UNIVERSIDAD DE GRANADA

Modelización y
predicción estadísticas
(FOREMOST)

BIOFDAELECTRORA

Avances metodológicos en modelos estocásticos con aplicaciones al procesamiento funcional de datos biológicos y al análisis de fiabilidad de sistemas complejos en electrónica

Resumen

Este proyecto de investigación se plantea dentro de la línea de modelización y predicción con datos funcionales dirigida por el Profesor M.J. Valderrama desde hace más de 25 años en el Dpto. de Estadística e I.O. de la UGR.

Los objetivos generales del proyecto son el desarrollo de nuevos métodos de Análisis de Datos Funcionales y Análisis de Fiabilidad en base a problemas con datos reales de alta dimensión en campos de alto impacto, como la musicología, la biomecánica, la genética, la electrónica y la medicina con el estudio de la evolución de la COVID-19.

Los objetivos específicos del proyecto son los siguientes:

O.1. Procesamiento funcional de señales bioeléctricas en neuromusicología. Desarrollo de nuevas herramientas estadísticas de FDA para estudiar como el movimiento afecta al procesamiento neuronal de la música. Para ello se diseñan experimentos que generarán datos funcionales asociados a señales eléctricas EEG y curvas de movimiento tipo mo-cap.

O.1.1. Separación ciega de curvas EEG contaminadas por el efecto del movimiento realizado intencionadamente al escuchar música. Con objeto de separar la actividad cerebral de la motora se desarrollan nuevos modelos de Análisis en Componentes Independientes Funcional (FICA) basados en una estimación penalizada tipo P-spline. Para la selección de los parámetros de suavizado y de dimensión se proponen criterios mixtos basados en validación cruzada y el exceso de curtosis.

Copyright© 2026 Universidad de Granada

O.1.2. Desarrollo modelos dinámicos de sincronización entre dos entes cerebrales que interactúan por medio de un estímulo externo. En un contexto de espacio de estados se formulan modelos de predicción lineal funcional, análisis de correlación canónica funcional y/o análisis diferencial parcial. Se desarrolla una estimación original de estos modelos basada en la estimación P-spline del FICA.

O.2. Detección de patrones de movimiento en estudios de biomecánica. Los datos disponibles en los estudios de biomecánica relativos al movimiento humano son distintos tipos de curvas como las de rotación de las articulaciones durante el ciclo de caminar. Se abordan desde el punto de vista del FDA distintos problemas en el campo de las ciencias del deporte y el de la rehabilitación clínica.

O.2.1. Estudios de homogeneidad funcional para detectar posibles diferencias en el movimiento realizado bajos distintas condiciones. Los métodos estarán basados en el FPCA de las curvas de movimiento de modo que el problema es reducido a contrastar la homogeneidad multivariante de las componentes principales seleccionadas. El problema de medidas repetidas se resuelve formulando modelos ANOVA multivariantes con efectos
aleatorios en el caso de normalidad y modelos no paramétricos en otro caso.

O.2.2. Diagnóstico del dolor lumbar crónico. Se extenderán los modelos de regresión logística funcional para estimar la probabilidad de recuperación total de un paciente operado de lesión grave en columna vertebral en función de las curvas de electromiografía (EMGS), las curvas de cinemática del balance articular (BA) y otras variables relacionadas. El primer paso será registrar conjuntamente las curvas de BA y EMGS de acuerdo a puntos de referencia significativos. Para facilitar la interpretación de los resultados, se propone una estimación basada en distintas formas de rotación de las componentes principales.

O.3. Representación funcional de datos genéticos de alta dimensión. Los datos de alta dimensión aparecen en estudios como los de expresión genética en los que el tamaño muestral es muy pequeño en comparación con la cantidad de variables. Para modelizar estadísticamente estos datos, se propone aplicar el encordado funcional (stringing) que consiste en convertir los vectores de alta dimensión en funciones suaves y aplicar después las técnicas de FDA apropiadas.

O.3.1. Mejorar el stringing introduciendo el aprendizaje en variedades diferenciables. Se propone usar el aprendizaje en variedades diferenciales (manifold learning), empleando algoritmos como Isomap o Locally Linear Embeddings, para mejorar de forma innovadora la reordenación de los datos en la recta real dada por el escalado unidimensional.

Copyright© 2026 Universidad de Granada

O.3.2. Generalización del stringing para asignar a los datos posiciones en plano y poder ajustar superficies suaves en lugar de curvas.

O.4. Análisis de fiabilidad de sistemas complejos en electrónica
En el campo de la electrónica es de gran interés la modelización de sistemas complejos de fiabilidad con objeto de analizar la evolución de sistemas con múltiples características que permitan la optimización del funcionamiento y/o costos asociados.

O.4.1. Modelización de sistemas complejos multi-estados de fiabilidad aplicables en electrónica. Se formulan modelos unitarios y con múltiples unidades, sujetas a distintos tipos de fallo e inspección mediante modelos markovianos. Se introducen periodos vacacionales en el canal de reparación atendiendo a distintas políticas. Para estos sistemas se obtienen las principales medidas de funcionamiento, así como costos-beneficios asociados, de forma algorítmica matricial. En función de estas medidas se realizan estudios de optimización.

O.4.2. Análisis y estudio de memorias resistivas de acceso aleatorio. Se estudiará el comportamiento de memorias tipo RRAM incorporando las distribuciones tipo fase. Considerando esta nueva metodología se avanzando en la modelización de la evolución estocástica de estos dispositivos mediante modelos PCP y modelización ARIMA multivariante de las componentes principales asociadas a las curvas set y reset.

O.4.3. Modelización de señales RTN (Random Telegraph Noise) en RRAMs. Se incorporan las distribuciones tipo fase en la creación de distintos procesos estocásticos.

Participantes

Equipo de investigación

- Ana María Aguilera del Pino (Matemática especialista en FDA). Universidad de Granada.
- Juan Eloy Ruiz Castro (Matemático especialista en RA). Universidad de Granada.
- María del Carmen Aguilera Morillo: (Estadística especialista en FDA). Universidad de Granada.
- Manuel Escabias Machuca (Estadístico especialista en FDA). Universidad de Granada.
- Mariano José Valderrama Bonnet (Matemático especialista en FDA). Universidad de Granada.

Equipo de trabajo

Copyright© 2026 Universidad de Granada

- Christian José Acal González (Máster en Estadística y Doctorando UGR). Universidad de Granada.
- Mohammed Dawabsha (Matemático especialista en RA). Arab American University (Palestina)
- Tonio di Battista (Estadístico especialista en FDA). Università Degli Studi G. D'annunzio Chieti-Pescara (Italia)
- Francesca Fortuna (Estadística especialista en FDA). Università Degli Studi Roma Tre (Italia)
- Marc Leman (Experto en musicología sistemática). Ghent University (Bélgica)
- Cristian Preda (Matemático especialista en FDA). Université Lille (Francia)
- Cristhian Leonardo Urbano Leon (Máster en Matemáticas y Doctorando UGR)
- Mariangela Zenga (Matemática especialista en RA). Università Degli Studi di Milano-Bicocca (Italia)

Tesis doctorales

Fruto de este proyecto se han desarrollado las siguientes Tesis Doctorales:

- Advances in stochastic and functional modeling of high dimension data. **Autor:** Christian José Acal González. **Directores:** Ana María Aguilera Del Pino y Juan Eloy Ruiz Castro. **Lugar de defensa:** Universidad de Granada. **Calificación:** Sobresaliente Cum Laude.
- Hilbertian statistical models in music neuroscience. **Autor:** Marc Vidal Badía. **Directores:** Ana María Aguilera Del Pino y Marc Leman. **Lugar de defensa:** Universidad de Granada y Universidad de Gante (Bélgica). **Calificación:** Sobresaliente Cum Laude.
- Aportaciones en comparación estocástica y modelos de regresión logística en muestras pareadas de elementos de Sub-espacios de L2 finitamente generados. **Autor:** Cristhian Leonardo Urbano Leon**. Director:** Manuel Escabias Machuca. **Lugar de defensa:** Universidad de Granada. **Calificación:** Sobresaliente Cum Laude.

Publicaciones

Derivadas del desarrollo de este proyecto se han producido las siguientes publicaciones:

Congresos

La producción científica de este proyecto ha sido divulgada en los siguientes congresos:

Copyright© 2026 Universidad de Granada