

### PROGRAMA DE ACTIVIDAD CURRICULAR

**NOMBRE DE LA CARRERA:**

Doctorado en Ingeniería - Mención en Procesamiento de Señales e Imágenes

**TIPO Y NOMBRE DE LA ACTIVIDAD CURRICULAR:** Análisis de señales mediante métodos multivariados

**AÑO ACADÉMICO:** 2021

**CARGA HORARIA TOTAL EN HORAS RELOJ:**

Carga horaria teórica	Carga horaria práctica	Carga horaria total
45 h	15 h	60 h

**Profesores:** Pablo Roberto Ristori

**Fundamentación:**

El ingeniero suele analizar las mediciones de fenómenos físicos, químicos y biológicos usando las transformadas aprendidas en su curso de grado (Transformadas de Fourier, Coseno, Laplace, Z y wavelet) para comprender sus características. En muchos casos, el empleo exclusivo de estos núcleos de funciones limita la visión del problema excluyendo del campo de las soluciones transformaciones más eficientes para la descomposición de las señales estudiadas. Es intención de este curso revisar las transformaciones anteriormente mencionadas buscando otros núcleos de transformación distintos a los presentadas en los cursos de grado de ingeniería.

En particular se enfatizará en el uso de sets de funciones empíricas basadas en métodos estadísticos realizados sobre la señal a estudiar. Esta clase de estudio, ampliamente usada en los campos de la Meteorología como en la Biología tiene un amplio potencial en disciplinas tales como la Ingeniería, en especial como complemento a los estudios básicos y avanzados del procesamiento digital de señales.

Las herramientas de análisis matemático convencional suelen ser insuficientes para estudiar señales resultantes de procesos complejos de varias variables que suelen incluir procesos estocásticos. En mayoría de los casos la relación señal a ruido es muy débil, y en general familia de funciones empleadas para descomponer las señales es desconocida. El empleo de funciones empíricas ha sido de gran utilidad para el campo de la climatología entre otras, pero su uso ha sido confinado, siendo muy poco conocidas en campos como la ingeniería. El siguiente curso tiene como finalidad acercar a sus estudiantes estas herramientas y familiarizarlos con sus potenciales usos en los campos de la ingeniería.

**Objetivos:**

El objetivo de esta materia es identificar, comprender y saber aplicar herramientas que permitan descomponer una serie de datos multivariados en una combinación lineal de familias



de funciones ortogonales o no ortogonales, de núcleo conocido o empírico a partir de la serie de datos estudiados. Se estudiarán técnicas de minimización del error cuadrático medio combinadas o no con métodos de regularización en el caso de núcleos de funciones conocidas (descomposición polinómica, transformadas de Fourier, descomposición en B-Splines). Se aprenderán y aplicarán técnicas de generación de núcleos de funciones empíricas ortogonales (análisis de descomposición en valores singulares, componentes principales, correlación canónica) para procesar series de señales. Mediante el estudio del problema específico a resolver, el alumno deberá ser capaz de evaluar qué técnica más adecuada para su resolución. Asimismo, se brindarán los recursos para que el alumno aplique los conocimientos aprendidos para crear la herramienta de análisis más adecuada para la resolución de un problema específico. Se alcanzará este objetivo en el curso mediante actividades que permitirán rever las transformaciones clásicas, la descomposición matricial y álgebra vectorial para el procesamiento de datos. Los resultados esperados son que el alumno alcance a aplicar estas técnicas en su campo de investigación de una forma original y concreta.

**Contenidos mínimos:**

Descomposición lineal de señales en mediante familias de funciones conocidas mediante el método de minimización del error cuadrático medio. Estudio de técnicas de regularización. Descomposición matricial y momentos estadísticos. Estudio de la descomposición en valores singulares para su uso en el análisis multivariado. Descomposición de series temporales mediante análisis de componentes principales, correlación canónica y análisis espectral singular.

**Contenidos analíticos:**

1. El método de mínimos cuadrados para familias de funciones ortogonales y no ortogonales. Resolución en el espacio continuo y discreto. Estudio de casos: transformadas de Fourier, Laplace, Z. Cálculo de coeficientes para funciones polinómicas y funciones B-Spline. Métodos de regularización señales.
2. El método de mínimos cuadrados ponderados y generalizados. Estimación de la regresión lineal a partir de la estimación de mínimos cuadrados y de sus momentos estadísticos. Estudio de la matriz de covarianza y de correlación en variables de N dimensiones. Distribución Normal y Normal multivariada. Cálculo del elipsoide de probabilidad multivariada.
3. Descomposición de Matrices cuadradas, (LU, Cholesky, descomposición en autovalores y autovectores) y rectangulares (QR, SVD). Descomposición en Autovalores y Autovectores de matrices cuadradas. Características de esta descomposición en matrices simétricas. Descomposición en valores singulares (SVD). Interpretación de la SVD, relación con la descomposición en autovalores y autovectores, Aplicaciones al análisis multivariado.
4. Empleo de funciones empíricas para la creación de familias de funciones ortogonales. Análisis de componentes principales (PCA). Deducción de la PCA mediante la



5. Otros métodos estadísticos de estudio: Análisis de Correlación Canónica a partir de SVD. Análisis de características particulares procedentes de la ortogonalización de los coeficientes de expansión. Estudio y aplicación del Análisis Espectral Singular en series temporales.
6. Estudio estadístico de señales cuantificadas discretas. Métodos de contador paralizable y no paralizable.

#### **Metodología de Enseñanza y Formación práctica:**

Se aplicarán los conceptos aprendidos en las clases teóricas de la materia en casos prácticos consistentes en series temporales brindadas tanto por el docente como por los alumnos. Cada técnica estudiada tendrá ejemplos de aplicación en los que se emplearán los algoritmos aprendidos en clase una vez escritos en programas tales como MatLab o Python. Los ejemplos de aplicación se realizarán en el transcurso de las clases y los programas y datos utilizados se pondrán a disposición del alumno para su ejercitación. La actividad curricular no implicará actividades fuera del ámbito universitario. El régimen de cursado previsto es presencial no siendo inconveniente la virtualización de temas o prácticas si es requerido. El cursado prevé la combinación de clases teóricas – expositivas y actividades prácticas.

Los trabajos prácticos previstos son:

1. Minimización del error cuadrático medio empleando descomposiciones de núcleo de funciones conocidas ortogonales (transformada de Fourier) y no ortogonales (funciones polinómicas y B-Spline). El objetivo es aplicar la teoría de minimización del error cuadrático medio para la recomposición de una señal dada empleando núcleos de funciones conocidas. Se dictará la práctica empleando datos brindados por el profesor o los alumnos y la generación de un programa que resuelva la inversión de señales para obtener los coeficientes necesarios para la recomposición de la señal usando el núcleo de funciones empleado. Se presentará este trabajo práctico al finalizar la fundamentación teórica del tema estudiado.
2. Regularización de señales: se adicionará al problema presentado en el trabajo práctico 1 una condición de regularización preestablecida y se modificarán los programas para que cumplan con la misma. Se estudiarán los cambios producidos por la aplicación de este método al cálculo de coeficientes.
3. Estadística de series de datos. Regresión multivariada. Al concluir el estudio de mínimos cuadrados ponderados y generalizados se realizará un estudio de una serie de datos de distribución gaussiana multivariada para la determinación de sus momentos estadísticos, análisis de su matriz de covarianza y correlación y cálculo de la elipsoide

de probabilidad multivariada. La práctica culminará con la vinculación de este dominio al cálculo de autovalores y autovectores de la matriz de covarianza empleada.

4. Descomposición en valores singulares (SVD). Se estudiará la SVD de una serie de datos multivariados brindada por el docente y/o los alumnos y se descompondrá asimismo

3



una imagen para el estudio del contenido de la factorización usando este método. Se resaltarán la maximización que tiene este proceso para la obtención de la información deseada, su potencial uso para la compresión y filtrado de datos como las propiedades de la matriz diagonal y matrices unitarias ortogonales. Finalmente se estudiará la SVD y la descomposición en autovalores y autovectores para matrices cuadradas.

5. Análisis en descomposición en valores singulares, componentes principales y correlación canónica. Se emplearán dos sets de datos diferenciados para la su descomposición usando los tres métodos de análisis mencionados. Se desarrollarán los algoritmos necesarios para el pretratamiento de los datos y para el procesamiento de los mismos basados en la SVD. Se estudiarán los resultados obtenidos para la obtención de conclusiones sobre cada uno de los métodos. Se calculará la representatividad de las matrices obtenidas.

#### **Requisitos de regularidad:**

La promoción supone asistencia regular a las clases – igual o superior al OCHENTA POR CIENTO (80%) de asistencia-, aprobación de trabajos y/o tareas solicitadas por los responsables académicos de los cursos y aprobación de las evaluaciones previstas al término de cada una de las unidades de formación. Todos los cursos tendrán el mismo sistema de evaluación. La calificación será numérica, dentro de la escala del CERO (0) al DIEZ (10). La aprobación será con nota igual o superior a SIETE (7).

#### **Modalidad de Evaluación:**

El curso se promociona por medio de un trabajos prácticos y final, el cual busca acercar al alumno a los problemas de investigación actualmente en estudio en el tema, y relacionado en la mayor manera posible con su tema de doctorado.

Los trabajos prácticos y de promoción se realizan individualmente empleando herramientas de cálculo y datos provistos por el docente o el alumno, realizándose la tutoría de forma presencial y/o por correo electrónico.

#### **Bibliografía:**

Wei, W. W. (2018). *Multivariate time series analysis and applications*. Philadelphia, PA, USA, John Wiley & Sons.

Adachi, K. (2016). *Matrix-based introduction to multivariate data analysis*. Singapore: Springer Singapore.

Härdle, W. K., & Simar, L. (2019). *Applied multivariate statistical analysis*. Springer International Publishing.

Johnson, D. E. (2000). *Métodos multivariados aplicados al análisis de datos*. México: International Thomson Ed.

Peña, D. (2002). *Análisis de datos multivariantes*. Madrid: McGraw-hill.

4



Vetterling, W. T., Press, W. H., Teukolsky, S. A., & Flannery, B. P. (2002). *Numerical recipes example book (C++): The art of scientific computing*. Cambridge University Press.

Ristori, P. (2001) *Análisis de Señales de Retrodifusión Lidar: Aplicación al Estudio de la Dinámica de Capa Límite Atmosférica, Cap. 5 y 6, Tesis de Maestría*, Buenos Aires, Argentina: Universidad Favaloro.

von Storch, H. (1999). *Analysis of Climate Variability. Application of Statistical Techniques*, Nueva York, USA: Springer-Verlag

Bretherton, C. S., Smith, C., & Wallace, J. M. (1992). An intercomparison of methods for finding coupled patterns in climate data. *Journal of climate*, 5(6), 541-560.

Bretherton, C. S. (2000). Data Analysis: Empirical orthogonal functions, singular vectors, and other space-time analysis methods. *Encyclopedia of Atmospheric Sciences*.

Wallace, J. M., Smith, C., & Bretherton, C. S. (1992). Singular value decomposition of wintertime sea surface temperature and 500-mb height anomalies. *Journal of climate*, 5(6), 561- 576.