siempre en la misma dirección. El bot a su vez se mueve dentro de esta ventana, de un extremo a otro.

### TIMXEL SHADOW

Se trata de un bot que repite los movimientos del jugador con el que está interactuando, con un determinado retraso temporal (en concreto, 4 segundos) y con una diferencia de píxeles definida (125 píxeles, a izquierda o derecha según la ronda y el grupo).

## ANEXO B

### FOX

Se trata de un bot que describe una trayectoria senoidal con una determinada amplitud y un determinado punto de partida inicial sobre el que oscila.

### CRAZYHORSE

Se trata de un bot que se desplaza siempre en la misma dirección con velocidad constante hasta que se cruza con un jugador. Tras el primer cruce, y durante un breve intervalo de tiempo, se mueve alrededor del jugador (de un lado a otro, provocando varios cruces). Transcurrido ese intervalo de tiempo, cambia su posición de forma aleatoria y recupera el desplazamiento inicial.

## ronda 1

grupo 0	grupo 1	grupo 2
37 RANDOM	19 SHADOW	29 COMPLEX
2 40	13 47	11 44
grupo 3	grupo 4	grupo 5
9 DELSHA	48 PENDUL	21 TMX
4 43	15 31	12 20
grupo 6	grupo 7	grupo 8
27 FOX-6	6 CH7	8 FOX-8
36 46	14 42	7 30
grupo 9	grupo 10	grupo 11
10 CH9	39 FOX-10	25 CH11
5 18	1 3	33 34

## ronda 2

grupo 0	grupo 1	grupo 2
40 RANDOM	19 SHADOW	44 COMPLEX
2 37	13 47	11 29
grupo 3	grupo 4	grupo 5
9 DELSHA	48 PENDUL	20 TMX
4 43	15 31	12 21
grupo 6	grupo 7	grupo 8
27 FOX-6	6 CH7	8 FOX-8
36 46	14 42	7 30
grupo 9	grupo 10	grupo 11
18 CH9	39 FOX-10	25 CH11
5 10	1 3	33 34

## ronda 3

grupo 0	grupo 1	grupo 2
40 RANDOM	13 SHADOW	11 COMPLEX
2 37	19 47	29 44
grupo 3	grupo 4	grupo 5
9 DELSHA	48 PENDUL	12 TMX
4 43	15 31	21 20
grupo 6	grupo 7	grupo 8
36 FOX-6	6 CH7	8 FOX-8
27 46	14 42	7 30
grupo 9	grupo 10	grupo 11
10 CH9	39 FOX-10	34 CH11
5 18	1 3	33 25

## ronda 4

grupo 0	grupo 1	grupo 2
2 RANDOM	19 SHADOW	29 COMPLEX
37 40	13 47	11 44
grupo 3	grupo 4	grupo 5
9 DELSHA	48 PENDUL	12 TMX
4 43	15 31	21 20
grupo 6	grupo 7	grupo 8
36 FOX-6	42 CH7	8 FOX-8
27 46	14 6	7 30
grupo 9	grupo 10	grupo 11
18 CH9	1 FOX-10	25 CH11
5 10	39 3	33 34

RANDOM: RANDOMSIMPLE, SHADOW, COMPLEX, DELSHA: DELAYEDSHADOW, PENDUL: PENDULUM  
 TMX: TIMXEL SHADOW, FOX, CH: CRAZYHORSE

## ronda 5

grupo 0	grupo 1	grupo 2
40 RANDOM	19 SHADOW	11 COMPLEX
2 37	13 47	29 44
grupo 3	grupo 4	grupo 5
9 DELSHA	15 PENDUL	21 TMX
4 43	48 31	12 20
grupo 6	grupo 7	grupo 8
27 FOX-6	6 CH7	7 FOX-8
36 46	14 42	8 30
grupo 9	grupo 10	grupo 11
5 CH9	3 FOX-10	25 CH11
10 18	1 39	33 34

## ronda 6

grupo 0	grupo 1	grupo 2
40 RANDOM	19 SHADOW	44 COMPLEX
2 37	13 47	11 29
grupo 3	grupo 4	grupo 5
43 DELSHA	15 PENDUL	20 TMX
4 9	48 31	12 21
grupo 6	grupo 7	grupo 8
46 FOX-6	6 CH7	30 FOX-8
36 27	14 42	7 8
grupo 9	grupo 10	grupo 11
10 CH9	39 FOX-10	34 CH11
5 18	1 3	33 25

## ronda 7

grupo 0	grupo 1	grupo 2
2 RANDOM	47 SHADOW	29 COMPLEX
37 40	13 19	11 44
grupo 3	grupo 4	grupo 5
9 DELSHA	48 PENDUL	20 TMX
4 43	15 31	12 21
grupo 6	grupo 7	grupo 8
27 FOX-6	6 CH7	7 FOX-8
36 46	14 42	8 30
grupo 9	grupo 10	grupo 11
10 CH9	3 FOX-10	34 CH11
5 18	1 39	33 25

## ronda 8

grupo 0	grupo 1	grupo 2
40 RANDOM	47 SHADOW	29 COMPLEX
2 37	13 19	11 44
grupo 3	grupo 4	grupo 5
43 DELSHA	31 PENDUL	20 TMX
4 9	15 48	12 21
grupo 6	grupo 7	grupo 8
46 FOX-6	42 CH7	7 FOX-8
36 27	14 6	8 30
grupo 9	grupo 10	grupo 11
5 CH9	39 FOX-10	33 CH11
10 18	1 3	25 34

RANDOM: RANDOMSIMPLE, SHADOW, COMPLEX, DELSHA: DELAYEDSHADOW, PENDUL: PENDULUM  
 TMX: TIMXEL SHADOW, FOX, CH: CRAZYHORSE

## ronda 9

grupo 0		grupo 1		grupo 2	
40	RANDOM	19	SHADOW	11	COMPLEX
2	37	13	47	29	44
grupo 3		grupo 4		grupo 5	
9	DELSHA	31	PENDUL	20	TMX
4	43	15	48	12	21
grupo 6		grupo 7		grupo 8	
36	FOX-6	42	CH7	7	FOX-8
27	46	14	6	8	30
grupo 9		grupo 10		grupo 11	
5	CH9	39	FOX-10	34	CH11
10	18	1	3	33	25

## ronda 10

grupo 0		grupo 1		grupo 2	
2	RANDOM	13	SHADOW	44	COMPLEX
40	37	19	47	11	29
grupo 3		grupo 4		grupo 5	
4	DELSHA	15	PENDUL	20	TMX
9	43	48	31	12	21
grupo 6		grupo 7		grupo 8	
36	FOX-6	6	CH7	8	FOX-8
27	46	14	42	7	30
grupo 9		grupo 10		grupo 11	
10	CH9	39	FOX-10	34	CH11
5	18	1	3	33	25

## ronda 11

grupo 0		grupo 1		grupo 2	
40	RANDOM	13	SHADOW	29	COMPLEX
2	37	19	47	11	44
grupo 3		grupo 4		grupo 5	
43	DELSHA	15	PENDUL	20	TMX
4	9	48	31	12	21
grupo 6		grupo 7		grupo 8	
46	FOX-6	6	CH7	30	FOX-8
36	27	14	42	7	8
grupo 9		grupo 10		grupo 11	
10	CH9	1	FOX-10	25	CH11
5	18	39	3	33	34

## ronda 12

grupo 0		grupo 1		grupo 2	
40	RANDOM	13	SHADOW	11	COMPLEX
2	37	19	47	29	44
grupo 3		grupo 4		grupo 5	
9	DELSHA	31	PENDUL	12	TMX
4	43	15	48	21	20
grupo 6		grupo 7		grupo 8	
46	FOX-6	6	CH7	8	FOX-8
36	27	14	42	7	30
grupo 9		grupo 10		grupo 11	
10	CH9	3	FOX-10	34	CH11
5	18	1	39	33	25

RANDOM: RANDOMSIMPLE, SHADOW, COMPLEX, DELSHA: DELAYEDSHADOW, PENDUL: PENDULUM  
 TMX: TIMXEL SHADOW, FOX, CH: CRAZYHORSE

## ronda 13

grupo 0		grupo 1		grupo 2	
37	RANDOM	13	SHADOW	11	COMPLEX
2	40	19	47	29	44
grupo 3		grupo 4		grupo 5	
43	DELSHA	48	PENDUL	12	TMX
4	9	15	31	21	20
grupo 6		grupo 7		grupo 8	
36	FOX-6	6	CH7	30	FOX-8
27	46	14	42	7	8
grupo 9		grupo 10		grupo 11	
5	CH9	1	FOX-10	25	CH11
10	18	39	3	33	34

## ronda 14

grupo 0		grupo 1		grupo 2	
40	RANDOM	19	SHADOW	29	COMPLEX
2	37	13	47	11	44
grupo 3		grupo 4		grupo 5	
9	DELSHA	15	PENDUL	21	TMX
4	43	48	31	12	20
grupo 6		grupo 7		grupo 8	
27	FOX-6	42	CH7	7	FOX-8
36	46	14	6	8	30
grupo 9		grupo 10		grupo 11	
18	CH9	1	FOX-10	34	CH11
5	10	39	3	33	25

## ronda 15

grupo 0		grupo 1		grupo 2	
37	RANDOM	47	SHADOW	44	COMPLEX
2	40	13	19	11	29
grupo 3		grupo 4		grupo 5	
9	DELSHA	15	PENDUL	21	TMX
4	43	48	31	12	20
grupo 6		grupo 7		grupo 8	
46	FOX-6	42	CH7	8	FOX-8
36	27	14	6	7	30
grupo 9		grupo 10		grupo 11	
18	CH9	3	FOX-10	25	CH11
5	10	1	39	33	34

## ronda 16

grupo 0		grupo 1		grupo 2	
2	RANDOM	47	SHADOW	29	COMPLEX
37	40	13	19	11	44
grupo 3		grupo 4		grupo 5	
4	DELSHA	31	PENDUL	12	TMX
9	43	15	48	21	20
grupo 6		grupo 7		grupo 8	
46	FOX-6	14	CH7	30	FOX-8
36	27	6	42	7	8
grupo 9		grupo 10		grupo 11	
5	CH9	1	FOX-10	33	CH11
10	18	39	3	25	34

RANDOM: RANDOMSIMPLE, SHADOW, COMPLEX, DELSHA: DELAYEDSHADOW, PENDUL: PENDULUM  
 TMX: TIMXEL SHADOW, FOX, CH: CRAZYHORSE

## ronda 17

grupo 0		grupo 1		grupo 2	
37	RANDOM	19	SHADOW	11	COMPLEX
2	40	13	47	44	29
grupo 3		grupo 4		grupo 5	
43	DELSHA	15	PENDUL	21	TMX
4	9	48	31	12	20
grupo 6		grupo 7		grupo 8	
27	FOX-6	42	CH7	7	FOX-8
36	46	14	6	8	30
grupo 9		grupo 10		grupo 11	
10	CH9	1	FOX-10	34	CH11
5	18	39	3	33	25

## ronda 18

grupo 0		grupo 1		grupo 2	
2	RANDOM	47	SHADOW	11	COMPLEX
40	37	13	19	44	29
grupo 3		grupo 4		grupo 5	
4	DELSHA	48	PENDUL	21	TMX
9	43	15	31	12	20
grupo 6		grupo 7		grupo 8	
46	FOX-6	14	CH7	7	FOX-8
36	27	6	42	8	30
grupo 9		grupo 10		grupo 11	
18	CH9	1	FOX-10	34	CH11
5	10	39	3	33	25

## ronda 19

grupo 0		grupo 1		grupo 2	
40	RANDOM	47	SHADOW	11	COMPLEX
2	37	13	19	29	44
grupo 3		grupo 4		grupo 5	
43	DELSHA	31	PENDUL	20	TMX
4	9	15	48	12	21
grupo 6		grupo 7		grupo 8	
36	FOX-6	14	CH7	30	FOX-8
27	46	6	42	7	8
grupo 9		grupo 10		grupo 11	
10	CH9	1	FOX-10	34	CH11
5	18	39	3	33	25

## ronda 20

grupo 0		grupo 1		grupo 2	
2	RANDOM	47	SHADOW	11	COMPLEX
37	40	13	19	29	44
grupo 3		grupo 4		grupo 5	
9	DELSHA	15	PENDUL	21	TMX
4	43	48	31	12	20
grupo 6		grupo 7		grupo 8	
36	FOX-6	14	CH7	7	FOX-8
27	46	6	42	8	30
grupo 9		grupo 10		grupo 11	
5	CH9	39	FOX-10	33	CH11
10	18	1	3	25	34

RANDOM: RANDOMSIMPLE, SHADOW, COMPLEX, DELSHA: DELAYEDSHADOW, PENDUL: PENDULUM  
 TMX: TIMXEL SHADOW, FOX, CH: CRAZYHORSE

## ronda 21

grupo 0		grupo 1		grupo 2	
47	RANDOM	19	SHADOW	44	COMPLEX
37	40	2	13	11	9
grupo 3		grupo 4		grupo 5	
43	DELSHA	31	PENDUL	12	TMX
4	29	21	48	15	20
grupo 6		grupo 7		grupo 8	
46	FOX-6	14	CH7	7	FOX-8
36	42	6	27	5	30
grupo 9		grupo 10		grupo 11	
18	CH9	1	FOX-10	33	CH11
8	10	25	39	3	34

## ronda 22

grupo 0		grupo 1		grupo 2	
47	RANDOM	2	SHADOW	44	COMPLEX
40	37	13	19	11	9
grupo 3		grupo 4		grupo 5	
4	DELSHA	48	PENDUL	12	TMX
29	43	21	31	15	20
grupo 6		grupo 7		grupo 8	
42	FOX-6	14	CH7	7	FOX-8
36	46	6	27	5	30
grupo 9		grupo 10		grupo 11	
18	CH9	1	FOX-10	3	CH11
8	10	25	39	33	34

## ronda 23

grupo 0		grupo 1		grupo 2	
40	RANDOM	2	SHADOW	44	COMPLEX
37	47	13	19	11	9
grupo 3		grupo 4		grupo 5	
43	DELSHA	48	PENDUL	20	TMX
4	29	21	31	12	15
grupo 6		grupo 7		grupo 8	
46	FOX-6	27	CH7	5	FOX-8
36	42	6	14	7	30
grupo 9		grupo 10		grupo 11	
8	CH9	39	FOX-10	34	CH11
10	18	1	25	3	33

## ronda 24

grupo 0		grupo 1		grupo 2	
40	RANDOM	2	SHADOW	9	COMPLEX
37	47	13	19	11	44
grupo 3		grupo 4		grupo 5	
29	DELSHA	48	PENDUL	15	TMX
4	43	21	31	12	20
grupo 6		grupo 7		grupo 8	
42	FOX-6	27	CH7	5	FOX-8
36	46	6	14	7	30
grupo 9		grupo 10		grupo 11	
18	CH9	39	FOX-10	34	CH11
8	10	1	25	3	33

RANDOM: RANDOMSIMPLE, SHADOW, COMPLEX, DELSHA: DELAYEDSHADOW, PENDUL: PENDULUM  
 TMX: TIMXEL SHADOW, FOX, CH: CRAZYHORSE

## ronda 25

grupo 0		grupo 1		grupo 2	
47	RANDOM	13	SHADOW	44	COMPLEX
37	40	2	19	11	9
grupo 3		grupo 4		grupo 5	
4	DELSHA	21	PENDUL	20	TMX
43	29	31	48	15	12
grupo 6		grupo 7		grupo 8	
36	FOX-6	27	CH7	5	FOX-8
46	42	6	14	7	30
grupo 9		grupo 10		grupo 11	
18	CH9	25	FOX-10	33	CH11
8	10	1	39	3	34

## ronda 26

grupo 0		grupo 1		grupo 2	
37	RANDOM	2	SHADOW	44	COMPLEX
40	47	13	19	11	9
grupo 3		grupo 4		grupo 5	
4	DELSHA	21	PENDUL	15	TMX
29	43	48	31	12	20
grupo 6		grupo 7		grupo 8	
46	FOX-6	27	CH7	5	FOX-8
36	42	6	14	7	30
grupo 9		grupo 10		grupo 11	
10	CH9	25	FOX-10	33	CH11
8	18	1	39	3	34

## ronda 27

grupo 0		grupo 1		grupo 2	
47	RANDOM	13	SHADOW	44	COMPLEX
37	40	2	19	11	9
grupo 3		grupo 4		grupo 5	
29	DELSHA	21	PENDUL	20	TMX
4	43	48	31	12	15
grupo 6		grupo 7		grupo 8	
42	FOX-6	27	CH7	7	FOX-8
36	46	6	14	5	30
grupo 9		grupo 10		grupo 11	
10	CH9	25	FOX-10	33	CH11
8	18	1	39	3	34

## ronda 28

grupo 0		grupo 1		grupo 2	
47	RANDOM	13	SHADOW	11	COMPLEX
37	40	2	19	9	44
grupo 3		grupo 4		grupo 5	
43	DELSHA	48	PENDUL	20	TMX
4	29	21	31	12	15
grupo 6		grupo 7		grupo 8	
46	FOX-6	27	CH7	30	FOX-8
36	42	6	14	7	5
grupo 9		grupo 10		grupo 11	
18	CH9	25	FOX-10	33	CH11
8	10	1	39	3	34

RANDOM: RANDOMSIMPLE, SHADOW, COMPLEX, DELSHA: DELAYEDSHADOW, PENDUL: PENDULUM  
 TMX: TIMXEL SHADOW, FOX, CH: CRAZYHORSE

## ronda 29

grupo 0		grupo 1		grupo 2	
47	RANDOM	19	SHADOW	9	COMPLEX
37	40	2	13	11	44
grupo 3		grupo 4		grupo 5	
29	DELSHA	31	PENDUL	15	TMX
4	43	21	48	12	20
grupo 6		grupo 7		grupo 8	
42	FOX-6	6	CH7	30	FOX-8
36	46	14	27	5	7
grupo 9		grupo 10		grupo 11	
8	CH9	39	FOX-10	34	CH11
18	10	25	1	3	33

## ronda 30

grupo 0		grupo 1		grupo 2	
37	RANDOM	19	SHADOW	9	COMPLEX
40	47	13	2	11	44
grupo 3		grupo 4		grupo 5	
43	DELSHA	31	PENDUL	12	TMX
29	4	21	48	15	20
grupo 6		grupo 7		grupo 8	
36	FOX-6	6	CH7	30	FOX-8
42	46	14	27	5	7
grupo 9		grupo 10		grupo 11	
10	CH9	25	FOX-10	33	CH11
8	18	1	39	3	34

## ronda 31

grupo 0		grupo 1		grupo 2	
37	RANDOM	2	SHADOW	44	COMPLEX
40	47	13	19	11	9
grupo 3		grupo 4		grupo 5	
4	DELSHA	31	PENDUL	15	TMX
43	29	21	48	12	20
grupo 6		grupo 7		grupo 8	
42	FOX-6	27	CH7	5	FOX-8
36	46	6	14	7	30
grupo 9		grupo 10		grupo 11	
18	CH9	25	FOX-10	33	CH11
10	8	1	39	3	34

## ronda 32

grupo 0		grupo 1		grupo 2	
47	RANDOM	2	SHADOW	9	COMPLEX
37	40	13	19	11	44
grupo 3		grupo 4		grupo 5	
4	DELSHA	31	PENDUL	12	TMX
29	43	21	48	15	20
grupo 6		grupo 7		grupo 8	
36	FOX-6	27	CH7	5	FOX-8
42	46	6	14	7	30
grupo 9		grupo 10		grupo 11	
8	CH9	25	FOX-10	33	CH11
18	10	1	39	3	34

RANDOM: RANDOMSIMPLE, SHADOW, COMPLEX, DELSHA: DELAYEDSHADOW, PENDUL: PENDULUM  
 TMX: TIMXEL SHADOW, FOX, CH: CRAZYHORSE

## ronda 33

grupo 0		grupo 1		grupo 2	
37	RANDOM	19	SHADOW	44	COMPLEX
47	40	2	13	11	9
grupo 3		grupo 4		grupo 5	
29	DELSHA	48	PENDUL	12	TMX
4	43	21	31	15	20
grupo 6		grupo 7		grupo 8	
42	FOX-6	14	CH7	5	FOX-8
36	46	6	27	7	30
grupo 9		grupo 10		grupo 11	
8	CH9	25	FOX-10	33	CH11
18	10	1	39	3	34

## ronda 34

grupo 0		grupo 1		grupo 2	
47	RANDOM	13	SHADOW	44	COMPLEX
40	37	2	19	11	9
grupo 3		grupo 4		grupo 5	
43	DELSHA	48	PENDUL	15	TMX
29	4	21	31	12	20
grupo 6		grupo 7		grupo 8	
42	FOX-6	14	CH7	5	FOX-8
36	46	6	27	7	30
grupo 9		grupo 10		grupo 11	
10	CH9	39	FOX-10	34	CH11
8	18	25	1	33	3

## ronda 35

grupo 0		grupo 1		grupo 2	
47	RANDOM	13	SHADOW	44	COMPLEX
37	40	2	19	11	9
grupo 3		grupo 4		grupo 5	
43	DELSHA	21	PENDUL	15	TMX
4	29	48	31	12	20
grupo 6		grupo 7		grupo 8	
46	FOX-6	6	CH7	7	FOX-8
36	42	27	14	5	30
grupo 9		grupo 10		grupo 11	
8	CH9	25	FOX-10	33	CH11
10	18	1	39	3	34

RANDOM: RANDOMSIMPLE, SHADOW, COMPLEX, DELSHA: DELAYEDSHADOW, PENDUL: PENDULUM  
 TMX: TIMXEL SHADOW, FOX, CH: CRAZYHORSE



# ANEXO C

## EXTRACCIÓN DE LA INFORMACIÓN RELEVANTE

### C.1. CONVERSIÓN DEL FORMATO JSON: EJEMPLO DE ESTRUCTURA OBTENIDA TRAS LA CONVERSIÓN, Y ACCESO A LOS DATOS.

En este primer apartado del anexo C se muestra de forma esquemática un ejemplo de una de las estructuras obtenidas tras la conversión del formato JSON<sup>70</sup>. Para cada jugador se obtendría una estructura similar a ésta.

Como se puede observar en la estructura mostrada (correspondiente a un jugador), se dispone de 10 elementos (cada elemento correspondería a la información registrada durante una ronda de juego). Para cada ronda se obtiene el elemento “roundInfo” que contiene varios campos<sup>71</sup> con información acerca de esa ronda.

También se indica cómo sería el acceso a los datos mediante este ejemplo:

```
colision = dat{1,1}.roundInfo.list{1,3}.colision ;
```

---

<sup>70</sup> En el apartado 3.1.1 se mostró un ejemplo de la cadena de caracteres contenida en uno de los ficheros originales (figura 3.2). Tras la conversión JSON del fichero mostrado en ese ejemplo se obtiene la estructura que aparece en la figura C.1. en este apartado del anexo (página siguiente).

<sup>71</sup> Una descripción completa y detallada de estos campos puede consultarse en [24], en concreto: anexo D, tabla D.6 (roundInfo).

ANEXO C

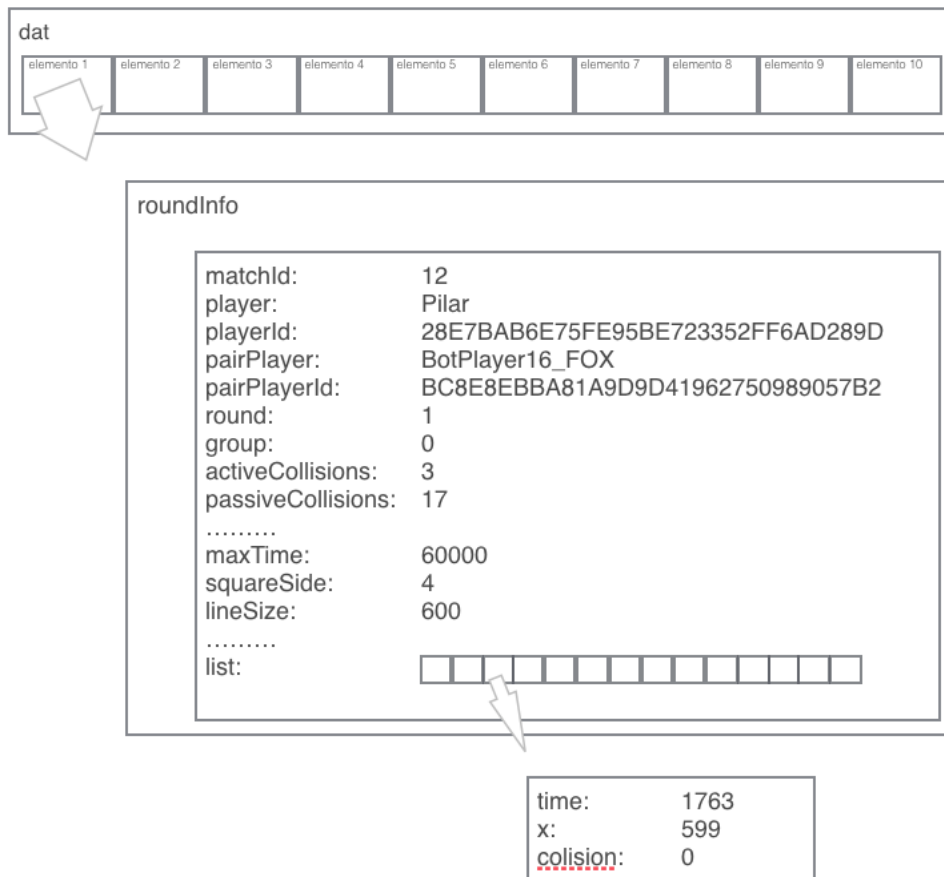


Fig C.1. Ejemplo de una de las estructuras obtenidas tras la conversión del formato JSON.

## ANEXO C

### C.2. ORGANIZACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LA INFORMACIÓN MÁS RELEVANTE. EJEMPLO DE ESTRUCTURA COMPLETA, Y ACCESO A LOS DATOS.

En este apartado del anexo C se muestra de forma esquemática la estructura completa que integra la información más relevante del experimento.

Como se puede observar en la estructura mostrada, en primer lugar se dispone de cuatro elementos que se corresponden con cada una de las sesiones del experimento (como se comentó en el apartado 2.3.3., y se reflejó también en el anexo A, en las dos primeras sesiones participó el grupo de control y en las dos siguientes el grupo de estudio).

Dentro de cada sesión se dispone de 10 elementos que se corresponden con cada una de las rondas de juego. Dentro de cada ronda aparecen las parejas formadas, y dentro de cada pareja la información de los dos jugadores.

También se indica cómo sería el acceso a los datos mediante este ejemplo, para lo cual en primer lugar se inicializan las variables indicadas que facilitan el acceso a los datos de forma mucho más intuitiva:

```
sesion = 3 ; ronda = 4 ; pareja = 2 ; elemento = 7 ;

tiempo = datos{1,sesion}{1,ronda}{1,pareja}.jugador2.traza(elemento,1) ;
posicion = datos{1,sesion}{1,ronda}{1,pareja}.jugador2.traza(elemento,2) ;
colision = datos{1,sesion}{1,ronda}{1,pareja}.jugador2.traza(elemento,3) ;

descripcion = datos{1,sesion}{1,ronda}{1,pareja}.jugador2.descripcion72 ;
```

---

<sup>72</sup> El campo "descripción" forma parte de la estructura definida para cada jugador e indica la naturaleza del jugador, según los valores siguientes:

0 indica que el jugador es una persona  
1 indica que el jugador es un bot de tipo FOX  
2 indica que el jugador es un bot de tipo TIMXELSHADOW

ANEXO C

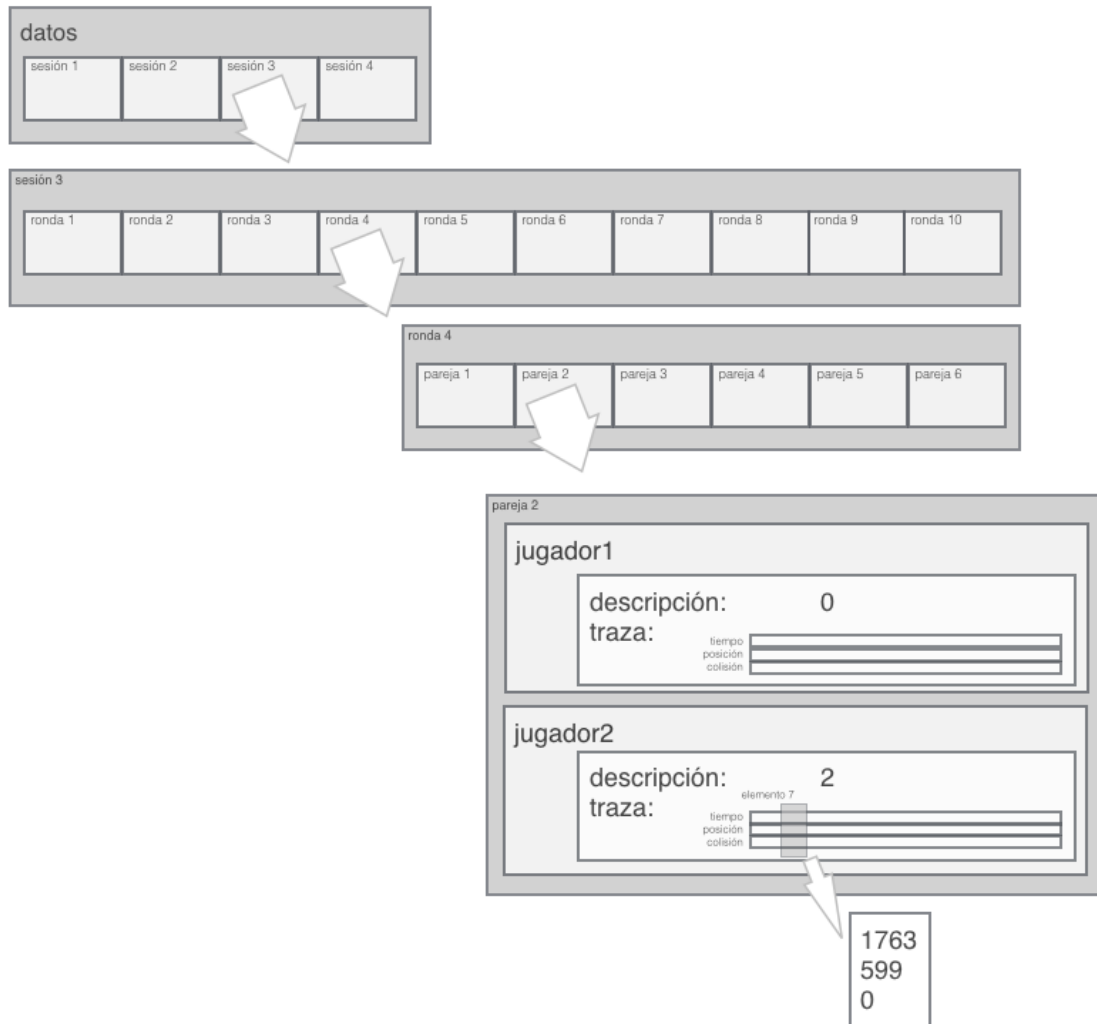


Fig C.2. Estructura completa que integra la información más relevante del experimento.

### C.3. PROGRAMACIÓN ORIENTADA A OBJETOS: DIAGRAMA DE CLASES.

A través del siguiente diagrama de clases mostrado en este apartado se esbozan de forma muy básica los objetos de la base de datos descrita al final del apartado 3.1.2. y sus relaciones. También se indican algunos valores concretos para cada caso (experimento A y experimento B).

Por sencillez, la solución finalmente adoptada en el proyecto no incluye la definición de grupo, que sí aparece en este diagrama de clases pues permite emplear la misma estructura para poder abordar también el experimento B.

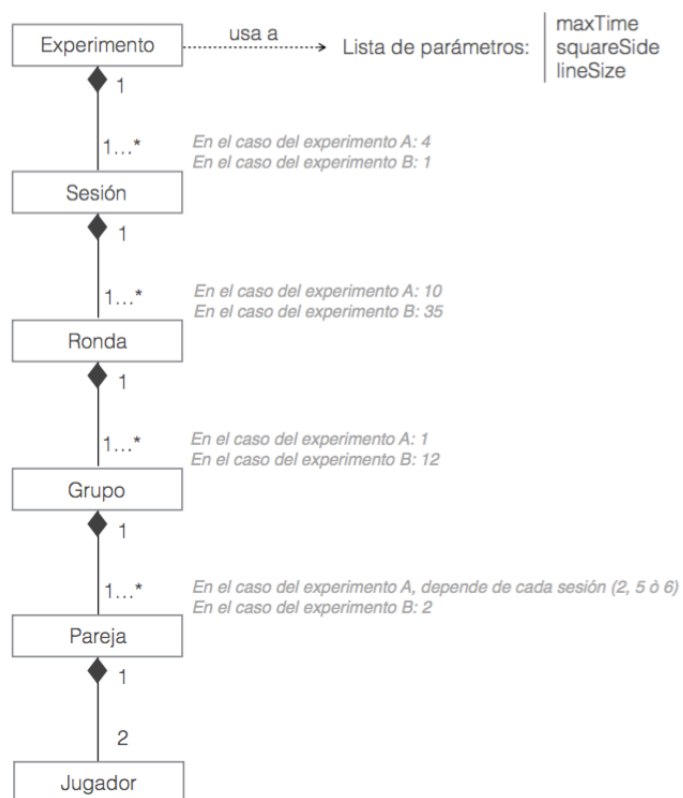


Fig C.3. Diagrama de clases que representa la estructura de los experimentos.



# ANEXO D

## CARACTERÍSTICAS DE LOS DATOS REGISTRADOS

En este anexo se ilustran mediante distintos ejemplos algunas de las características más importantes observadas en las señales registradas, comentadas en el apartado 3.2.

### D.1. EJEMPLO DE SALTOS EN LA FRONTERA DEL ESPACIO VIRTUAL COMPARTIDO.

La siguiente figura muestra la evolución de la posición registrada de un jugador<sup>73</sup> a lo largo del tiempo. Se observa que a partir de los 20 segundos, el jugador se aproxima a la frontera y la atraviesa, produciéndose un cambio importante en el valor de la posición (la posición del jugador pasa de valores próximos a 600, a valores próximos a 0, y viceversa). Esta situación se repite hasta en dos ocasiones más antes de concluir la ronda.

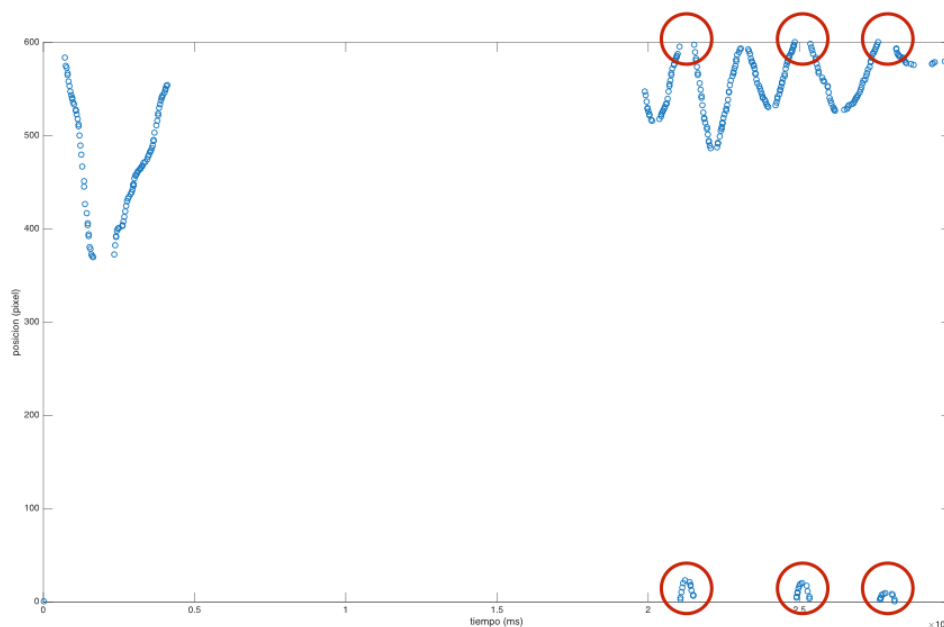


Fig D.1. Ejemplo de saltos en la frontera del espacio virtual compartido.

<sup>73</sup> Identificación de la traza representada: sesión 3, ronda 6, pareja 2, jugador 1.

## ANEXO D

Estos saltos no son reales y solo representan el paso del sujeto a través de la frontera. De hecho, la trayectoria real del jugador describe movimientos muy suaves: oscilaciones con una amplitud pequeña.

### D.2. EJEMPLO DE COMPONENTE DE BAJA FRECUENCIA

Para poder apreciar mejor la trayectoria del jugador<sup>74</sup>, se ha indicado en color naranja su evolución. Se observa un movimiento muy suave en la trayectoria del jugador<sup>75</sup>, y además, la mayor parte del tiempo el jugador se mantiene en la misma posición del espacio virtual. Se trataría de un caso de baja frecuencia.

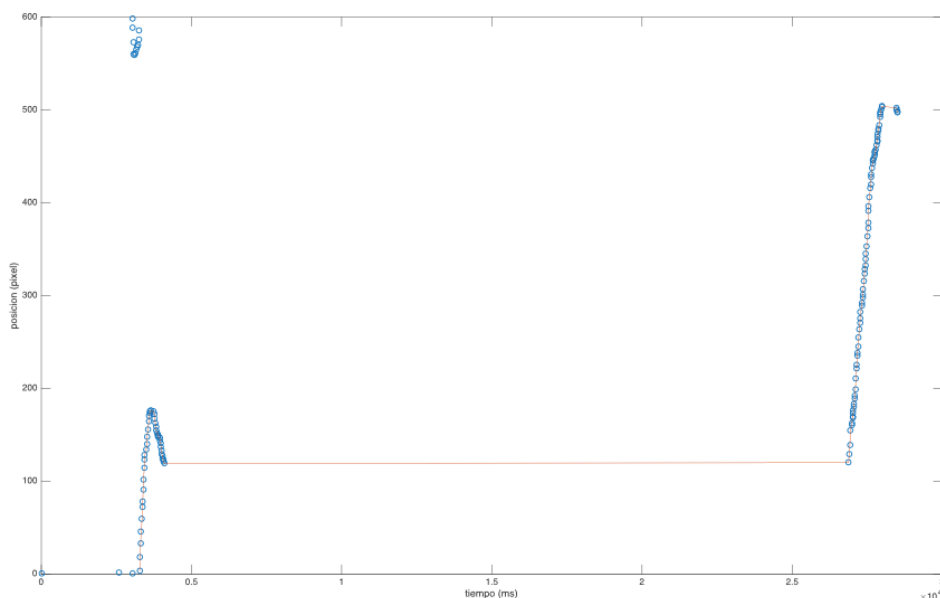


Fig D.2. Ejemplo de componente de baja frecuencia.

<sup>74</sup> Identificación de la traza representada: sesión 3, ronda 2, pareja 8, jugador 1.

<sup>75</sup> Obviando el salto que se produce debido a que el jugador ha atravesado la frontera (estos saltos no son reales y solo representan el paso del jugador a través de la frontera).



### D.3. EJEMPLO DE COMPONENTE DE ALTA FRECUENCIA

Para poder apreciar mejor la trayectoria del jugador<sup>76</sup>, se ha indicado en color naranja su evolución<sup>77</sup>. Se observa un movimiento brusco en zig-zag superpuesto a un movimiento más suave que va barriendo todo el espacio virtual compartido. El movimiento en zig-zag correspondería a un caso de componente de alta frecuencia.

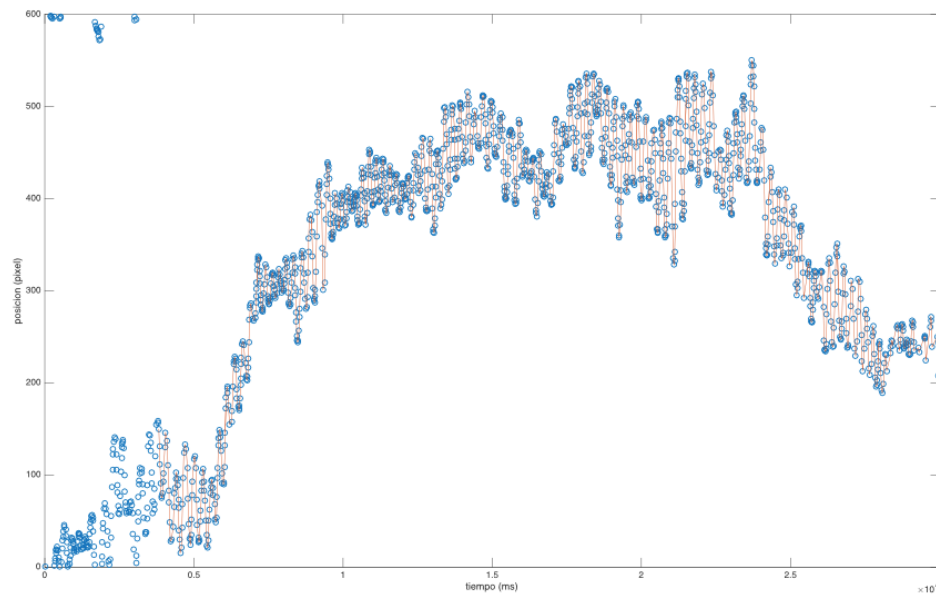


Fig D.3. Ejemplo de componentes de alta frecuencia.

<sup>76</sup> Identificación de la traza representada: sesión 2, ronda 3, pareja 2, jugador 1.

<sup>77</sup> En este caso también se ha obviado el salto que se produce debido a que el jugador ha atravesado la frontera (estos saltos no son reales y solo representan el paso del jugador a través de la frontera).

#### D.4. EJEMPLO DE IRREGULARIDADES EN LA TRAYECTORIA

En la siguiente figura se representa la trayectoria de un jugador<sup>78</sup>. En esta trayectoria se observan movimientos bruscos, especialmente en el intervalo entre 13 y 22 segundos. La posición del jugador está cambiando constantemente, presenta oscilaciones con una amplitud muy grande que abarcan casi todo el espacio virtual compartido.

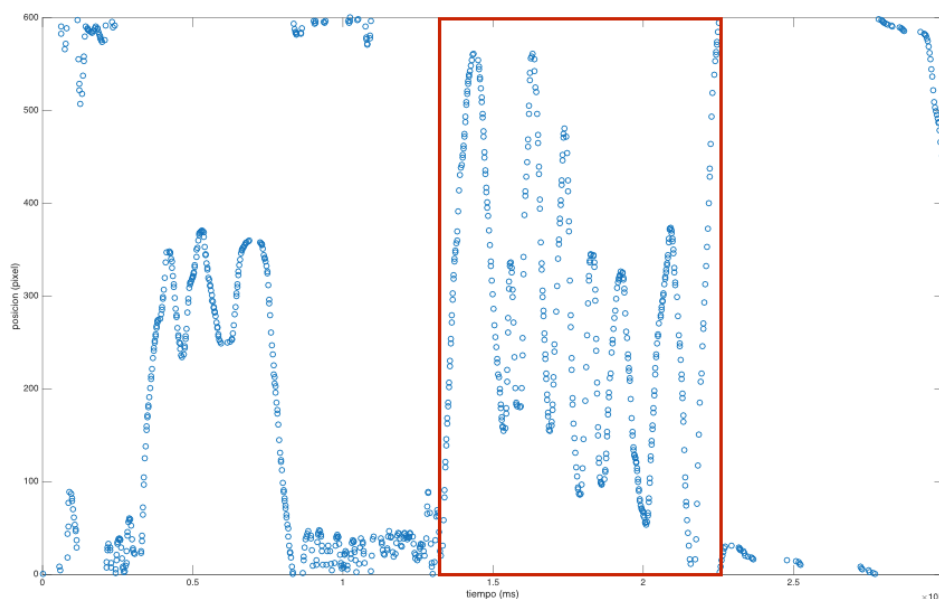


Fig D.4. Ejemplo de irregularidades en la trayectoria.

Se supone que sólo se registran las posiciones de los jugadores si éstas cambian de valor, de este modo se asegura un buen uso de los recursos (en concreto, del espacio ocupado en memoria). Sin embargo, en el intervalo considerado, se observa que el jugador está cambiando de posición constantemente pero no se registran todos los valores posibles.

Para comprender mejor este aspecto se ha analizado el tiempo que transcurre entre dos muestras consecutivas dentro de ese intervalo y se ha estudiado su distribución. En la figura de la página siguiente se representa el histograma correspondiente.

<sup>78</sup> Identificación de la traza representada: sesión 1, ronda 5, pareja 4, jugador 1.

## ANEXO D

Analizando con detalle esta gráfica, obtenida para el intervalo considerado, se observa que el tiempo entre dos muestras consecutivas se encuentra alrededor de ciertos valores concretos. Este análisis revela un comportamiento inesperado.

Esos valores serían aproximadamente: en torno a cero, en torno a 30 milisegundos (en mayor proporción), e incluso pueden observarse algunas muestras en torno a múltiplos de este último (aproximadamente en torno a 60 milisegundos y en torno a 90 milisegundos).

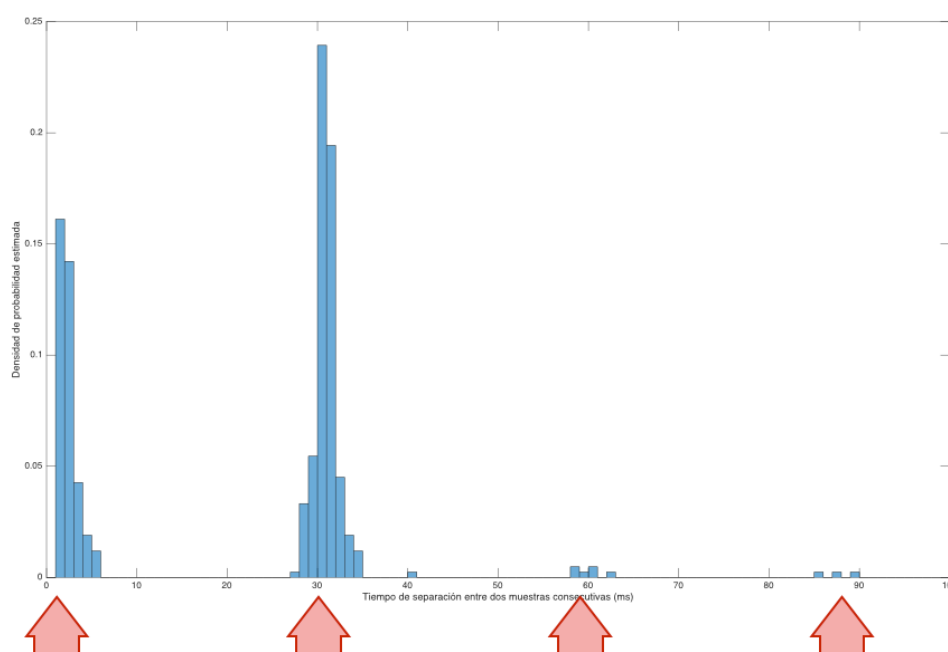


Fig D.5. Histograma: tiempo de separación entre dos muestras consecutivas.

De esta observación se podría deducir erróneamente la existencia de ciertas ventanas temporales durante las cuales se produce el muestreo de la posición del jugador. Para contrastar este hecho, se elige otra traza con características similares<sup>79</sup> y también se observa la existencia de ciertas ventanas temporales pero con otra relación de múltiplos. Finalmente se ha elegido una nueva traza para contrastar estos hechos, y se ha observado una distribución diferente. En la figura de la página siguiente se comparan las tres trazas elegidas.

Como se comentó en el apartado 3.2.3., se considera que estas irregularidades podrían ser propias de la comunicación cliente servidor o de las características de la plataforma que permite llevar a cabo el experimento (p.e. la gestión de interrupciones del sistema operativo), aunque no se han llegado a comprobar estas hipótesis.

<sup>79</sup> Suponiendo que este fenómeno se produce debido a la velocidad del trazo del jugador, se ha elegido una segunda señal que también presenta una velocidad de trazo similar a la primera. La velocidad de trazo se define como el cociente entre el espacio total recorrido por el cursor y el tiempo invertido.

## ANEXO D

Se propone como futura línea de trabajo investigar acerca de las posibles causas que provocan esta situación, encontrar una explicación y caracterizar el fenómeno.

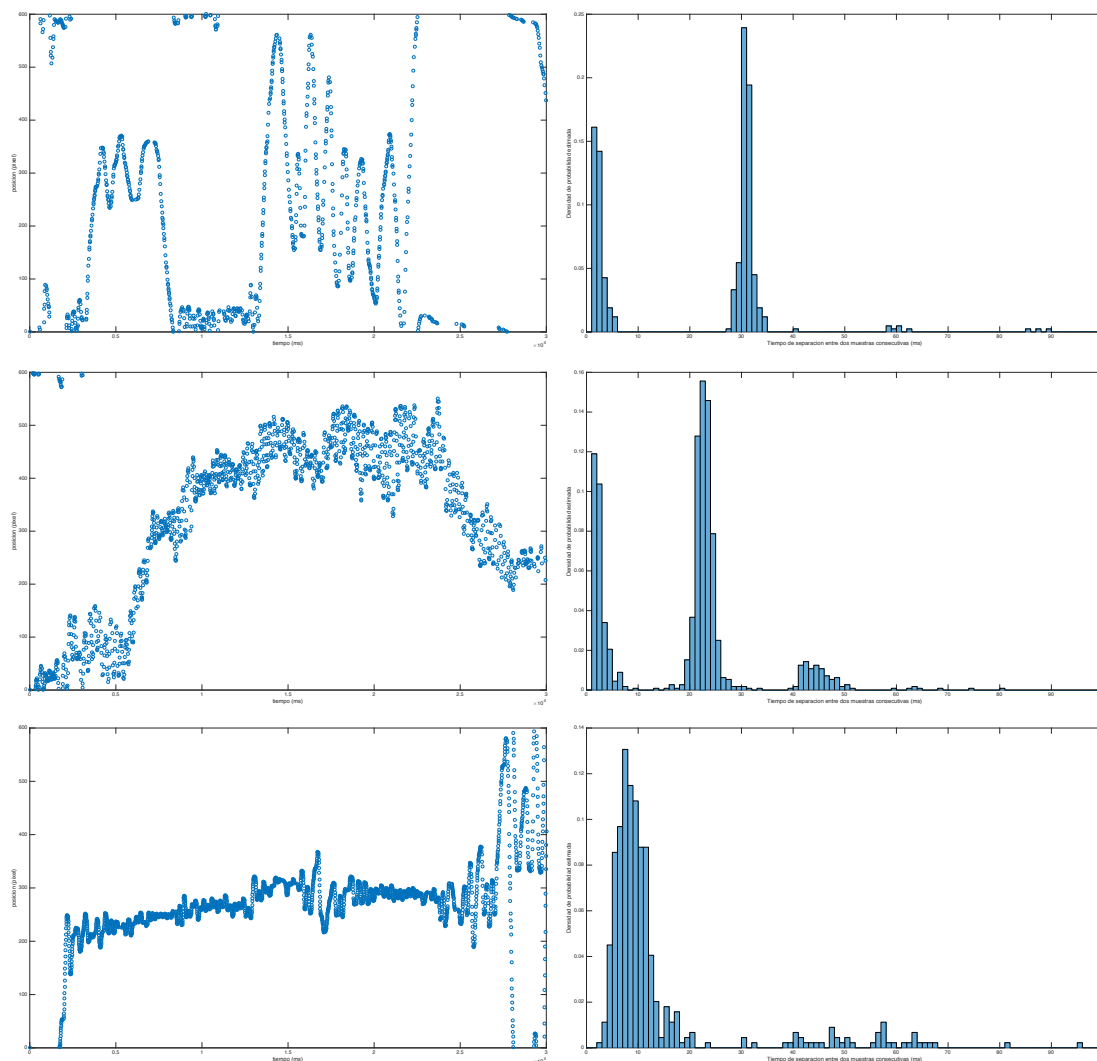


Fig D.6. Comparativa de la distribución del tiempo entre muestras de tres trazas distintas.

En la figura se distinguen dos columnas: la de la izquierda muestra la evolución temporal de la traza del jugador, y la de la derecha muestra el histograma del tiempo entre dos muestras consecutivas. En cada fila se representan las características de un jugador distinto<sup>80</sup>. Las dos primeras filas representan trazas con velocidad de trazo similar. En la primera fila, para el intervalo [13 s - 22 s] se tiene una velocidad de trazo de 0.5419 píxeles/ms. En la segunda fila, para el intervalo [6 s - 27 s] se tiene una velocidad de trazo de 0.5964 píxeles/ms. En los dos casos, se aprecian las ventanas temporales en el histograma, pero situadas en regiones diferentes (aunque en ambos casos se aprecia la relación de múltiplos). La última fila representa una traza mucho más lenta, con velocidad de trazo 0.1473 píxeles/ms, para el intervalo [7 s - 13 s]. En este último caso la distribución en el histograma es completamente diferente a la de los dos casos anteriores.

<sup>80</sup> En la primera fila: sesión 1, ronda 5, pareja 4, jugador 1.  
 En la segunda fila: sesión 2, ronda 3, pareja 2, jugador 1.  
 En la tercera fila: sesión 3, ronda 1, pareja 4, jugador 1.

# ANEXO E

## IMPLICACIONES DEL MUESTREO NO UNIFORME

Entre los tipos de muestreo no uniforme más comunes se encuentran los representados en la siguiente figura, que serán explicados a continuación.

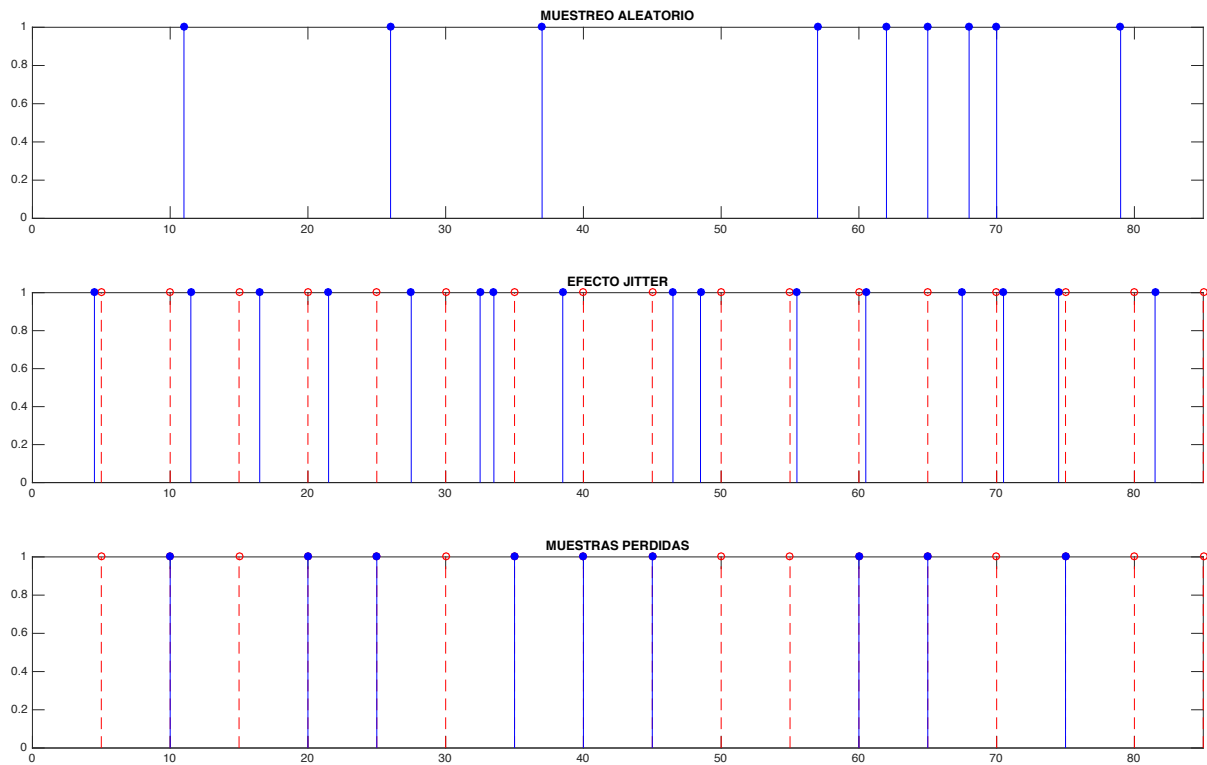


Fig E.1. Ejemplos de los tipos de muestreo no uniforme más comunes.

En esta figura se han representado tres ejemplos que representan los tipos de muestreo no uniforme más comunes. Se trata de una representación cualitativa que permite ilustrar estas situaciones. En cada uno de ellos se representan los instantes de muestreo, el eje horizontal representa la magnitud temporal y el eje vertical permite distinguir dichos instantes de muestreo.

Los instantes de muestreo se han representado en color azul. Además, en el segundo y en el tercer ejemplo también se han representado (en color rojo y línea discontinua) los múltiplos del tiempo de muestreo. Se ha considerado tiempo de muestreo  $T = 5$  unidades.

## ANEXO E

A continuación se describen brevemente los tres tipos de muestreo no uniforme más comunes:

### MUESTREO ALEATORIO

El tiempo que transcurre entre dos muestras consecutivas es una variable aleatoria con distribución uniforme. El nuevo instante de muestreo se obtiene a partir del instante de muestreo anterior sumándole el valor de esta variable aleatoria  $\tau_m$ .

$$t_m = t_{m-1} + \tau_m$$

### EFECTO JITTER

El tiempo de muestreo es conocido. Los instantes de muestreo deberían producirse en los múltiplos del tiempo de muestreo:  $t_m = mT$ . Sin embargo, estos instantes de muestreo no siempre coinciden con los múltiplos del tiempo de muestreo, se producen un poco antes o después.

El nuevo instante de muestreo se obtiene sumando al múltiplo correspondiente del tiempo de muestreo una variable aleatoria  $\tau_m$ , de media nula, cuyo valor está comprendido entre  $-T/2$  y  $T/2$ .

$$t_m = mT + \tau_m$$

### MUESTRAS PERDIDAS

El nuevo instante de muestreo se obtiene a partir del instante de muestreo anterior sumándole un múltiplo del tiempo de muestreo  $\tau_m \in \{T, 2T, 3T, \dots\}$

$$t_m = mT + \tau_m$$

El tiempo de muestreo del experimento tratado en este proyecto se podría plantear según dos perspectivas: o bien considerando muestreo aleatorio o bien considerando muestras perdidas (siendo el tiempo de muestreo  $T = 1$  ms). En adelante se va a considerar que el muestreo de las señales registradas en el experimento se ajusta al caso de muestreo aleatorio.

Para comprobar cómo se ajusta a este caso, se analiza el tiempo que transcurre entre dos muestras consecutivas (considerando el conjunto completo de todas las señales registradas) y se estudia la distribución de esta variable aleatoria, obteniéndose el histograma que se muestra en la página siguiente.

## ANEXO E

Observando el histograma se advierte la presencia de una serie de franjas temporales que presentan mayor probabilidad. Para los demás valores se observa una distribución uniforme en un rango que se extiende hasta casi los 50 ms.

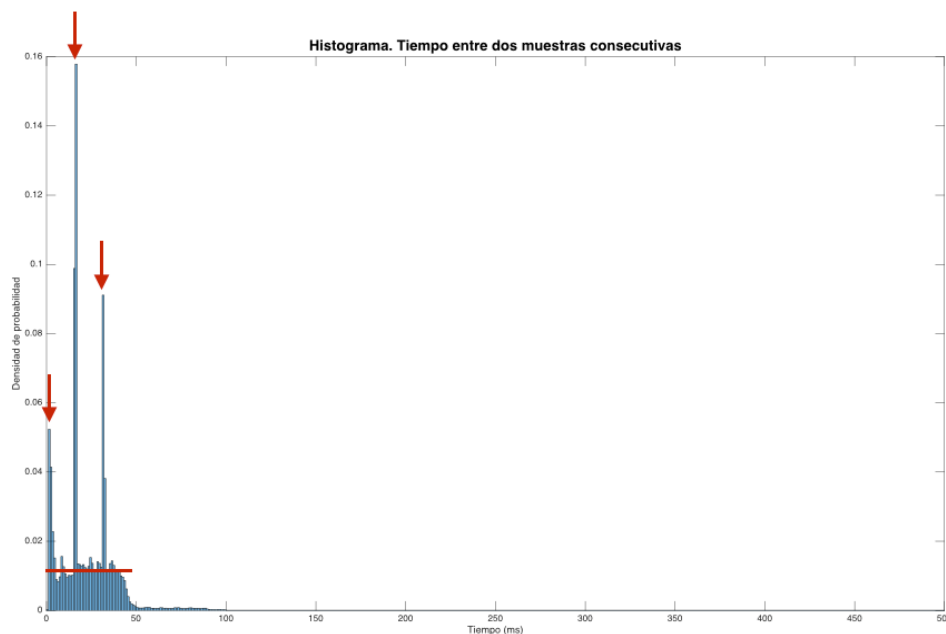


Fig E.2. Histograma: tiempo de separación entre dos muestras consecutivas.

Para la obtención de este histograma, que representa la densidad de probabilidad del tiempo de muestreo entre dos muestras consecutivas, se han tenido en cuenta todas las trazas del experimento completo.

Se podría pensar que el histograma refleja dos efectos distintos, y uno de ellos sería el muestreo aleatorio. Se propone como futura línea de trabajo investigar acerca de las posibles causas que provocan esta situación, encontrar una explicación y caracterizar estos fenómenos. Mientras tanto, y por sencillez, se propone considerar que el muestreo de las señales registradas en el experimento se ajusta únicamente al caso de muestreo aleatorio.

Volviendo al problema del tiempo de muestreo, la solución que finalmente se ha adoptado en el proyecto ha sido considerar como tiempo de muestreo: 1 ms, y en base a este criterio realizar la reconstrucción de las señales.

Ahora bien, si en vez de considerar este tiempo de muestreo se hubiese considerado otro mayor, por ejemplo: 5 ms ò 10 ms, se plantea una nueva cuestión: ¿cómo realizar correctamente la asignación de valores a los nuevos instantes de muestreo?

A continuación se describen tres criterios sencillos:

## ANEXO E

Uno de los criterios más sencillos (que también ha sido considerado en la primera solución de reconstrucción del proyecto) es *sample&hold*. En los instantes de muestreo el valor de la muestra coincide con el valor de la última muestra registrada.

Otro criterio sería el de la muestra más cercana. En los instantes de muestreo el valor de la muestra coincide con el valor de la muestra más próxima.

Finalmente, otro criterio que mejora al anterior, consistiría en considerar los vecinos más cercanos (no solo la muestra más próxima, sino varias muestras del entorno) y en los instantes de muestreo el valor de la nueva muestra sería función de las muestras más próximas.

Otro de los aspectos que despertan interés es el análisis frecuencial de la señal original. Los métodos de estimación de la densidad espectral de potencia asumen estacionariedad y muestreo uniforme de los datos.

En cuanto a la primera condición, dado que el comportamiento del sujeto es complejo y en ocasiones refleja una intención de búsqueda mientras que en otras ocasiones refleja un patrón de interacción, no puede considerarse estacionaria en todo su conjunto. La distribución de probabilidad del proceso no es la misma para los distintos instantes de tiempo.

En cuanto a la segunda condición, tampoco se cumple el muestreo uniforme de los datos. En este caso, el método que mejor rendimiento ofrece para la estimación de la densidad de potencia sería el periodograma de Lomb<sup>81</sup>: técnica basada en el criterio de mínimos cuadrados y que produce una estimación no paramétrica del espectro de potencia.

No obstante, estas técnicas resultan especialmente importantes en el análisis de señales que requieren un conocimiento exhaustivo de las componentes espectrales que la forman, como sucede con la variabilidad del ritmo cardíaco, ya que cambios en el espectro de la señal pueden indicar alteraciones funcionales, desórdenes importantes y patologías.

En nuestro caso, sería suficiente con determinar la máxima tasa de variación de la señal, ya que permitiría definir la frecuencia de corte del filtro paso bajo (empleado en la segunda solución de reconstrucción de la señal) que preservaría la dinámica de la señal registrada en el experimento. No obstante, se propone como futura línea de trabajo ahondar en el análisis de las trazas reales a partir de las señales registradas estimando el espectro de frecuencias de dichas señales<sup>82</sup>.

---

<sup>81</sup> Confróntese: capítulo sobre variabilidad del ritmo cardíaco, escrito por Pablo Laguna y Leif Sörnmo, perteneciente al libro "Procesado de señales biomédicas" Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha (2007).

<sup>82</sup> Además de los trabajos publicados por Pablo Laguna y Leif Sörnmo sobre tratamiento de señales muestreadas no uniformemente, también se recomienda la lectura del trabajo de Frida Eng, del Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Linköping (Suecia), "Non-Uniform Sampling in Statistical Signal Processing".



# ANEXO F

## INTERPRETACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LOS JUGADORES SEGÚN LAS TRAYECTORIAS

Para ilustrar los aspectos tratados en el apartado 3.3., en este anexo se presentan algunas de las posibles interpretaciones de los comportamientos de los jugadores según las trayectorias descritas.

### F.1. TIEMPO DE REACCIÓN DEL JUGADOR.

Cuando las trayectorias de los dos jugadores se cruzan, la plataforma que soporta el experimento emite a los dos jugadores una señal luminosa acompañada de una señal sonora y tras un pequeño intervalo de tiempo (tiempo de reacción al estímulo) el sujeto reacciona a las señales recibidas y modifica su trayectoria. El tiempo de reacción de una persona es de aproximadamente 1 segundo, aunque depende de las características de cada individuo.

En la siguiente figura se observa el detalle de las trazas de dos jugadores para un intervalo concreto de la partida en el que es posible apreciar que tras producirse el cruce de ambos, transcurre un margen de tiempo (de aproximadamente 1 segundo) antes de que el sujeto (traza marcada en color azul) reaccione modificando su trayectoria para volver a coincidir con su contrincante (traza marcada en color naranja).

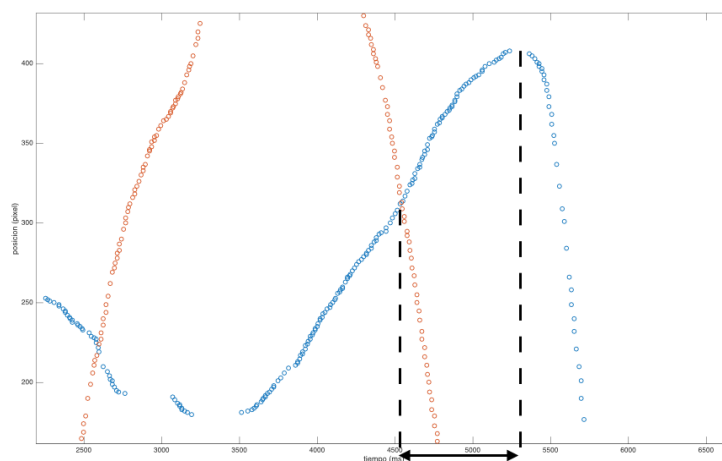


Fig F.1. Ejemplo de tiempo de reacción del jugador.

### F.2. COMPORTAMIENTO DE BÚSQUEDA.

En algunas ocasiones se puede observar cómo el jugador va dando bandazos, con un movimiento errático, barriendo todo el espacio, buscando al otro jugador.

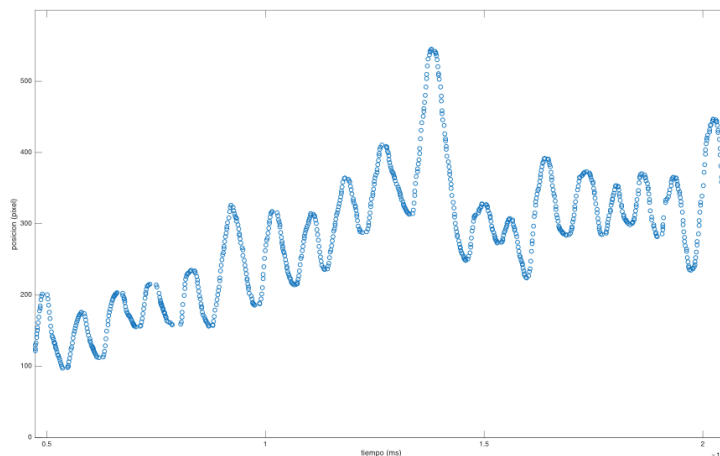


Fig F.2. Ejemplo de comportamiento de búsqueda.

### F.3. COMPORTAMIENTO DE INTERACCIÓN.

Cada vez que los dos jugadores se cruzan, modifican el sentido de avance y reducen la amplitud para provocar sucesivos cruces, produciéndose una especie de “baile” en el que los dos individuos parecen interactuar. En términos de sistemas dinámicos se diría que sus trayectorias confluyen hacia un atractor. Obsérvese trayectoria naranja en la siguiente figura.

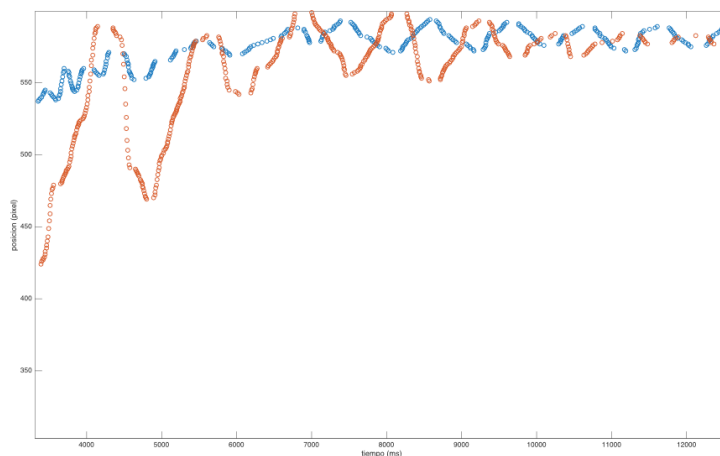


Fig F.2. Ejemplo de comportamiento de búsqueda.

# ANEXO H

## CARACTERÍSTICAS PERSONALES REGISTRADAS EN LA BASE DE DATOS DEL EXPERIMENTO

A continuación se muestra un listado resumen de los ítems registrados en la base de datos del experimento. Esta base de datos<sup>83</sup> permitiría abordar el análisis estadístico de las muestras de forma rigurosa permitiendo definir factores personales en los modelos de regresión. Los ítems se han agrupado en secciones para facilitar su lectura.

Edad	Úlcera
Sexo	Cefaleas crónicas
Lugar de nacimiento	Varices
Estado civil	Próstata
Convivencia. Describe si la persona vive sola o en compañía de otras personas.	Menopausia
Nivel de estudios	Ansiedad
Situación laboral	Depresión
Tipo de contrato en el lugar de trabajo	Cáncer
Alergia a medicamentos	Problemas de visión
Fumador	Problemas de audición
Número de cigarrillos al día	Otro trastorno crónico
Ex fumador (desde hace más de un año)	Otras enfermedades
Consumo de alcohol	¿Toma alguna medicación?
Unidades de bebida estándar a la semana	IRI (Índice de reactividad personal). Medida de la empatía
Artrosis	Test de los ojos. Permite detectar Parkinson
Enfermedades reumáticas	Test de las indirectas
Dolor cervical crónico	AIHQ (Ambiguous Intentions Hostility Questionnaire). Medida de la hostilidad
Lumbagía	HADS (Hospital Anxiety and Depression Scale). Medida de la ansiedad y de la depresión
MPOC (bronquitis/efisema)	SCIP (Screen for Cognitive Impairment in Psychiatry). Evaluación del deterioro cognitivo
Asma	MAAS (Mindful Attention Awareness Scale). Medida de la conciencia plena
Diabetes	FFMQ (Five Facet Mindfulness Questionnaire). Medida de la conciencia plena
Hipertensión	Experiencia en meditación <sup>84</sup>
Arritmias cardiacas	Técnicas de meditación
Angina de pecho o infarto	¿Con qué frecuencia se practica?
Accidente vascular o embolia	¿Durante cuánto tiempo?

Tabla H.1. Ítems registrados en la base de datos estadísticos del experimento.

<sup>83</sup> Base\_de\_datos\_cognicion\_social.sav

<sup>84</sup> Entre las técnicas de meditación planteadas en el cuestionario realizado a los participantes, se encuentran las siguientes: prácticas formales, Concent, Vipassana, Imaginación, Observación, Compasión, prácticas informales y otras prácticas.



# ANEXO I

## ANÁLISIS ESTADÍSTICO: INTERRELACIÓN ENTRE LOS JUGADORES QUE COMPONEN CADA PAREJA

A través de las figuras de este anexo se pretende mostrar la interrelación existente entre los jugadores que componen cada pareja, lo que conlleva una mayor complejidad a la hora de abordar el análisis estadístico siguiendo la perspectiva del paradigma holístico.

Para ello se muestran unas tablas (cada tabla se corresponde con una sesión distinta del experimento A) en las que se representa a cada jugador mediante un número en el borde de la tabla (tanto en el borde superior como en el borde lateral derecho). Si dos jugadores han formado pareja en la sesión, la casilla correspondiente aparece con uno o varios valores que indican la ronda en la que esos dos jugadores se enfrentaron. Según esta representación, la diagonal siempre aparecerá vacía (un jugador nunca se enfrenta a sí mismo) y la tabla presenta simetría, de modo que solo se representa una de las dos mitades (triángulo superior).

ANEXO I

SESIÓN 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
		3, 8, 10	4		5							1
			10	4					8	3	5	2
					4		5					3
				5			3	8				4
									3, 10	8		5
						10	8				3	6
								3	5	4	8	7
								10			4	8
									4	5		9
												10
											10	11
												12

Fig I.1. Interrelaciones entre los jugadores que componen cada pareja, en la sesión 1.

En el encabezado de la tabla y en el lateral derecho aparecen los números del 1 al 12 que representan a cada uno de los jugadores que han participado en la sesión 1. Dentro de la tabla se rellenan las casillas con el número de la ronda en la que esos dos jugadores han jugado juntos formando pareja. Por ejemplo, el jugador 6 y el jugador 3 formaron pareja en la ronda 4, siendo uno el contrincante del otro. El jugador 3 y el jugador 1 formaron pareja en tres rondas distintas: en la ronda 3, en la ronda 8 y en la ronda 10.

ANEXO I

SESIÓN 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
				1, 2, 6				3, 9		1
		2	3	9	1				6	2
				3	6		1			3
						1, 2, 9	6			4
										5
							3, 9	2		6
								6	3	7
									2	8
									1	9
										10

Fig I.2. Interrelaciones entre los jugadores que componen cada pareja, en la sesión 2.

En el encabezado de la tabla y en el lateral derecho aparecen los números del 1 al 10 que representan a cada uno de los jugadores que han participado en la sesión 2. Dentro de la tabla se rellenan las casillas con el número de la ronda en la que esos dos jugadores han jugado juntos formando pareja. Por ejemplo, el jugador 9 y el jugador 7 formaron pareja en la ronda 6, siendo uno el contrincante del otro. El jugador 5 y el jugador 1 formaron pareja en tres rondas distintas: en la ronda 1, en la ronda 2 y en la ronda 6.

ANEXO I

SESIÓN 3

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
						7		6	9			1, 10	1
			6	7					10		1, 9		2
				10		6, 9	7	1					3
					9			7	1, 10				4
							1, 9	6					5
						1				6, 10			6
							10		7				7
													8
													9
											6, 9		10
												7	11
													12

Fig I.3. Interrelaciones entre los jugadores que componen cada pareja, en la sesión 3.

En el encabezado de la tabla y en el lateral derecho aparecen los números del 1 al 12 que representan a cada uno de los jugadores que han participado en la sesión 3. Dentro de la tabla se rellenan las casillas con el número de la ronda en la que esos dos jugadores han jugado juntos formando pareja. Por ejemplo, el jugador 6 y el jugador 4 formaron pareja en la ronda 9, siendo uno el contrincante del otro. El jugador 10 y el jugador 4 formaron pareja en dos rondas distintas: en la ronda 1 y en la ronda 10.



## ANEXO I

### SESIÓN 4

	1	2	3	4	
1		3, 7		2, 8, 10	1
2			2, 8, 10		2
3				3, 7	3
4					4

Fig I.4. Interrelaciones entre los jugadores que componen cada pareja, en la sesión 4.

En el encabezado de la tabla y en el lateral derecho aparecen los números del 1 al 4 que representan a cada uno de los jugadores que han participado en la sesión 4. Dentro de la tabla se rellenan las casillas con el número de la ronda en la que esos dos jugadores han jugado juntos formando pareja. Por ejemplo, el jugador 2 y el jugador 2 formaron pareja en dos rondas distintas: en la ronda 3 y en la ronda 7.

ANEXO I

# ANEXO J

## RESULTADOS DE LA RECONSTRUCCIÓN DE SEÑALES

En las páginas siguientes, pertenecientes a este último anexo, se muestran los resultados de la reconstrucción de las señales de referencia descritas en el apartado 4.2 con las que se han obtenido los resultados del apartado 4.4 (medida del error de reconstrucción). Para cada uno de los valores de  $\beta$  considerados en el análisis citado se puede observar y comparar la reconstrucción de las señales en el dominio temporal para las tres soluciones propuestas.

En cada una de las páginas se muestra: la señal original (gráfica superior izquierda), la señal reconstruida según la primera solución (gráfica superior derecha), la señal reconstruida según la segunda solución (gráfica inferior derecha, para poder compararla fácilmente con la primera solución situada también en el lado derecho parte superior) y la señal reconstruida según la tercera solución (gráfica inferior izquierda).

ANEXO J

SEÑAL DE REFERENCIA CON EXPONENTE  $\beta = 0.2$

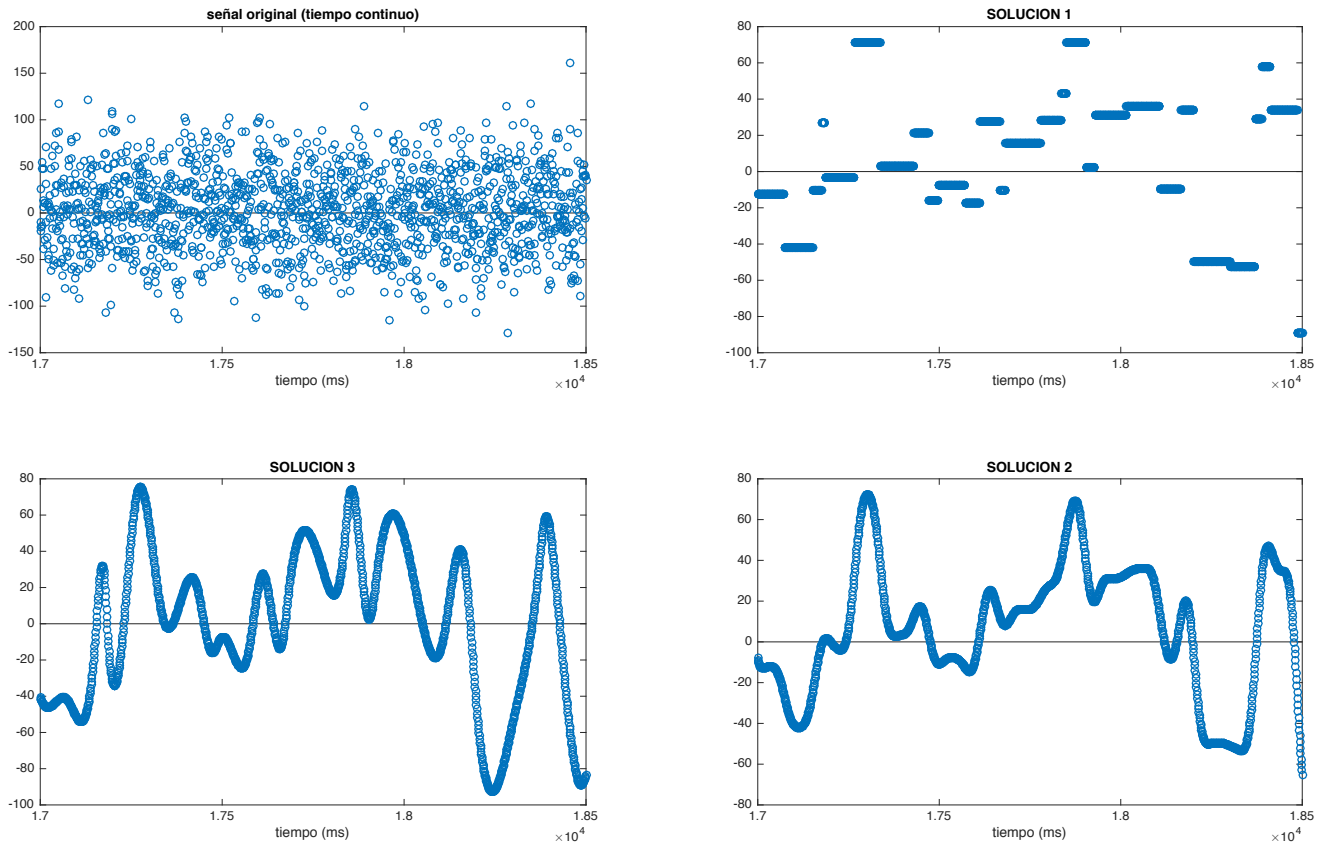


Fig J.1. Comparativa, en el dominio temporal, del mismo segmento según las distintas soluciones de reconstrucción. Señal original con  $\beta = 0.2$  (ley de potencias).

SEÑAL DE REFERENCIA CON EXPONENTE  $\beta = 0.5$

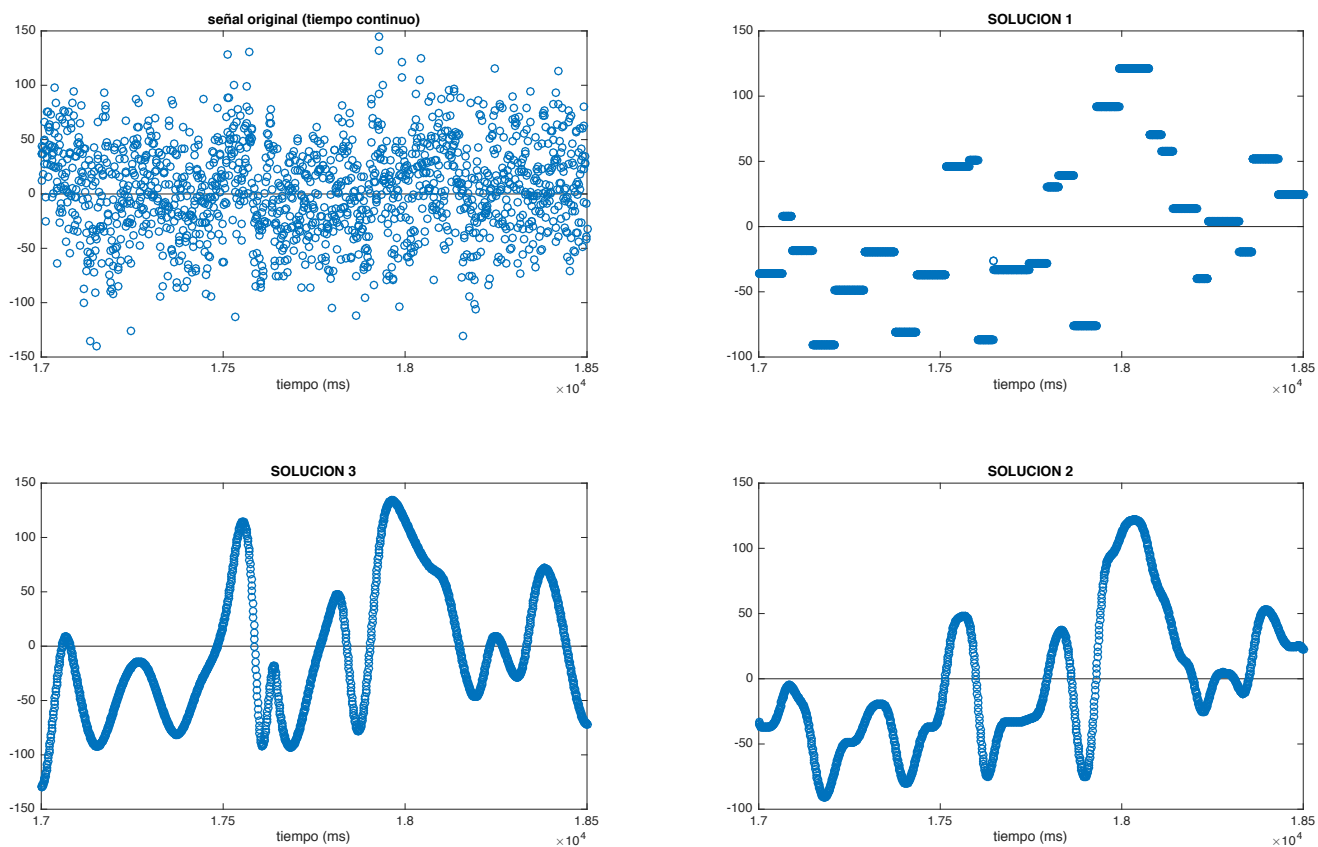


Fig J.2. Comparativa, en el dominio temporal, del mismo segmento según las distintas soluciones de reconstrucción. Señal original con  $\beta = 0.5$  (ley de potencias).

ANEXO J

SEÑAL DE REFERENCIA CON EXPONENTE  $\beta = 0.7$

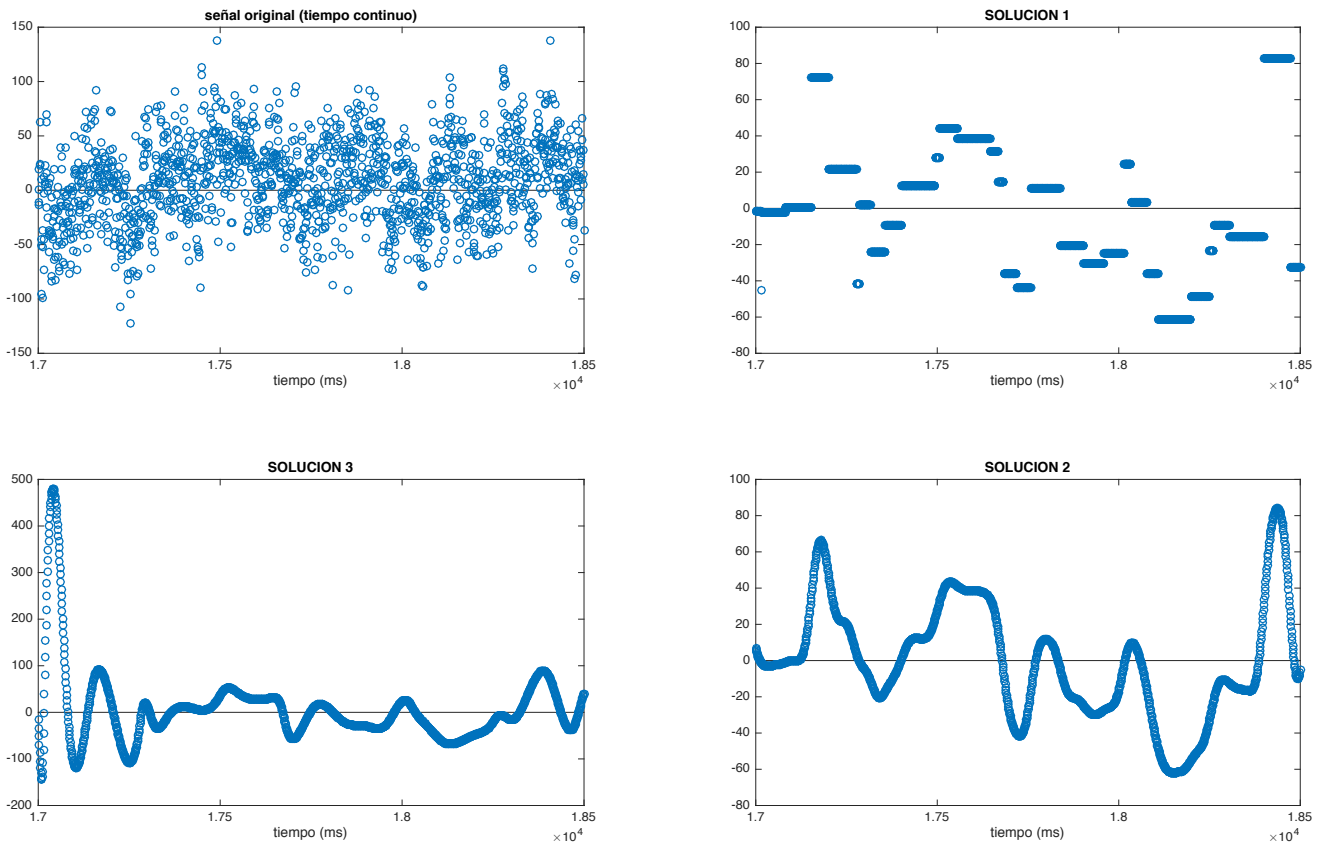


Fig J.3. Comparativa, en el dominio temporal, del mismo segmento según las distintas soluciones de reconstrucción. Señal original con  $\beta = 0.7$  (ley de potencias).

ANEXO J

SEÑAL DE REFERENCIA CON EXPONENTE  $\beta = 1.0$

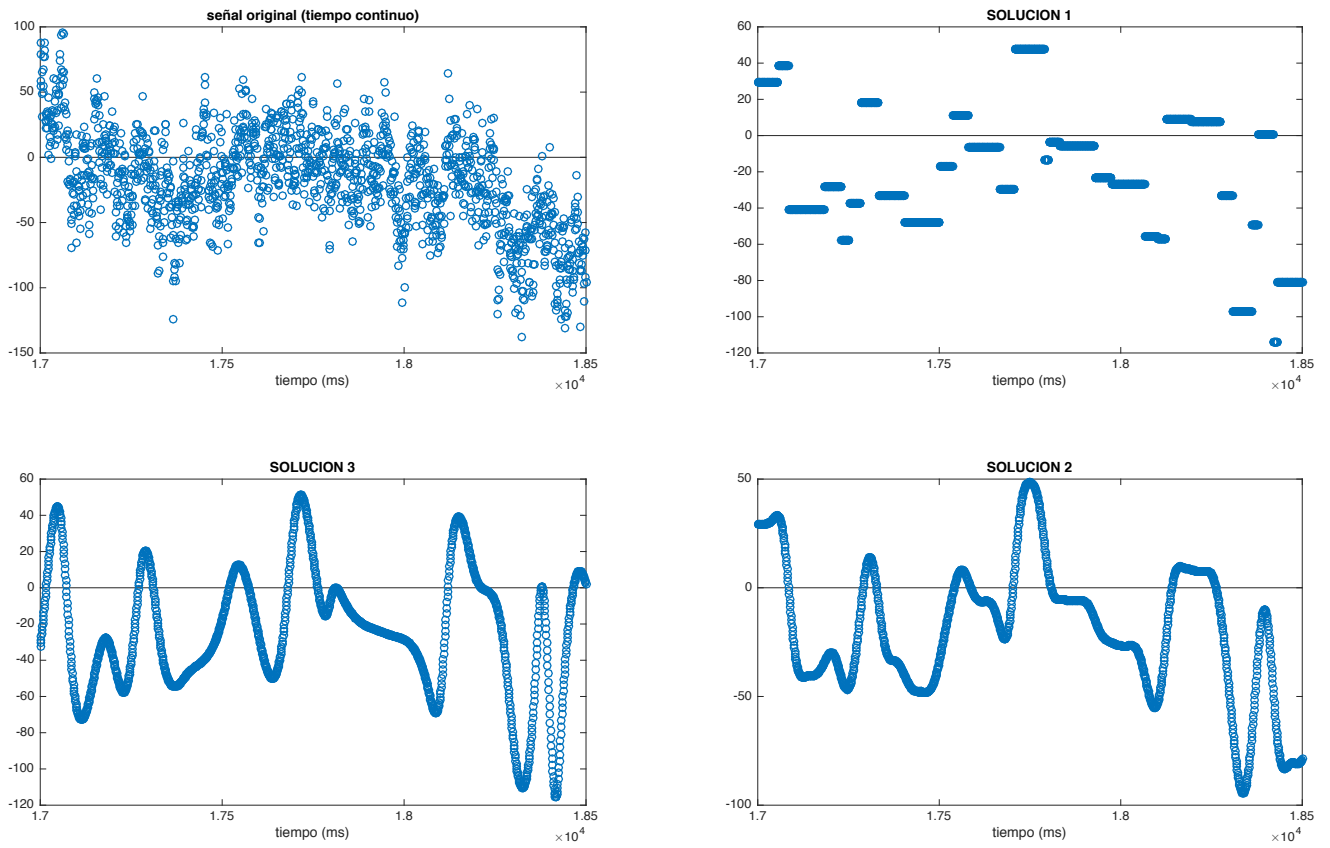


Fig J.1. Comparativa, en el dominio temporal, del mismo segmento según las distintas soluciones de reconstrucción. Señal original con  $\beta = 1.0$  (ley de potencias).

ANEXO J

SEÑAL DE REFERENCIA CON EXPONENTE  $\beta = 1.5$

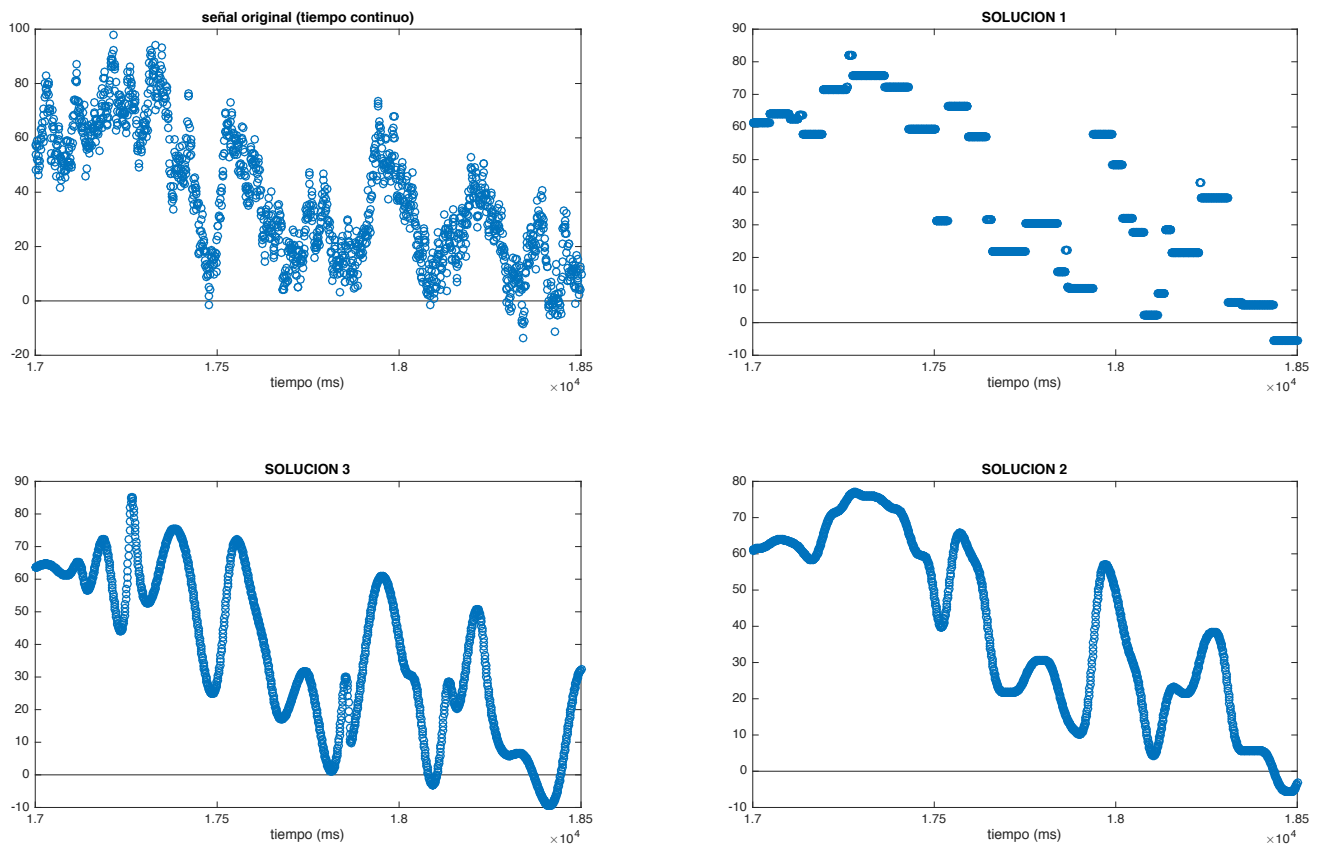


Fig J.1. Comparativa, en el dominio temporal, del mismo segmento según las distintas soluciones de reconstrucción. Señal original con  $\beta = 1.5$  (ley de potencias).



ANEXO J

SEÑAL DE REFERENCIA CON EXPONENTE  $\beta = 2.0$

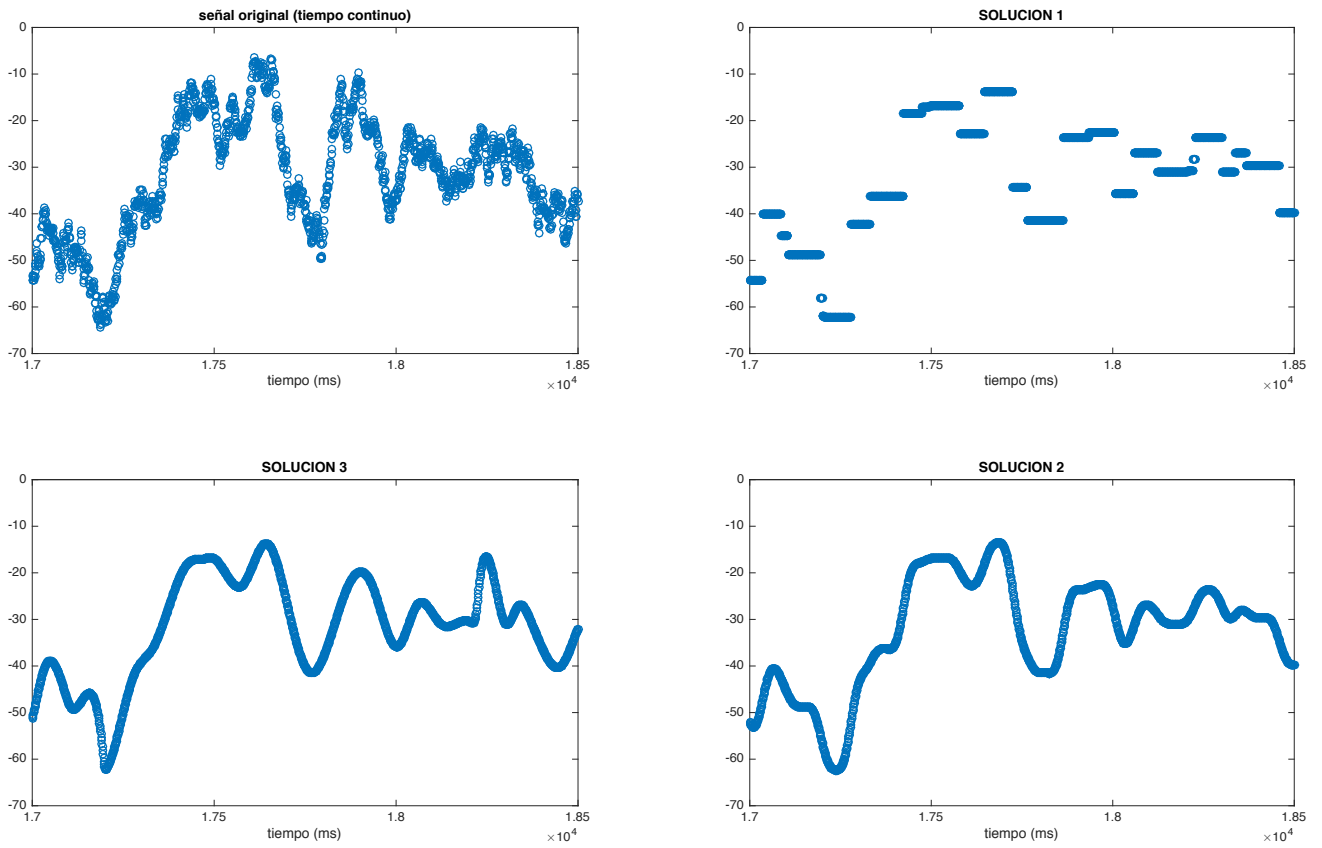


Fig J.1. Comparativa, en el dominio temporal, del mismo segmento según las distintas soluciones de reconstrucción. Señal original con  $\beta = 2.0$  (ley de potencias).

