



4º Workshop *“Dos Días de  
Polinomios Ortogonales”*

60º aniversario de Andrei  
Martínez Finkelstein

75º aniversario de Guillermo  
López Lagomasino

14 y 15 de diciembre de 2023

Almería

Libro de resúmenes del 4º *Workshop “Dos Días de Polinomios Ortogonales”* organizado por el grupo de investigación Teoría de aproximación y polinomios ortogonales de la Universidad de Almería.

Web del congreso: <https://w3.ual.es/GruposInv/Tapo/D2P0-2023/D2P02023.html>

©TAPO UAL

# Índice general

<b>Presentación del encuentro</b>	<b>4</b>
Comité organizador . . . . .	4
Secretaría técnica . . . . .	4
<b>Horario</b>	<b>5</b>
Jueves 14 de diciembre . . . . .	5
Viernes 15 de diciembre . . . . .	6
<b>Resúmenes de las conferencias</b>	<b>7</b>
<b>Resúmenes de pósteres</b>	<b>16</b>
<b>Información de utilidad</b>	<b>28</b>
¿Cómo llegar a la UAL? . . . . .	28
Red WIFI . . . . .	29
Lugar del encuentro . . . . .	29
<b>Lista de Participantes</b>	<b>31</b>
<b>Patrocinadores</b>	<b>33</b>

# Presentación del encuentro

El objetivo de este encuentro es mantener la continuidad de los encuentros previos donde se ha puesto en común, con diversos investigadores nacionales, los últimos avances en la investigación sobre polinomios ortogonales y funciones especiales.

Dedicamos este encuentro a nuestros compañeros **Andrei Martínez Finkelshtein** por su 60º aniversario y a **Guillermo López Lagomasino** por su 75º aniversario. Este workshop consiste en charlas invitadas y una sesión de pósteres que estará abierta a la participación de todos los asistentes. La lengua oficial de este encuentro será el español.

Se celebró por primera vez en diciembre de 2018 organizado por los compañeros de la Universidad de Granada, posteriormente han tenido lugar otros dos encuentros. Podéis ver más info en las webs de los encuentros previos:

[D2PO-2018](#) (en la Universidad de Granada).

[D2PO-2019](#) (en la Universidad de Almería).

[D2PO-2022](#) (en la Universidad de Granada).

**¡Os esperamos en Almería en diciembre!**

## Comité organizador

Juan Francisco Mañas Mañas  
Juan José Moreno Balcázar (Presidente)

## Secretaría técnica

Miriam Carrillo García  
Cristina Rodríguez Perales

## Jueves 14 de diciembre

09:00-09:30	<b>Recogida de documentación</b>	
09:30-10:00	<b>Presentación del encuentro</b>	
10:00-10:30	<b>Guillermo López</b> Universidad Carlos III de Madrid	Asintótica relativa de polinomios ortogonales múltiples
10:30-11:00	<b>Manuel Alfaro</b> Universidad de Zaragoza	Coefficientes de Verblunsky
11:00-11:30	<b>Amparo Gil</b> Universidad de Cantabria	Estrategias computacionales para la evaluación de funciones hipergeométricas confluentes
11:30-12:00	<b>Desayuno/Exposición Póster</b>	
12:00-12:30	<b>Francisco Marcellán</b> Universidad Carlos III de Madrid	Pares coherentes de medidas de segunda clase en la recta real y polinomios ortogonales de Sobolev
12:30-13:00	<b>María José Cantero</b> Universidad de Zaragoza	Transformación inversa de Darboux y productos de Sobolev
13:00-13:30	<b>Teresa Pérez</b> Universidad de Granada	Caracterizaciones de los pares de tipo Lax para polinomios ortogonales bivariados
13:30-14:00	<b>Juan Carlos García Ardila</b> Universidad Politécnica de Madrid	Proceso de simetrización y polinomios ortogonales truncados
14:00-16:00	<b>Comida</b>	
16:00-16:30	<b>Antonio Durán</b> Universidad de Sevilla	Pasándolo bien con las señoras de Bessel
16:30-17:00	<b>Óscar Ciaurri</b> Universidad de La Rioja	Funciones de Bessel y análisis armónico discreto
17:00-17:30	<b>Ramón Orive</b> Universidad de La Laguna	Algunas aplicaciones de la aproximación constructiva en ingeniería de control y automática
17:30-18:00	<b>Café/Exposición Póster</b>	
18:00-19:30	<b>Conferencias flash</b>	
19:30-20:00	<b>Trabajos en grupo</b>	

## Viernes 15 de diciembre

09:00-11:00	<b>Excursión* , Visita guiada a la Alcazaba de Almería</b>	
12:30-13:00	<b>María Ángeles García-Ferrero</b> Universidad de Barcelona	Catálogo de los polinomios ortogonales excepcionales
13:00-13:30	<b>Lidia Fernández</b> Universidad de Granada	Estructura de simetría de starbursts
13:30-14:00	<b>Luis Velázquez</b> Universidad Zaragoza	Medidas de Khrushchev en la recta real
14:00-16:00	<b>Comida</b>	
16:00-16:30	<b>Manuel Mañas</b> Universidad Complutense de Madrid	Algunos aspectos de los polinomios ortogonales múltiples
16:30-17:00	<b>Alfredo Deaño</b> Universidad Carlos III de Madrid	Algunos avances recientes en el análisis de polinomios ortogonales matriciales
17:00-17:30	<b>Andrei Martínez Finkelshtein</b> Universidad de Almería & Baylor University	Ceros de polinomios y probabilidad libre
17:30-18:00	<b>Problemas abiertos</b>	
18:00	<b>Clausura</b>	
21:00	<b>Cena del congreso</b>	

\*Una vez terminada la excursión habrá un autobús que nos llevará a la UAL.

# Resúmenes de las conferencias

## Coefficientes de Verblunsky

*Manuel Alfaro García*

Universidad de Zaragoza

Los coeficientes de Verblunsky desempeñan un papel fundamental en la teoría de polinomios ortogonales sobre la circunferencia unidad. En esta charla se intentará justificar esta afirmación y se comentará la “curiosa” historia de estos elementos.

## Transformación inversa de Darboux y productos de Sobolev

*María José Cantero*

Universidad de Zaragoza

La denominada transformación de Darboux consiste en la factorización de un operador auto-adjunto como producto de otros dos cuya permutación proporciona un nuevo operador auto-adjunto.

Al aplicarla a matrices de Jacobi resulta equivalente a una modificación de Christoffel de la correspondiente medida de ortogonalidad. Su inversa, la transformación de Geronimus, divide la medida de ortogonalidad por un polinomio de grado uno y añade un posible punto de masa.

En el caso de matrices CMV, dicha transformación requiere una modificación previa de tales matrices unitarias para transformarlas en auto-adjuntas. La transformación de Darboux así generada es equivalente también a una modificación de Christoffel de la medida. Sin embargo, la transformación inversa de Darboux conduce a soluciones que no son unitarias ni matrices banda que denominamos *soluciones espúrias*.

En esta comunicación expondremos la transformación inversa de Darboux para matrices CMV haciendo especial hincapié en estos inconvenientes. Mostraremos como dichas soluciones espúrias están asociadas a ciertos productos de Sobolev y utilizaremos determinada conexión con polinomios ortogonales matriciales para su obtención.

*Trabajo conjunto con Leandro Moral y Luis Velázquez. La primera parte de este trabajo ha sido obtenido en colaboración con el Profesor Francisco Marcellán.*

## **Funciones de Bessel y análisis armónico discreto**

***Óscar Ciaurri***

Universidad de La Rioja

El objetivo de esta charla es presentar el rol central que las funciones de Bessel modificadas de primera especie juegan en el análisis armónico asociado con un laplaciano discreto multidimensional. Probaremos que ciertas propiedades de estas funciones nos permiten analizar operadores clásicos del análisis armónico en nuestro contexto discreto.

## **Algunos avances recientes en el análisis de polinomios ortogonales matriciales**

***Alfredo Deaño***

Universidad Carlos III de Madrid

Presentamos algunos resultados recientes sobre propiedades de polinomios ortogonales matriciales, incluyendo identidades algebraicas y diferenciales que son de interés en el área de sistemas integrables, así como desarrollos asintóticos de polinomios matriciales de tipo Jacobi y Gegenbauer cuando el grado tiende a infinito.

*Esta charla está basada en trabajo conjunto con Lucía Morey (Universidad Nacional de Córdoba, Argentina), Arno B. J. Kuijlaars (KU Leuven, Bélgica) y Pablo Román (Universidad Nacional de Córdoba, Argentina).*

## **Pasándolo bien con las señoras de Bessel**

***Antonio Durán***

Universidad de Sevilla

A cuenta del 101 aniversario de la publicación de la obra maestra de G.N. Watson, se propone un método que permite calcular explícitamente la suma de una infinidad de series de Bessel en varias variables.

## Estructura de simetría de starbursts

**Lidia Fernández**

Universidad de Granada

Al observar una estrella en condiciones de poca luz, la mayoría de las personas perciben algunos patrones simétricos estructurados, a los que se ha denominado starbursts. Los patrones starburst pueden ser muy diversos, pero algunos típicos son aquellos en los que un área central brillante está rodeada de picos de intensidad claramente marcados (puntas de estrella) [2,3]. Estos patrones luminosos se forman debido a las imperfecciones en los elementos ópticos del ojo humano, que se describen matemáticamente mediante una expansión en polinomios de Zernike. Basándonos en la profunda relación de la aberración del frente de onda y los patrones de cáusticas que preservan la simetría con las propiedades de algunos puntos singulares de las funciones de curvatura de los polinomios clásicos de Zernike [1], en este trabajo investigamos una explicación teórica de los tipos de simetrías y el número de puntas de las estrellas.

*Trabajo conjunto con S. Barbero (CSIC - Instituto de Óptica Daza de Valdés (IO-CSIC)), A. M. Delgado (IMAG y Departamento de Matemática Aplicada, Universidad de Granada) y T. E. Pérez (IMAG y Departamento de Matemática Aplicada, Universidad de Granada).*

### Referencias

- [1] Barbero, S, Bradley, A, López-Gil, N, Rubinstein, J, Thibos, L. Catastrophe optics theory unveils the localised wave aberration features that generate ghost images. *Ophthalmic Physiol Opt.* 2022; 42: 1074– 1091.
- [2] J. Rubinstein, "On the geometry of visual starbursts," *J. Opt. Soc. Am. A* 36(4), B58–B64 (2019).
- [3] R Xu, L.N Thibos, N. Lopez-Gil, P. Kollbaum, and A. Bradley, "Psychophysical study of the optical origin of starbursts," *J. Opt. Soc. Am. A.* 36(4), B97–B102, (2019).

## Proceso de simetrización y polinomios ortogonales truncados

Juan Carlos García Ardila

Universidad Politécnica de Madrid

En esta charla presentamos la familia de *polinomios de Laguerre truncados*  $(P_n(x; z))_{n \geq 0}$ , los cuales son ortogonales respecto al funcional lineal

$$\langle \ell, p \rangle = \int_0^z p(x) x^\alpha e^{-x} dx, \quad z > 0, \quad \alpha > -1.$$

Dicho funcional satisface la ecuación distribucional

$$D(x(x-z)\ell) + (-x(z+2+\alpha-x) + z(1-\alpha))\ell = 0.$$

Usando el proceso de simetrización, construimos los polinomios generalizados de Hermite truncados, los cuales son ortogonales respecto al funcional

$$\langle \mathbf{h}, p \rangle = \int_{-\sqrt{z}}^{\sqrt{z}} p(x) |x|^{2\alpha+1} e^{-x^2} dx.$$

Estos polinomios serán semiclásicos de clase 2 si  $\alpha = -1/2$ , y de clase 3, si  $\alpha \neq -1/2$ . Tomando en cuenta las propiedades de los polinomios de Laguerre truncados y su estrecha relación con los polinomios de Hermite truncados, las ecuaciones de Laguerre-Freud, los operadores de crecimiento y decrecimiento, así como las correspondientes ecuaciones diferenciales holonómicas que ellos satisfacen son deducidas.

Como aplicación, estudiamos la interpretación electrostática de los ceros de  $(P_n(x; z))_{n \geq 0}$  y  $(S_n(x; z))_{n \geq 0}$  así como el comportamiento de estos ceros en términos de la variable  $z$ .

Finalmente, proveemos una recurrencia de orden dos para los momentos de  $\ell$  y  $\mathbf{h}$ , respectivamente, también como las ecuaciones diferenciales de Painlevé respecto a la variable  $z$  que los coeficientes  $\sigma_n(z)$  satisfacen, donde  $b_n(z) = \sigma_{n+1}(z) - \sigma_n(z)$ . Aquí  $(b_n(z))_{n \geq 0}$  y  $(a_n(z))_{n \geq 1}$  son los coeficientes de la relación de recurrencia

$$\begin{aligned} x P_n(x; z) &= P_{n+1}(x; z) + b_n(z) P_n(x; z) + a_n(z) P_{n-1}(x; z), \quad n \geq 0, \\ P_{-1}(x; z) &= 0, \quad P_0(x; z) = 1. \end{aligned}$$

Trabajo conjunto con Diego Dominici (Research Institute for Symbolic Computation, Johannes Kepler University Linz) y Francisco Marcellán (Universidad Carlos III de Madrid).

## Catálogo de los polinomios ortogonales excepcionales

*María Ángeles García Ferrero*

Universidad de Barcelona

Pensemos en un sistema de polinomios ortogonales que son autofunciones de problemas de Sturm-Liouville y que forman una base completa en un espacio  $L^2$  con peso. Si en dicho sistema encontramos polinomios de todos los grados, entonces tendremos básicamente polinomios de Hermite, Laguerre o Jacobi. Si por el contrario a la secuencia de grados le falta un número finito de naturales, tendremos un sistema de polinomios ortogonales excepcionales.

En esta charla nos centraremos en la clasificación de dichos polinomios excepcionales, basándonos en su construcción a partir de polinomios clásicos y transformaciones de Darboux racionales.

*Trabajo en colaboración con D. Gómez-Ullate y R. Milson.*

## Estrategias Computacionales para la Evaluación de Funciones Hipergeométricas Confluentes

*Amparo Gil*

Universidad de Cantabria

Las funciones hipergeométricas confluentes (CHF) aparecen en infinidad de aplicaciones en Física e Ingeniería. A pesar de su importancia, hay disponibles un número muy limitado de algoritmos que permitan (con precisión verificada) el cálculo de cualquiera de las soluciones estándar de la ecuación de Kummer en los casos de parámetros reales o complejos. De hecho, algunas de las cuestiones que más frecuentemente se nos plantean por parte de investigadores de otras áreas científicas o tecnológicas, son las relativas al cálculo de CHF. Recientemente, hemos abordado el cálculo de las funciones de Kummer  $U(a, b, x)$  y  $M(a, b, x)$  para valores positivos de los parámetros ([1],[2]). En esta charla, haré un resumen de los resultados obtenidos y comentaré estrategias en las que estamos trabajando que permiten extender el cálculo de estas funciones para otros rangos de parámetros (reales y complejos).

### Referencias

- [1] Gil, A., Ruiz-Antolín, D., Segura, J., Temme, N.M. Computation of the confluent hypergeometric function  $U(a, b, x)$  and its derivative for positive arguments. Numer. Algor. (2023). <https://doi.org/10.1007/s11075-023-01515-y>.
- [2] Gil, A., Ruiz-Antolín, D., Segura, J., Temme, N.M. Computation of the confluent hypergeometric function  $M(a, b, x)$ . Enviado.

## Asintótica relativa de polinomios ortogonales múltiples

**Guillermo López Lagomasino**

Universidad Carlos III de Madrid

Considerense dos sucesiones de polinomios ortogonales  $(q_n)_{n \geq 0}$ ,  $(p_n)_{n \geq 0}$  con respecto a  $d\mu$  and  $\rho d\mu$ , respectivamente, donde  $\mu$  es una medida finita y positiva de Borel soportada en un intervalo acotado  $\Delta$  de la recta real y  $\rho$  es una función positiva en  $\Delta$ , integrable con respecto a  $\mu$ . A finales de los ochenta, A. Maté, P. Nevai, y V. Totik por una parte y E.A. Rakhmanov por otra, publicaron una serie de artículos relacionados con la existencia de  $\lim_{n \rightarrow \infty} p_n/q_n$  bajo restricciones adecuadas sobre  $\mu$  y  $\rho$  (sin asumir que  $\mu$  estuviese en la clase de Szegő). Desafortunadamente, condiciones necesarias y suficientes para la existencia de tal límite no fueron dados y es un problema que permanece abierto hasta nuestros días. Desde entonces, la teoría de polinomios ortogonales múltiples, en la cual las condiciones de ortogonalidad se distribuyen entre las medidas de un sistema, ha logrado notables avances. Esto es particularmente cierto en el caso de los llamados sistemas de Nikishin que bajo condiciones adecuadas tienen familias de polinomios ortogonales múltiples que exhiben comportamiento asintótico logarítmico, del cociente, o fuerte, según el caso. Nosotros damos condiciones suficientes para la existencia de la asintótica relativa de dos sucesiones de polinomios ortogonales múltiples con respecto a sendos sistemas de Nikishin que son comparables en generalidad a las dadas en el caso escalar por los autores anteriormente mencionados. Por ejemplo, nuestro resultado contienen el caso en que el segundo sistema de Nikishin se obtiene perturbando las medidas generadoras del primero con funciones continuas y positivas.

*Trabajo conjunto con A. López-García.*

## Algunos aspectos de los polinomios ortogonales múltiples

**Manuel Mañas**

Universidad Complutense de Madrid

En estas charla revisamos nuestras últimas investigaciones sobre ortogonalidad múltiple. Hablaremos del teorema de Favard espectral para matrices acotadas banda que admitan una factorización bidiagonal positiva y los polinomios ortogonales múltiples mixtos. También, comentaremos el reciente hallazgo de expresiones hípergeométricas para los polinomios ortogonales múltiples de Hahn y todos sus descendientes en el esquema de Askey múltiple. Por último, se aplicarán estas ideas a los cadenas de Markov finitas, indicado el procedimiento y las propiedades estadísticas de los mismos.

# Pares coherentes de medidas de segunda clase en la recta real y polinomios ortogonales de Sobolev

Francisco Marcellán

Universidad Carlos III de Madrid

En esta charla analizamos sucesiones de polinomios  $\{S_n(x; \nu_0, \nu_1)\}_{n \geq 0}$  ortogonales con respecto al producto escalar de Sobolev

$$\langle f, g \rangle_S = \int f(x)g(x)d\nu_0 + s \int f'(x)g'(x)d\nu_1(x),$$

donde  $s > 0$  y  $(\nu_0, \nu_1)$  es un par coherente de medidas positivas de segunda clase en la recta real (CPPM2K en la recta real, de su acrónimo en inglés). Esto significa que las correspondientes sucesiones de polinomios ortogonales mónicos  $\{P_n(x; \nu_k)\}_{n \geq 0}$ ,  $k = 0, 1$ , están relacionadas de la siguiente forma

$$\frac{P'_{n+1}(x; \nu_0)}{n+1} = P_n(x; \nu_1) - \tau_n P_{n-1}(x; \nu_1), \quad n \geq 1.$$

La descripción de los CPPM2K se ha hecho en [1].

Se analizan las propiedades de tal sucesión de polinomios y las fórmulas de conexión que satisfacen con los polinomios ortogonales con respecto a la medida  $\nu_0$ . Se aborda un ejemplo particular de un CPPM2K en la recta real donde una de las medidas es la medida de Jacobi. En particular, se trata la relación que los coeficientes de conexión tienen con los polynomials de Wilson (ver [2]). Se plantean algunos problemas abiertos.

Trabajo conjunto con M. Hancco-Suni, G. A. Marcato, A Sri Ranga y Yen Chi Lun, Department of Mathematics, IBILCE, UNESP, Brazil.

## Referencias

- [1] M. Hancco-Suni, G. A. Marcato, F. Marcellán, A. Sri Ranga, *Coherent pairs of moment functionals of the second kind and associated orthogonal polynomials and Sobolev orthogonal polynomials*, J. Math. Anal. Appl. **525** (2023), no. 1, 127118, 32 pp.
- [2] G. A. Marcato, F. Marcellán, A. Sri Ranga, Yen Chi Lun, *Coherent pairs of measures of the second kind on the real line and Sobolev orthogonal polynomials. An application to a Jacobi case*, Studies Appl. Math. **151** (2023) no. 2, 475-508.

## **Ceros de polinomios y probabilidad libre**

***Andrei Martínez Finkelshtein***

Universidad de Almería & Baylor University

En esta charla voy a discutir brevemente algunas nociones de probabilidad libre (“free probability”), tales como convolución libre de medidas y polinomios, y sus recientes (y algo inesperadas) aplicaciones a dos problemas en análisis:

- (1) el “flujo” de ceros de sucesión de polinomios bajo diferenciación consecutiva, y
- (2) estudio de ceros reales de polinomios hipergeométricos, su entrelazamiento, monotonía y asintótica.

## **Algunas aplicaciones de la Aproximación Constructiva en Ingeniería de Control y Automática**

***Ramón Orive***

Universidad de La Laguna

En esta charla abordaremos las aplicaciones de dos importantes herramientas de la aproximación constructiva de funciones a la Ingeniería de Control y Automática. Concretamente, examinaremos el empleo de fórmulas de Cubature (Integración Numérica) en el diseño de Filtros Digitales (Bayesianos) en Ingeniería de Control, mejorando en particular los resultados proporcionados por el conocido Cubature Kalman Filter. Por otra parte, consideraremos el uso de Interpolantes Racionales con polos libres y un único nodo (Aproximantes de Padé) o varios nodos (Aproximantes de Padé Multipuntuales) para aproximar Funciones de Transferencia de orden Fraccionario.

*Trabajo conjunto con L. Acosta, D. Acosta y J. C. Santos (ULL).*

## Caracterizaciones de los pares de tipo Lax para polinomios ortogonales bivariados

*Teresa E. Pérez*

Universidad de Granada

Es bien conocido que los sistemas de polinomios ortogonales mónicos bivariados, escritos como sucesiones de vectores de polinomios de igual grado y tamaño creciente, satisfacen dos relaciones a tres términos con coeficientes matriciales. En este trabajo consideramos sistemas de polinomios ortogonales mónicos asociados a funciones peso dependientes de un parámetro temporal, y estudiamos el par de tipo Lax para los coeficientes de las relaciones a tres términos. Deducimos caracterizaciones de estos pares de tipo Lax relacionando el sistema de tipo Toda, la forma explícita de peso, la función de Stieltjes y los momentos, entre otras.

*Este trabajo es conjunto con A. Branquinho, A. Foulquié-Moreno and M. A. Piñar.*

## Medidas de Khrushchev en la recta real

*Luis Velázquez*

Universidad de Zaragoza

Cualquier sucesión  $p_n$  de polinomios ortonormales genera una sucesión  $|p_n|^2 dm$  de medidas -medidas de Khrushchev- a partir de la correspondiente medida de ortogonalidad  $m$ . Diversos resultados en la literatura muestran cómo la asintótica de las medidas de Khrushchev codifica de forma especialmente efectiva propiedades cualitativas de los propios polinomios ortogonales y parámetros asociados. El objetivo de la charla es discutir posibles comportamientos anómalos de las medidas de Khrushchev en situaciones menos estudiadas. Centraremos la atención en el problema de la convergencia de las medidas de Khrushchev en la recta en dos casos emblemáticos: medidas de soporte no acotado y medidas matriciales. La exposición no pretende cerrar los problemas planteados -bajo estudio a día de hoy-, sino mostrar la inesperada riqueza y complejidad que encierran este tipo de cuestiones.

*Trabajo conjunto con María José Cantero y Leandro Moral (U Zaragoza).*

# Resúmenes de pósteres

## Condiciones sobre autovalores y autopolinomios de operadores diferenciales ordinarios de orden superior

*Luis Miguel Anguas*

Saint Louis University, (Madrid Campus, España)

Dado un operador diferencial de orden finito

$$L \equiv \sum_{i=0}^N a_i(x) \partial_x^i,$$

consideramos la secuencia de autovalores  $\{\lambda_n\}$  y la secuencia de polinomios  $\{P_n\}$  que son autofunciones de  $L$ , es decir,

$$\sum_{i=1}^N a_i(x) \partial_x^i P_n(x) = \lambda_n P_n(x), \quad \forall n \in \mathbb{N}.$$

El primer objetivo de este trabajo es mostrar que cada autovalor  $\lambda_i$  con  $i > N$  se puede expresar como una combinación lineal de  $\{\lambda_1, \dots, \lambda_N\}$ .

Por otra parte, definimos una secuencia  $\{\delta_n^{(k)}\}$  como

$$\delta_n^{(k)} = \sum_{i=k}^n \binom{n}{i} i! a_{i,i-k}, \quad k = 0, 1, \dots, n,$$

donde  $a_{i,i-k}, i = k, \dots, n$  son los coeficientes de  $a_i(x)$ , es decir,

$$a_i(x) = a_{i,i}x^i + \dots + a_{i,1}x + a_{i,0}.$$

Esta secuencia juega un papel fundamental a la hora de obtener la expresión explícita de los autovalores y las autofunciones. Entonces, nuestro segundo objetivo es mostrar que para un valor fijo de  $k$ , cada  $\delta_n^{(k)}, n > N$ , depende linealmente de  $\delta_k^{(k)}, \dots, \delta_N^{(k)}$ . Por último, estudiaremos algunos casos particulares.

*Trabajo conjunto con Dolores Barrios (Universidad Politécnica de Madrid).*

**Agradecimientos:** Trabajo parcialmente financiado por la Agencia Estatal de Investigación, Ministerio de Ciencia e Innovación, mediante los proyectos PID2019-106362GB-I00 y PID2021-122154NB-I0.

# Un Modelo de Juego para la Cooperativa de Comercialización en la Pesca

Ana Belén Castaño-Fernández

Universidad de Almería

La mayoría de aplicaciones de la Teoría de Juegos en la pesca están centradas en el estudio del conflicto de intereses en la explotación del mismo recurso [1], por pescar en las mismas aguas. Trabajos previos, como en [2], muestran cómo una *solución no cooperativa* (un Equilibrio de Nash particular) es obtenida mediante el conflicto entre la Cooperativa de comercialización y sus miembros. El conflicto es el siguiente: Para una compañía pesquera puede resultar ventajoso formar parte de una Cooperativa para conseguir mejorar sus condiciones de venta en la comercialización del pescado. Sin embargo, al final de un ciclo de pesca, cada miembro de la Cooperativa puede decidir vender parte de su producción en el mercado libre (si el precio del mercado es mayor que el precio contratado con la Cooperativa). Este precio del mercado libre es determinado por el Oligopolio tipo Cournot, [3].

El modelo de evolución de la población de peces, incluyendo el proceso de pesca, está basado en una dinámica clásica logística, con esfuerzo de pesca constante (mismo número de embarcaciones), [4]. En dicho modelo, las compañías (jugadores  $i = 1, \dots, n$ ) pescan por un periodo  $T$ , vendiendo todo su pescado a la Cooperativa por el precio contratado. Sin embargo, como hemos mencionado con anterioridad, si el precio actual del mercado libre es mayor que el contratado, entonces dichas compañías pueden decidir vender sólo una porción de sus capturas a la Cooperativa,  $x_i \in [0, 1]$  (estrategia del jugador  $i$ ), y el resto en el mercado libre. En esta situación, la Cooperativa puede penalizar a las pesqueras por "infidelidad", siendo la multa proporcional al beneficio extra conseguido. Por lo tanto, la estrategia de la Cooperativa  $y \in [0, 1]$  mide la intensidad para sancionar.

Notando  $x = (x_1, \dots, x_n)$ , definimos  $z := (x, y) \in [0, 1]^n \times [0, 1]$  como la multi-estrategia del juego  $G$ , donde la función de ganancia de cada uno de los miembros de la cooperativa es  $f_i(x, y)$ , ganancia=ingresos-gastos-multa, y para la Cooperativa,  $f_{n+1}(x, y)$ , la suma de las multas recogidas.

Una *solución cooperativa* de un juego  $G$  está basada en la Optimalidad de Pareto: Si  $P$  es el conjunto (normalmente infinito) de valores óptimos Pareto de  $f(z) = (f_1(z), \dots, f_{n+1}(z))$  y  $\Omega = (\max f_1(z), \dots, \max f_{n+1}(z))$  es el *valor ideal* del juego, entonces la *solución casi-ideal* de  $G$  es una multi-estrategia  $z^*$  tal que  $f(z^*)$  es el punto en  $P$  más cercano a  $\Omega$ .

En conclusión, mientras los ciclos de pesca se repitan, podemos comparar las ganancias totales de acuerdo a ambas soluciones, obteniendo que la ganancia total es siempre mayor que en el caso cooperativo, esto es, cuando es empleada en el juego la *solución casi-ideal*.

*Trabajo conjunto con Inmaculada López (Universidad de Almería), Manuel Gámez (Universidad de Almería) y Zoltán Varga (Hungarian University of Agriculture and Life Sciences, Hungría).*

**Agradecimientos:** La autora A.C-F. cuenta con el apoyo del Ministerio de Ciencia e Innovación de España y (FEDER) (Proyecto PID2021-124472NB-I00), por el Grupo de Investigación FQM-0229 y, tanto A.C-F como I.L. por CDTIME de la Universidad de Almería.

## Referencias

- [1] J.F. Caddy, *Fisheries management in the twenty-first century: will new paradigms apply?*, Rev. Fish Biol. Fisher. 1999, 9 (1), 1-43.
- [2] M. Gámez, I. López, C. Rodríguez, Z. Varga, J. Garay, *Game-theoretical model for marketing cooperative in fisheries*, Appl. Math. Comput. 2018, 329, 325-338.
- [3] K. Okuguchi, F. Szidarovszky, *An oligopoly model of commercial fishing*, Seoul J. Econ. 1998, 11 (3), 321.
- [4] C.W. Clark, *Mathematical Bioeconomics: The Optimal Management of Renewable Resources*, Wiley-Interscience, New York, 1990.

# Interpolación multipaso con funciones de base radial de soporte compacto

Sergio Díaz Elbal

Universidad de Almería

Presentamos un método de **interpolación multipaso con CS-RBF** junto con un algoritmo de *thinning* basándonos en el trabajo de Floater e Iske [2]. Nuestro objetivo era mostrar su utilidad como **algoritmo de reducción de datos** en la interpolación con CS-RBF de una función test en centros generados aleatoriamente, así como continuar el trabajo realizado en [1]. El algoritmo de *thinning* hace uso de la **Triangulación de Delaunay** para, por un lado, mantener la uniformidad de los subconjuntos al eliminar puntos, y por otro, encontrar una Buena aproximación para un parámetro de forma para la interpolación en cada paso, generando una **secuencia anidada de subconjuntos** del conjunto original de centros  $X$ . El esquema de interpolación se divide en  $M$  pasos, en los primeros pasos se captan los detalles más grandes y en los últimos, aquellos detalles menores.

Para probar la efectividad de la técnica de reducción de datos, interpolamos una función test  $f$ , con  $M = 4$  pasos, y llevamos a cabo nuestro algoritmo de interpolación multipaso en 4 subconjuntos de  $X$ :  $X_1, X_2, X_3, X_4 = X$ , con  $N_1 = 30, N_2 = 60, N_3 = 500, N_4 = 2000$  centros, respectivamente. Así, obtenemos subsiguientes interpolantes que vemos representados en la Figura 1.

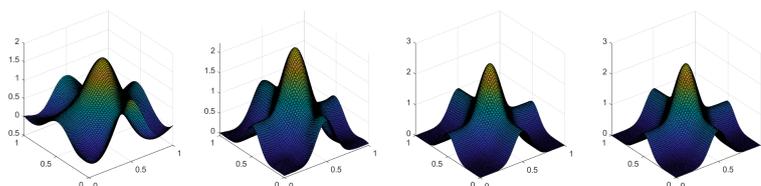


Figura 1: Interpolantes de  $f$ :  $s_1, s_1 + s_2, s_1 + s_2 + s_3$  y  $s_1 + s_2 + s_3 + s_4$ .

Hemos representado a los interpolantes en una malla rectangular de  $100 \times 100$  en el compacto  $\Omega = [0, 1] \times [0, 1]$ , y hemos medido la precisión comparando con los valores reales de la función test. Hemos obtenido además el **parámetro de uniformidad**  $\rho$  en cada paso del algoritmo de *thinning*. Hemos probado la efectividad de este método como una estrategia para la reducción de datos. Hemos encontrado que, para el caso de esta función, es posible no perder precisión incluso al reducir drásticamente los datos. El RSME relativo en cada paso ha sido un **0,0295 %** de error con 2000 centros, y un **0,0644 %** de error con 500 centros. Hemos medido nuestro parámetro de uniformidad  $\rho$ , y es monótonamente decreciente después de  $N = 487$  centros, lo que corroboramos con nuestros resultados numéricos.

Trabajo conjunto con Darío Ramos López (Universidad de Almería).

**Agradecimientos:** SDE y DRL agradecen el apoyo del Departamento de Matemáticas de la Universidad de Almería.

## Referencias

- [1] S. Díaz. *Aproximación multivariada mediante funciones de base radial de soporte compacto*. Trabajo Fin de Grado, Universidad de Almería, 2023.
- [2] M. S. Floater, A. Iske, *Multistep scattered data interpolation using compactly supported radial basis functions*, J. Comput. Appl. Math. **73**, 1-2, 1996, 65-78.

## Productos internos matriciales de Sobolev, autovalores generalizados y ceros de polinomios

**Carmen Escribano**

Universidad Politécnica de Madrid

En un marco general de productos internos inducidos por matrices infinitas hermitianas definidas positivas en el espacio de polinomios, se han obtenido algunos resultados aplicados al problema de acotación del conjunto de ceros de los polinomios ortogonales de Sobolev. Estos resultados derivan del análisis del comportamiento asintótico de los autovalores generalizados de matrices hermitianas ([1] y [2]). En este contexto, presentamos nuevos aspectos matriciales y se exploran varios ejemplos. Este es un trabajo conjunto con Raquel Gonzalo.

*Trabajo conjunto con Raquel Gonzalo (Universidad Politécnica de Madrid).*

**Agradecimientos:** Work partially supported by grant MadQuantum-CM supported by MCIN with funding from European Union NextGenerationEU (PRTR-C17.I1) and funding from the Comunidad de Madrid.

### Referencias

- [1] C. Escribano, R. Gonzalo, E. Torrano. Smallest and largest generalized eigenvalues of large moment matrices and some applications. *J. Math. Anal. Appl.* 521(2): (2023).
- [2] C. Escribano, R. Gonzalo. Boundedness of zeros of Sobolev orthogonal polynomials via generalized eigenvalues. arXiv:2305.15970 [math.FA] (2023).

## Polinomios de tipo I Jacobi–Piñeiro y Laguerre para $p \geq 2$ medidas

**Juan Enrique Fernández Díaz**

Universidade de Aveiro (Portugal)

Para los correspondientes sistemas de un número general  $p \geq 2$  de medidas; aquí se dan expresiones explícitas para los polinomios ortogonales múltiples de tipo I de Jacobi–Piñeiro y Laguerre de primera clase, presentados en términos de funciones hipergeométricas múltiples.

## **Aproximaciones analíticas de una integral característica de problemas en la Elastodinámica**

***Chelo Ferreira***

Universidad de Zaragoza

En este trabajo se estudia la integral  $\int_0^\infty \frac{J_\mu(rt)J_\nu(Rt)}{t^\alpha(t-s)} dt$ . Esta integral, surge con la aplicación de la transformada de Hankel para modificar los desplazamientos de un perfil de suelo en capas desde el dominio de la frecuencia, al dominio espacial en problemas tridimensionales en elastodinámica; en particular, la contribución de un modo genérico de valor propio  $s$  al desplazamiento dinámico en coordenadas cilíndricas. Para esta integral no se conocen representaciones analíticas que permitan su evaluación exacta. Aquí, presentamos desarrollos asintóticos y convergentes para valores pequeños de la variable  $s$ , y para valores pequeños de los parámetros  $r$  y  $R$ . La obtención de estos desarrollos se ha realizado usando la integral de convolución de Mellin. Finalmente, con algunos experimentos numéricos mostramos la precisión de las aproximaciones obtenidas.

*Trabajo conjunto con José L. López (Universidad Pública de Navarra y INAMAT) y Ester Pérez Sinusía (Universidad de Zaragoza).*

## **Comportamiento asintótico de polinomios multiortogonales asociados a un modelo de cola**

***Ulises Fidalgo Prieto***

Case Western Reserve University, Cleveland, (Ohio, USA)

Se describe el comportamiento asintótico (en sentido fuerte) de los polinomios multiortogonales, tanto de tipo I como de tipo II, que aparecen en una expresión integral de la función de probabilidad de transición correspondiente a un modelo de cola. En dicho modelo los clientes son atendidos en grupos con un número fijo de miembros y de manera simultánea.

# El oscilador no-lineal de Darboux III: solución exacta y entropía de Shannon

Ivan Gutierrez-Sagredo

Universidad de Burgos

En este póster se presentan algunos resultados recientes [1] relativos a la entropía de Shannon [2] para el oscilador cuántico de Darboux III. El oscilador de Darboux III [3] es un modelo no-lineal exactamente soluble en  $N$  dimensiones, definido sobre un espacio radialmente simétrico con curvatura no constante negativa. Este oscilador se puede interpretar como una deformación superintegrable del oscilador armónico  $N$ -dimensional en términos de un parámetro  $\lambda$  no-negativo que está directamente relacionado con la curvatura del espacio. Además, las autofunciones exactas se pueden expresar en términos de los polinomios de Hermite y Laguerre de forma similar al oscilador armónico.

En particular, se puede calcular analíticamente la entropía de Shannon en el espacio de posiciones para el sistema  $N$ -dimensional, recuperando los resultados conocidos para los estados cuánticos del oscilador armónico [4] en el límite  $\lambda \rightarrow 0$  (curvatura nula). Sin embargo, la transformada de Fourier de sus autofunciones no se puede calcular de forma sencilla, lo que impide realizar un estudio analítico de la entropía en el espacio de momentos.

Por esta razón, en este caso realizamos un estudio numérico, encontrando que al aumentar el valor absoluto de la curvatura (mediante un  $\lambda$  mayor) la entropía de Shannon en el espacio de posiciones crece, mientras que en el espacio de momentos decrece. Este resultado es consistente con las propiedades de dispersión de las funciones de onda de este oscilador no lineal.

## Referencias

- [1] A. Ballesteros, I. Gutierrez-Sagredo. *Shannon information entropy for a quantum nonlinear oscillator on a space of non-constant curvature* Physica D: Nonlinear Phenomena, vol. 445 (2023) 133618.
- [2] C. E. Shannon. *A mathematical theory of communication*. Bell System Technical Journal, **27** (1948) 379–423.
- [3] A. Ballesteros, A. Enciso, F. J. Herranz, and O. Ragnisco. *A maximally superintegrable system on an  $n$ -dimensional space of nonconstant curvature*. Physica D: Nonlinear Phenomena, **237** (2008) 505–509.
- [4] R. J. Yáñez, W. V. Assche, and J. S. Dehesa. *Position and momentum information entropies of the  $d$ -dimensional harmonic oscillator and hydrogen atom*. Physical Review A, 50:3065–3079, 1994.

# Comportamiento de ceros de polinomios ortogonales $q$ -Hermite de tipo Sobolev de orden superior

Edmundo J. Huertas

Universidad de Alcalá

En este trabajo, analizamos la familia de polinomios ortogonales mónicos  $q$ -Hermite mónicos de tipo Sobolev de orden superior, denotados como  $\{\mathbb{H}_n(x; q)\}_{n \geq 0}$ , los cuales son ortogonales respecto al siguiente producto interno no estándar que involucra  $q$ -diferencias:

$$\langle p, q \rangle_\lambda = \int_{-1}^1 f(x) g(x) (qx, -qx; q)_\infty d_q(x) + \lambda (\mathcal{D}_q^j f)(\alpha; q) (\mathcal{D}_q^j g)(\alpha; q),$$

donde  $q\alpha \notin [-1, 1]$ ,  $\lambda > 0$ ,  $\mathcal{D}_q^j$  denota la  $j$ -ésima  $q$ -derivada, y  $(qx, -qx; q)_\infty d_q(x)$  denota el peso de ortogonalidad con los saltos variando en progresión geométrica. Entre otros resultados analíticos, para valores reales de  $q\alpha \notin [-1, 1]$ , presentamos límites detallados y un análisis completo del comportamiento asintótico de sus ceros a medida que el parámetro  $\lambda$  varía de cero a infinito.

*Trabajo conjunto con Alberto Lastra (Universidad de Alcalá), Anier Soria-Lorente (Universidad de Granma, Cuba) y Víctor Soto-Larrosa (Universidad de Alcalá).*

**Agradecimientos:** Esta investigación se ha realizado durante la visita de EJM al ICMAT (Instituto de Ciencias Matemáticas), de enero-2023 to a enero-2024 bajo el programa *Ayudas de Recualificación del Sistema Universitario Español para 2021-2023 (Convocatoria 2022)* - R.D. 289/2021 de 20 de abril (BOE de 4 de junio de 2021). Este autor agradece al ICMAT, a la Universidad de Alcalá, y al Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (NextGenerationEU) del Gobierno de España su apoyo.

## Propiedades asintóticas de sucesiones greedy en el círculo unidad

**Abey López García**

University of Central Florida

Las sucesiones greedy son una generalización de las sucesiones de Leja que satisfacen la siguiente propiedad extremal. El potencial de Riesz generado por los  $N$  primeros puntos de la sucesión se minimiza en el punto  $N + 1$  de la sucesión para cada  $N$ . Se describen las propiedades asintóticas de los valores mínimos del potencial en términos de ciertas funciones aritméticas  $f(N)$  con la propiedad  $f(N) = f(2N)$  para cada  $N$  entero positivo. Los valores mínimos normalizados apropiadamente forman una sucesión acotada y divergente, y en este trabajo se demuestra que cada valor entre el límite superior y el límite inferior es punto límite de la sucesión normalizada. Se da una expansión asintótica finita de los valores mínimos del potencial en donde aparecen la función zeta de Riemann y la constante de Euler.

Trabajo conjunto con Erwin Miña-Díaz.

## Aproximación por polinomios en espacios de Sobolev asociados a funcionales de momentos clásicos

**Misael Marriaga**

Universidad Rey Juan Carlos

Sea  $\mathbf{u}$  un funcional de momentos asociado a los polinomios ortogonales clásicos de Hermite, Laguerre o Jacobi. Estudiamos la aproximación por polinomios en  $H^r(\mathbf{u})$ , el espacio de Sobolev que consiste en las funciones cuyas derivadas de orden consecutivo hasta  $r$  pertenecen al espacio  $L^2$  asociado a  $\mathbf{u}$ . Este estudio requiere de la aproximación simultánea de una función  $f$  y sus derivadas de orden consecutivo hasta  $N \leq r$ . Construimos explícitamente polinomios ortogonales que consiguen esta aproximación simultánea y proveemos una estimación del error de aproximación en términos de  $E_n(f^{(r)})$ , es decir, el error de la mejor aproximación de  $f^{(r)}$  en  $L^2(\mathbf{u})$ .

Trabajo conjunto con Juan Carlos García Ardila.

### Referencias

- [1] E. M. García-Caballero, T. E. Pérez, M. A. Piñar, *Sobolev orthogonal polynomials: interpolation and approximation*, Electron. Trans. Numer. Anal. **9** (1999), 56–64.
- [2] E. M. García-Caballero, T. E. Pérez, M. A. Piñar, *Hermite interpolation and Sobolev orthogonality*, Acta Appl. Math. **61** (2000), 87–99.
- [3] M. G. Magomed-Kasumov, *Sobolev Orthogonal Systems with Two Discrete Points and Fourier Series*, Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Matematika, 2021, No. 12, pp. 56–66. translation in Russian Mathematics, 2021, **65**, No. 12, pp. 47–55. 2021.

## **Matrices degeneradas generalizadas de Bernoulli y Euler**

***Yamilet Quintana***

**Universidad Carlos III de Madrid**

Presentamos algunos resultados recientes sobre propiedades algebraicas de matrices degeneradas generalizadas de Bernoulli y de Euler. En particular, mostramos fórmulas de inversión matricial asociadas a estas matrices. Además, proporcionamos propiedades analíticas para la matriz de Pascal degenerada generalizada de primer tipo, y la factorización correspondiente para las matrices degeneradas generalizadas de Euler.

*Trabajo conjunto con Juan Hernández y Dionisio Peralta (Universidad Autónoma de Santo Domingo, República Dominicana).*

# Comportamiento asintótico de los ceros de algunos casos de la $G$ -función de Meijer

*Cristina Rodríguez-Perales*

Universidad de Almería

La asintótica tipo Mehler–Heine se caracteriza por establecer una relación límite entre ciertos polinomios reescalados y funciones de Bessel de primera especie (ver [3]). En este trabajo, se aborda el estudio de este tipo de asintótica local para ciertos casos particulares de la  $G$ -función de Meijer (ver [2]). Con tal fin, se utiliza la fórmula tipo Mehler–Heine obtenida para polinomios hipergeométricos (ver [1]).

Además, como consecuencia de nuestro resultado y utilizando el conocido teorema de Hurwitz, se obtiene el comportamiento asintótico de los ceros de esta función. Finalmente, se muestran algunos experimentos numéricos que ilustran la convergencia de los ceros de la  $G$ -función de Meijer a los ceros de la función límite.

*Trabajo conjunto con Juan Francisco Mañas Mañas y Juan José Moreno Balcázar (Universidad de Almería).*

## Referencias

- [1] C.F. Bracciali, J.J. Moreno-Balcázar (2015). On the zeros of a class of generalized hypergeometric polynomials, *Appl. Math. Comput.* **253**, 151–158.
- [2] F.W.J. Olver, D.W. Lozier, R.F. Boisvert, C.W. Clark (eds.) (2010). *NIST Handbook of Mathematical Functions*, Cambridge University Press.
- [3] G. Szegő, (1975). *Orthogonal polynomials*, American Mathematical Society Providence, Rhode Island, fourth edition.

**Agradecimientos:** Este trabajo ha sido financiado por PPIT-UAL, Junta de Andalucía–ESF. Programa: 54.A. Aplicación: 741. El trabajo de JFMM y JJMB está financiado por el proyecto PID2021-124472NBI00 financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033 “ERDF A way of making Europe” por el centro de investigación CDTIME de la Universidad de Almería. Además, los autores están parcialmente financiados por el grupo de investigación FQM-0229.

## Ceros débiles de polinomios ortogonales en varias variables

*José Luis Ruiz Benito*

Universidad de Granada

Los ceros de un polinomio ortogonal de una variable con respecto a un funcional definido positivo son un conjunto finito de puntos de la recta real. Para cada grado, este polinomio ortogonal es único, salvo una constante multiplicativa, por lo que sus ceros son en realidad una propiedad del funcional.

Para un polinomio ortogonal de varias variables, tradicionalmente se han considerado sus ceros como las curvas parametrizadas en las que el polinomio se anula. Así al expresar los polinomios ortogonales de un cierto grado en forma de vector, no siempre es posible encontrar ceros comunes y, al obtener otro vector de polinomios ortogonales multiplicando por una matriz regular, los ceros cambian completamente.

En este trabajo introducimos una nueva definición de ceros para polinomios de varias variables, que generaliza la definición de cero en una variable y mediante la cual el conjunto de ceros de un vector de polinomios ortogonales es una propiedad intrínseca del funcional. Además, analizamos algunas propiedades en familias relevantes.

## **Ecuaciones momento-diferenciales de segundo orden y polinomios ortogonales**

***Victor Soto Larrosa***

Universidad de Alcalá

En este trabajo se lleva a cabo la construcción de nuevas secuencias polinomiales que son solución de determinadas ecuaciones momento-diferenciales de segundo orden. Estas ecuaciones involucran al operador derivada de momentos, introducido recientemente en el estudio de soluciones formales de ecuaciones funcionales y están determinadas por los elementos de una secuencia de momentos general. La versatilidad de estas ecuaciones momento-diferenciales nos permite recuperar las ecuaciones diferenciales ordinarias de las que surgen las familias de polinomios ortogonales clásicos para una elección particular de la secuencia de momentos. Además, otras elecciones nos conducen al estudio de familias de soluciones de ecuaciones funcionales de distinta naturaleza, donde nos centraremos principalmente en el estudio de ecuaciones diferenciales fraccionarias y ecuaciones en  $q$ -diferencias, generalizando en este último caso a los polinomios  $q$ -ortogonales clásicos.

*Trabajo conjunto con Edmundo J. Huertas (Universidad de Alcalá) y Alberto Lastra (Universidad de Alcalá).*

## **Ortogonalidad múltiple multivariada**

***Juan Antonio Villegas Recio***

Universidad de Granada

En los últimos años se ha extendido el estudio de una generalización de la ortogonalidad estándar: la ortogonalidad múltiple, la cual, a grandes rasgos, se caracteriza por permitir que un polinomio sea ortogonal a los de grado inferior con respecto a distintas medidas. Sin embargo, esta teoría está siendo muy estudiada en una única variable. En este póster presentaremos una generalización de las definiciones ya existentes a polinomios multivariados y algunas extensiones de los principales resultados.

# Información de utilidad

## ¿Cómo llegar a la UAL?

Desde la organización recomendamos algunas formas de llegar a la Universidad de Almería (UAL):

### Viaje de ida:

Desde el centro de Almería la mejor opción para llegar a la UAL es caminar unos minutos hasta el "Paseo de Almería". A lo largo de esta calle hay varias paradas de bus. En estas paradas pasan las líneas L11 ([ver info aquí](#)) y L18 ([ver info aquí](#)). En estos enlaces se pueden consultar todos los horarios y el itinerario completo.

### Viaje de vuelta:

Para volver en bus desde la UAL al centro de Almería recomendamos coger las líneas L12 ([ver info aquí](#)) o la Línea L18 ([ver info aquí](#)).

En caso de coger la Línea L12 hay que bajarse entre las paradas "Rambla-Oliveros" y "Rambla 54", dependiendo de la ubicación del hotel elegido.

En caso de tomar la Línea L18 hay que bajarse entre las paradas "Rambla-Oliveros" y "Pablo Iglesias", dependiendo de la ubicación del hotel elegido.

### Otras ubicaciones:

Para los participantes que decidan quedarse en hoteles más lejanos del centro, para llegar a la UAL consultar la página oficial de [SURBUS](#). Y por supuesto, siempre está la opción de usar **Google Maps**.

## Red WIFI

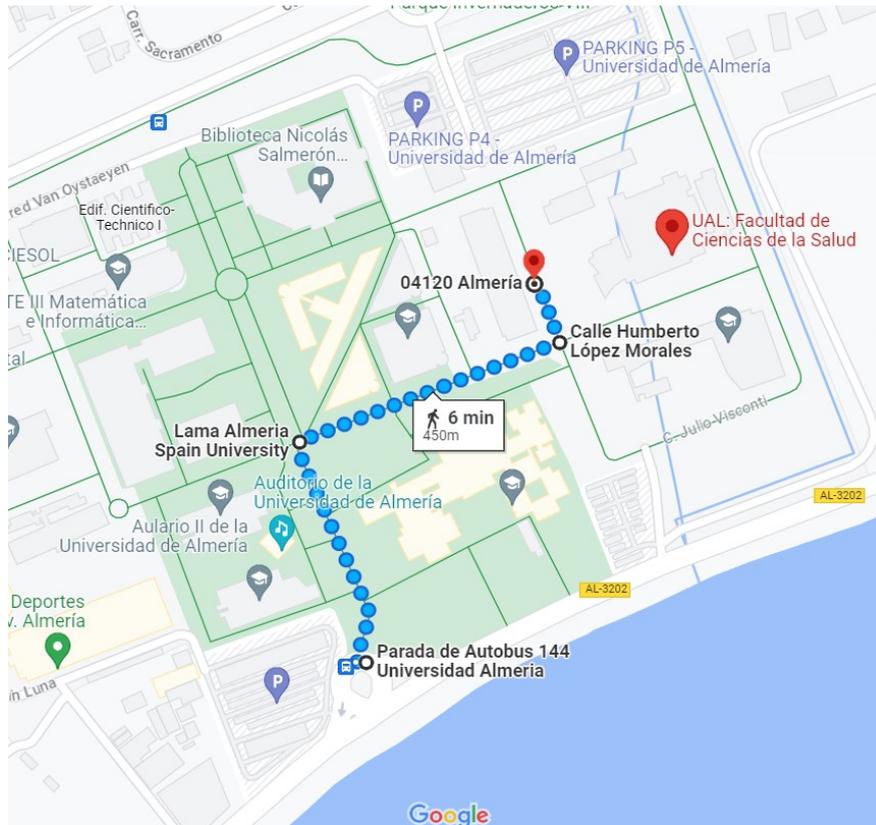
Los asistentes al encuentro disponen de una red WIFI. Los datos son:

- **Nombre de la red WIFI:** Congreso
- **Contraseña:** UAL@2=23

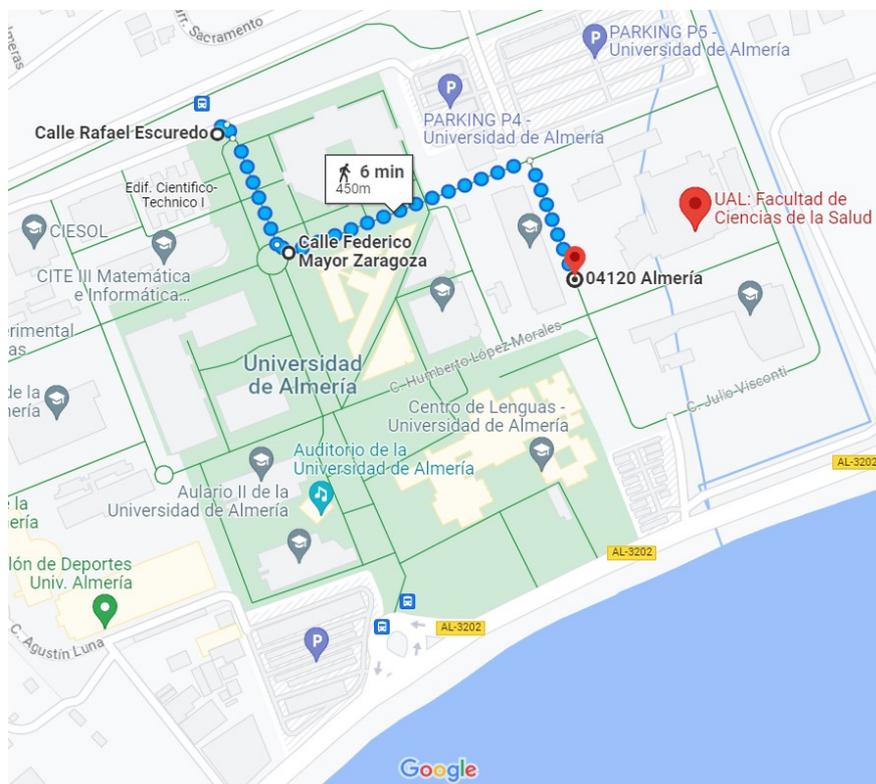
## Lugar del encuentro

El encuentro tendrá lugar en la **Sala de Conferencias** y en el **Aula 1** del **EDIFICIO DE CIENCIAS DE LA SALUD** de la UAL.

Para llegar a este edificio, hay que tener en cuenta que el campus universitario de la UAL cuenta con 2 paradas de bus, la parada **sur** junto al mar y la parada **norte**. Para llegar a este edificio, mirar los planos con el itinerario a seguir en función de la parada de bus en la página siguiente.



**Itinerario desde la parada de bus SUR al Edificio DE CIENCIAS DE LA SALUD.**



**Itinerario desde la parada de bus NORTE al Edificio DE CIENCIAS DE LA SALUD.**

# Lista de Participantes

Manuel Alfaro García	Universidad de Zaragoza
Luis Miguel Anguas Márquez	Saint Louis University, Madrid Campus
Jorge Arvesú Carballo	Universidad Carlos III de Madrid
Ignacio Baena Jiménez	Universidad de Burgos
Dolores Barrios	Universidad Politécnica de Madrid
María José Cantero Medina	Universidad de Zaragoza
Miriam Carrillo García	Universidad de Almería
Ana Belén Castaño Fernández	Universidad de Almería
Mirta Castro	Universidad de Sevilla
Óscar Ciaurri Ramírez	Universidad de La Rioja
Alfredo Deaño	Universidad Carlos III de Madrid
Antonia Delgado Amaro	Universidad de Granada
Sergio Díaz Elbal	Universidad de Almería
Antonio J. Durán Guardo	Universidad de Sevilla
Carmen Escribano Iglesias	Universidad Politécnica de Madrid
Lidia Fernández Rodríguez	Universidad de Granada
Juan Enrique Fernández Díaz	Universidade de Aveiro
Chelo Ferreira González	Universidad de Zaragoza
Ulises Fidalgo Prieto	Case Western Reserve University
Juan Carlos García Ardila	Universidad Politécnica de Madrid
María Ángeles García Ferrero	Universidad de Barcelona
Amparo Gil Gómez	Universidad de Cantabria
Samuel Gómez García	Universidad de Granada
Rosario González-Férez	Universidad de Granada
Iván Gutiérrez Sagredo	Universidad de Burgos
Edmundo Huertas	Universidad de Alcalá
Antonio Jiménez Vargas	Universidad de Almería
Jesús Ricardo Illán González	Universidad de Vigo
Abey López García	University of Central Florida
Guillermo López Lagomasino	Universidad Carlos III de Madrid
Manuel Mañas Baena	Universidad Complutense de Madrid
Juan Francisco Mañas Mañas	Universidad de Almería
Francisco Marcellán Español	Universidad Carlos III de Madrid
Misael E. Marriaga Castillo	Universidad Rey Juan Carlos
Andrei Martínez Finkelshtein	Universidad de Almería & Baylor University
Juan José Moreno Balcázar	Universidad de Almería
Ramón Orive Rodríguez	Universidad de La Laguna
Teresa E. Pérez Fernández	Universidad de Granada
Miguel A. Piñar González	Universidad de Granada
Yamilet Quintana	Universidad Carlos III de Madrid

Darío Ramos López	Universidad de Almería
Marlon Josué Recarte Castellanos	Universidad Nacional Autónoma de Honduras
Cristina Rodríguez Perales	Universidad de Almería
José Luis Ruiz Benito	Universidad de Granada
Joaquín Sánchez Lara	Universidad de Granada
Jesús Sánchez-Dehesa Moreno-Cid	Universidad de Granada
Víctor Soto Larrosa	Universidad de Alcalá
Luis F. Velázquez Campoy	Universidad de Zaragoza
Juan Antonio Villegas Recio	Universidad de Granada
Alejandro Zarzo Altarejos	Universidad Politécnica de Madrid
Ignacio Zurrián	Universidad de Sevilla

# Patrocinadores

Universidad de Almería



Grupo de investigación Teoría de aproximación  
y polinomios ortogonales



Instituto Carlos I de Física Teórica y  
Computacional



Centro de Desarrollo y Transferencia de  
Investigación Matemática a la Empresa



Departamento de Matemáticas de la  
Universidad de Almería



Facultad de Ciencias Experimentales de la  
Universidad de Almería



