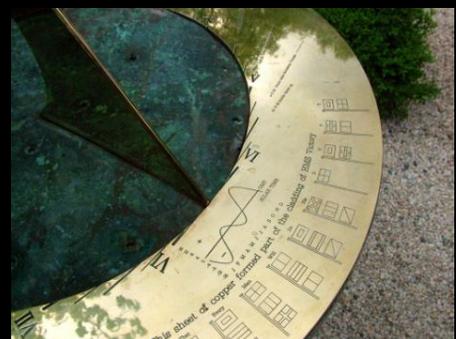
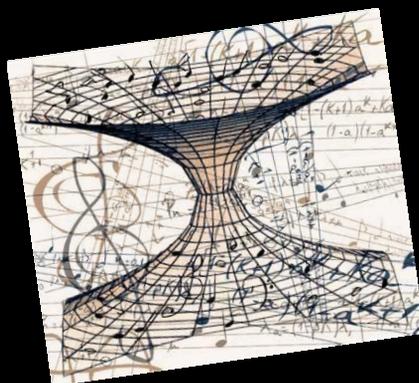


# “Espacio y Tiempo”

Curso de verano 2016  
Centro Mediterráneo (UGR)



**Organización:** Sergio Navas (navas@ugr.es)

**Coordinación:** Bert Janssen

Dpto. Física Teórica y del Cosmos, UGR



ugr

Universidad  
de Granada



# Curso de Verano “Espacio y Tiempo” 2016

## Centro Mediterráneo (Universidad de Granada)

**Fecha :** del 25 al 28 de julio de 2016

**Lugar :** sede del CEMED en Almuñécar

**Programa :**

	Lunes 25	Martes 26	Miércoles 27	Jueves 28
10 – 12	<i>“Cosmología”</i>	<i>“Introducción a la Relatividad General”</i>	<i>“Exploración de nuestro entorno espacial. Misiones espaciales”</i>	<i>“Los latidos de la Tierra”</i>
	(Eduardo Battaner)	(Bert Janssen)	(José Juan López)	(Enrique Carmona)
12 – 14	<i>“Mensajeros Cósmicos”</i>	<i>“Coleccionistas de luz”</i>	<i>“Astrobiología y búsqueda de vida extraterrestre”</i>	<i>“Tiempo cósmico y tiempo humano: de la rotación de la tierra a los relojes atómicos”</i>
	(Sergio Navas)	(Jorge Iglesias)	(Carlos Abia)	(David Galadí)
<b>COMIDA</b>				
16 – 18	<i>“Ordenando el tiempo: Historia del calendario”</i>	<i>“El Arte Fractal”</i>	<i>“El espacio-tiempo de una realidad auto-creadora”</i>	<i>“Dinámica molecular en el envejecimiento humano”</i>
	(Jorge Jiménez)	(Pepe Martínez)	(Luis Sáez)	(M. Dolores Suárez)
18 – 19:30	<i>“El ritmo en la música y la danza y su comprensión espacio-temporal”</i>	<i>“Observación de rayos cósmicos”</i>	<i>“Geometrías en la Alhambra”</i>	<i>“La sombra del tiempo: el reloj de sol a la luz de la ciencia contemporánea”</i>
	(Cuca Vidal)	(Sergio Navas)	(Miguel Ortega)	(David Galadí)

(\*) Las actividades de 18h a 19:30h tienen formato de *Talleres* de participación activa del alumnado.

### Ponentes:

<b>Apellido, Nombre</b>	<b>Título de la Ponencia</b>
Abia, Carlos <sup>(a)</sup>	“Astrobiología y Búsqueda de vida extraterrestre”
Battaner, Eduardo <sup>(a)</sup>	“Cosmología”
Carmona, Enrique <sup>(b)</sup>	“Los latidos de la Tierra”
Galadí, David <sup>(e)</sup>	“Tiempo cósmico y tiempo humano: de la rotación de la tierra a los relojes atómicos”
Galadí, David <sup>(e)</sup>	“La sombra del tiempo: el reloj de sol a la luz de la ciencia contemporánea”
Iglesias, Jorge <sup>(c)</sup>	“Coleccionistas de luz”
Janssen, Bert <sup>(a)</sup>	“Introducción a la Relatividad General”
Jiménez, Jorge <sup>(a)</sup>	“Ordenando el tiempo: Historia del calendario”
López, José Juan <sup>(c)</sup>	“Exploración de nuestro entorno espacial. Misiones espaciales”
Martínez Aroza, Pepe <sup>(a)</sup>	“El Arte Fractal”
Navas, Sergio <sup>(a)</sup>	“Mensajeros cósmicos”
Navas, Sergio <sup>(a)</sup>	“Observación de rayos cósmicos”
Ortega, Miguel <sup>(a)</sup>	“Geometrías en la Alhambra”
Sáez, Luis <sup>(a)</sup>	“El espacio-tiempo de una realidad auto-creadora”
Suárez, María Dolores <sup>(a)</sup>	“Dinámica molecular en el envejecimiento humano”
Vidal, Cuca <sup>(d)</sup>	“El ritmo en la música y la danza y su comprensión espacio-temporal”

<sup>(a)</sup> Universidad de Granada ; <sup>(b)</sup> Instituto Andaluz de Geofísica; <sup>(c)</sup> Instituto de Astrofísica de Andalucía; <sup>(d)</sup> Historia y Ciencias de la Música;

<sup>(e)</sup> Centro Astronómico Hispano Alemán AIE (Observatorio de Calar Alto).



## Programa del curso del CENTRO MEDITERRÁNEO:

- Título:

### **“Espacio y Tiempo”**

- Fechas y lugar de celebración:

**Del 25 al 28 de julio de 2016 en Almuñécar.**

- Breve justificación del curso:

*Los conceptos de “espacio” y “tiempo” son, a priori, muy intuitivos y familiares. De hecho, aprendemos a ubicarnos espacial y temporalmente desde edades muy tempranas y nos acompañan constantemente en nuestra vida diaria. Sin embargo, al profundizar en ellos descubrimos que, bajo ciertos prismas, estos conceptos esconden interpretaciones abstractas, misteriosas, a veces difíciles de captar. La Física moderna, por ejemplo, apoyándose en elaborados formalismos matemáticos los trata como un objeto único e inseparable para describir la Naturaleza. Aunque el espacio y el tiempo son fundamentales en el desarrollo de las ciencias exactas, especialmente en Física y Matemáticas, en los Programas de Estudios de Grado apenas se discuten estos conceptos de manera conjunta y, cuando se hace, se ofrece una visión muy polarizada.*

*En este curso trataremos la idea del “espacio y tiempo” desde diferentes ángulos y a diferentes escalas, ofreciendo al alumno una formación específica a la vez que transversal. Abordaremos las teorías matemáticas y físicas más modernas sobre la estructura de nuestro Universo, expondremos resultados experimentales recientes en la detección de radiación cósmica, observaciones astronómicas y astrobiología. A una escala más pequeña, analizaremos la evolución espacio-temporal de nuestro planeta, los mecanismos biológicos de envejecimiento, la lógica escondida en los sistemas de medición del tiempo y los secretos de la geometría fractal. Trataremos la realidad del espacio-tiempo desde el pensamiento filosófico y sus aplicaciones en la música y la danza.*

*El curso se orienta, pues, hacia estudiantes de ramas tanto científicas como no científicas, interesados en ampliar sus conocimientos sobre el concepto del “espacio y tiempo”.*

*Los contenidos tratados en el Curso aportan una formación complementaria a los actuales Grados universitarios, no solapando en ningún caso con los contenidos de los Planes de Estudios.*

*“The views of space and time which I wish to lay before you have sprung from the soil of experimental physics, and therein lies their strength. They are radical. Henceforth space by itself, and time by itself, are doomed to fade away into mere shadows, and only a kind of union of the two will preserve an independent reality”*

*H. Minkowski, 80ª Reunión Alemana de Física y Ciencias Naturales 21/09/1908.*

- Competencias de los alumnos:

*En los resúmenes de cada ponencia se detallan los Contenidos Específicos de las mismas. A partir de ellos se pueden extraer las competencias adquiridas por los alumnos. A continuación se ofrece un breve resumen de las mismas:*

- a) El alumno sabrá/comprenderá:

*Conceptos introductorios sobre los parámetros cosmológicos que definen la evolución y las estructuras a gran escala del Universo, el origen y la detección de la radiación cósmica, las técnicas de observación astronómica, misiones espaciales y búsqueda de vida extraterrestre. Conceptos introductorios sobre relatividad general. La evolución Geofísica de la Tierra. El proceso de envejecimiento biológico. La historia y los tipos de calendarios. Construcción de calendarios. El concepto y la geometría fractal. Ritmo y métrica aplicadas a la música y la danza. Geometría en el plano aplicada al arte. La visión filosófica del concepto “espacio y tiempo”.*

- b) El alumno será capaz de:

*Relacionar las visiones de la Ciencia, la Filosofía y el Arte sobre el concepto de “espacio y tiempo”, asimilando su interrelación en diferentes ramas del conocimiento lo que le permitirá adquirir una visión interdisciplinar.*

- Programa detallado del curso:

*Detallado en documentación anexa.*

- Metodología:

*La metodología del Curso combina Ponencias en las que se expondrán de manera didáctica los contenidos especificados en el programa (12 sesiones de 2 horas cada una), con Talleres prácticos de participación activa del alumnado (4 sesiones de 90 minutos cada una). Durante las sesiones se facilitará y fomentará el debate y la interacción entre los ponentes y el alumnado.*

- Evaluación:

*La evaluación positiva de la actividad requerirá la asistencia al 90% de las sesiones del Curso, para lo que se llevará a cabo un control con firma de las mismas. Además, se requerirá la implicación y participación activa por parte del alumnado en las sesiones de Talleres que conforman la última actividad de cada jornada.*

- Cualificación personal o empleos a los que da acceso:

*Mejora las competencias específicas y transversales en diversas áreas de conocimiento como Física, Matemáticas, Filosofía, Biología ó Musicología.*

- Idiomas utilizados:

*Español*

- Bibliografía:

*La bibliografía recomendada en cada unidad temática del Curso se detalla en la documentación anexa.*

- Rama de conocimiento:

*Ciencias y Humanidades.*

- Resumen del programa que ha de figurar en el dorso del Título:

*En este curso trataremos la idea del “espacio y tiempo” desde diferentes ángulos y a diferentes escalas, ofreciendo al alumno una formación específica a la vez que transversal. Abordaremos las teorías matemáticas y físicas más modernas sobre la estructura de nuestro Universo, expondremos resultados experimentales recientes en la detección de radiación cósmica, observaciones astronómicas y astrobiología. A una escala más pequeña, analizaremos la evolución espacio-temporal de nuestro planeta, los mecanismos biológicos de envejecimiento, la lógica escondida en los sistemas de medición del tiempo y los secretos de la geometría fractal. Trataremos la realidad del espacio-tiempo desde el pensamiento filosófico y sus aplicaciones en la música y la danza. El curso combina Ponencias con Talleres prácticos participativos y está orientado a estudiantes de ramas tanto científicas como no científicas.*

- **Datos del profesorado:** *Detallado en documentación anexa.*

- **Estructura del curso**

- Dirección: Sergio Navas Concha ([navas@ugr.es](mailto:navas@ugr.es))

- Módulos: *módulo único*

- Denominación del módulo: *“Espacio y Tiempo”*
- Nombre del coordinador: *Bert Janssen (bjanssen@ugr.es)*

Unidades temáticas:

*El listado y resumen de contenidos de todas las Ponencias y Talleres se detallada a continuación.*



**Ponencia:**

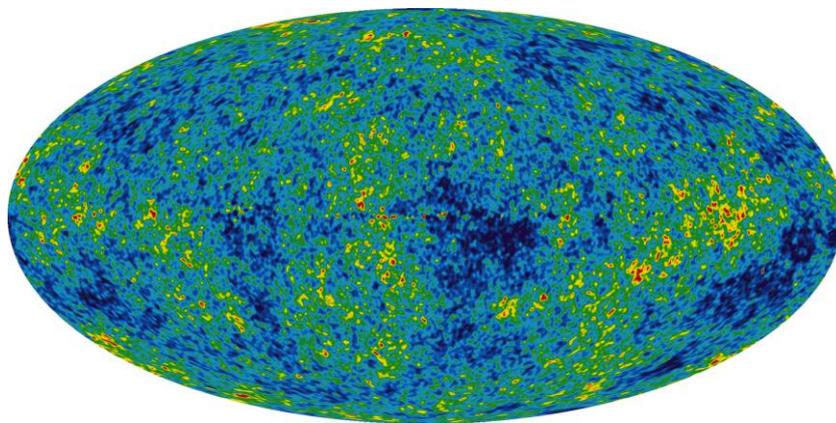
- *Ponente : Eduardo Battaner López (UGR)*
- *Título : “Cosmología”*
- *Breve resumen :*

La Cosmología es la ciencia que estudia la ciencia como un todo, su principio, su evolución y su final. Recientemente se han conseguido espectaculares avances en el aspecto observacional de la Cosmología, lo que guiará el enfoque de la ponencia. La Cosmología se convierte en una ciencia con la sólida base que le proporciona la relatividad general y se presta a una reflexión especialmente profunda sobre los conceptos de espacio y tiempo.

Los contenidos tratados en la ponencia aportan una formación complementaria al Grado en Física, no solapando en ningún caso con los contenidos del Plan de Estudios de dicho Grado.

Contenidos específicos de la ponencia:

- ✓ Breve historia de la cosmología.
  - ✓ Breve historia del Universo.
  - ✓ Estructura a gran escala del Universo.
  - ✓ El Fondo Cósmico de Microondas (CMB) como la radiación más primitiva observable hoy.
  - ✓ Las misiones espaciales del CMB
  - ✓ Los parámetros cosmológicos que definen nuestro Universo.
- 
- *Bibliografía específica :*
    - Weinberg, S. (2008) “Cosmology”. Oxford Univ. Press.
    - Battaner, E. (1996) “Astrophysical Fluid Dynamics”. Cambridge Univ. Press.
    - Battaner, E. (2011) “¿Qué es el Universo? ¿Qué es el hombre?” Alianza.
    - Battaner, E. (2015) “Las grandes estructuras del Universo. RBA
    - Longair, M. (2006) “The cosmic century”. Cambridge Univ. Press.
    - Cepa, J. (2007) “Cosmología física”. Akal



### **Ponencia:**

- *Ponente : Sergio Navas Concha (UGR)*
- *Título : “Mensajeros Cósmicos”*
- *Breve resumen :*

¿Qué es la radiación cósmica? ¿En qué consiste la astronomía de neutrinos y de rayos gamma de alta energía? ¿Cómo se producen y aceleran las partículas en el espacio? ¿Cuáles son los principios de operación de los experimentos que detectan y estudian actualmente la radiación cósmica? ¿Qué podemos aprender de estos mensajeros cósmicos?

Este curso tratará de responder a estas y a otras preguntas abordando los logros alcanzados en la investigación experimental, a la vez que señalando las cuestiones fundamentales que todavía quedan por resolver. El objetivo del curso es despertar el interés en el alumnado por las Astropartículas, proporcionándole una base introductoria conceptual y formal en el campo.

Los contenidos tratados en la ponencia aportan una formación complementaria al Grado en Física, no solapando en ningún caso con los contenidos del Plan de Estudios de dicho Grado.

Contenidos específicos de la ponencia:

- ✓ Del descubrimiento de la radiación cósmica al nacimiento de la Física de Partículas.
  - ✓ Mecanismos de aceleración de *Fermi*. Partículas en campos magnéticos.
  - ✓ Fuentes Galácticas y Extra-Galácticas. Limitación de energía (Gráfico de *Hillas*).
  - ✓ Propagación de rayos cósmicos en la Galaxia: ecuación de difusión y deflexión.
  - ✓ Rayos cósmicos Extra-Galácticos: mecanismos de interacción. Efecto *GZK*.
  - ✓ Teoría del desarrollo de las cascadas en la atmósfera.
  - ✓ Técnicas de detección de rayos cósmicos en el espacio y en superficie.
  - ✓ Resultados experimentales.
- *Bibliografía específica :*
  - M. Spurio, “Particles & Astrophysics”. Springer 2015; ISBN: 978-3-319-08051-2.
  - C. Grupen, “Astroparticle Physics”, Springer 2005, ISBN 978-3-540-27670-8.
  - T. Stanev, “High Energy Cosmic Rays”, Springer 2010, ISBN 978-3-540-85148-6.
  - The Particle Data Group: [pdg.lbl.gov/2015/astrophysics-cosmology/astro-cosmo.html](http://pdg.lbl.gov/2015/astrophysics-cosmology/astro-cosmo.html)



## **Ponencia:**

- *Ponente : Jorge Jiménez Vicente (UGR)*
- *Título : “Ordenando el tiempo: Historia del calendario”*
- *Breve resumen :*

Nuestro calendario actual, llamado calendario gregoriano, es el resultado de siglos de búsqueda del hombre por medir el tiempo para organizar sus días de la forma más adecuada. Desde tiempos remotos, el hombre ha entendido que lo más apropiado era organizar el paso del tiempo intentando seguir los ritmos del sol y de la luna. El primero determina el ciclo estacional que regula una gran cantidad de actividades humanas, como por ejemplo, las actividades agrícolas y ganaderas, la pesca, etc. Y la segunda, a través de sus fases, ha estado ligadas a las celebraciones religiosas en casi todas las culturas desde tiempo inmemorial, y es el origen de nuestros actuales meses. Veremos cómo, según el astro a cuyo ciclo se intente acomodar, se pueden distinguir distintos tipos de calendario: los calendarios solares que se ajustan al ciclo solar, y los lunares que siguen el ciclo sinódico de la luna. Y si acompañar el calendario a cualquiera de esos ciclos por separado no es ya tarea trivial, hacerlo con los dos a la vez, como lo intentan los calendarios lunisolares, es extraordinariamente delicado. Y sin embargo el hombre se ha empeñado en ello desde muy antiguo.

Durante la ponencia se expondrán los principios astronómicos que rigen la estructura de la mayoría de los calendarios pasados y presentes, y visitaremos los calendarios de tiempos y lugares remotos que han dejado su huella en nuestro actual calendario. Así, veremos cómo era el calendario de los egipcios, los babilonios, y, cómo no, el calendario de los romanos, de quien nuestro calendario es heredero directo.

Se estudiará el calendario juliano, introducido por Julio César en el año 46 a.C. Durante los primeros siglos del imperio romano, la importancia del cristianismo, y en particular el cálculo de la fecha de su fiesta principal, la Pascua de Resurrección, se mostraría crucial en la constitución de nuestro calendario actual. Veremos los problemas surgidos en el cálculo de dicha fecha, la cual requiere de conocimientos astronómicos precisos; así como las distintas soluciones que se adoptaron (en cuyo proceso se introdujo, por ejemplo, nuestra era de referencia en la cuenta actual de los años) y los problemas surgidos en la Edad Media. Finalmente, dichos problemas darían lugar en 1582 a la reforma, por parte del Papa Gregorio XIII, del calendario juliano, que dio como resultado nuestro calendario actual, llamado, en su honor, calendario gregoriano. Pero, como veremos, la reforma no fue aceptada inmediatamente de forma generalizada.

Aprenderemos, en este proceso, cómo se calcula actualmente la fecha de la pascua y, como consecuencia, de otras fiestas (cristianas y paganas) íntimamente relacionadas con ella (como por ejemplo, la celebración del Carnaval, inmediatamente antes de la Cuaresma).

Finalmente consideraremos la necesidad y/o conveniencia de modificar nuestro calendario para el futuro.

- *Bibliografía específica :*
  - G. V Coyne, M. A Hoskin, O Pedersen (eds.). (1986) “Gregorian Reform of the calendar”. Pontificia Academia Scientiarum
  - J. Evans (1998). “The History and practice of ancient astronomy”. Oxford University Press
  - M. Hoskin (ED.)(1999). “The Cambridge Concise History of Astronomy”. Cambridge University Press.

- D. H. Kelley & E. F. Milone (2005). "Exploring Ancient Skies: An Enciclopedic Survey of Archaeoastronomy". Springer.
- O. E. Neugebauer (1969). "Exact Sciences in Antiquity". Brown University Press.
- J. D. North (2008). "Cosmos. An illustrated History of Astronomy and Cosmology". The University of Chicago Press.
- A. Pannekoek (1989). "A History of Astronomy". Dover.
- E. G. Richards (2000). "Mapping Time: The Calendar and Its History". Oxford University Press.
- Soler, A., Battaner, E., Sánchez-Saavedra, M. L. (eds) (2010). "Astronomía". Editorial de la Universidad de Granada.



## Ponencia:

- Ponente : *Cuca (María José) Vidal Márquez (Historia y Ciencias de la Música)*
- Título : *“El ritmo en la música y la danza y su comprensión espacio-temporal”*
- Breve resumen :

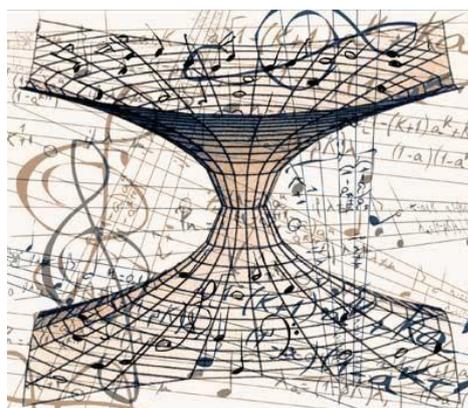
¿Cómo podemos definir el ritmo musical? ¿Cómo se mide? ¿Qué parámetros intervienen en la velocidad de una obra o fragmento musical y cómo se relaciona eso con otras disciplinas, como la danza? ¿Es lo mismo hablar de velocidad en física que en música? ¿Qué estamos haciendo cuando damos golpecitos con el pie al escuchar ese tema que nos gusta tanto?

En teoría de la música entendemos el ritmo como algo natural que percibimos y diferenciamos. El ritmo de un bebé al andar, de una persona coja de una pierna o de un atleta profesional son diferentes. En el momento en que esos sucesos los conceptualizamos con compases, pasamos de hablar de ritmo a hablar de métrica musical, usando unidades de tiempo.

En música se emplea la medición del tiempo como parte fundamental de su andamiaje. El objetivo principal del curso será el de esclarecer ideas que habitualmente se usan vagamente en el lenguaje coloquial como “rápido”, “lento”, “tempo”, “velocidad”, “ritmo”, “compás”, etc. y aprender herramientas para diferenciarlas de manera práctica.

### Contenidos específicos de la ponencia:

- ✓ Definición de ritmo
  - ✓ Definición de métrica
  - ✓ Estructuras macro y micro dentro de la rítmica musical
  - ✓ Factores concernientes a la velocidad musical o tempo: la indicación metronómica, indicación de carácter y el motor rítmico.
  - ✓ Forma musical como manifestación abstracta del espacio en música.
  - ✓ Aplicaciones espacio- musicales: danza, dirección orquestal, ritmo cinematográfico...
- *Bibliografía específica :*
    - Ligeti, G. (1966): “Form”. Traducción del Dr. Thomas Smith para la Universidad de La Rioja.
    - Rojas, P. F. (2014): “Lo femenino, la música y el gesto”. *Gansos Salvajes*, Vol 2. Granada, 2014.
    - Stravinsky, I. (1942): *Poética musical*. Quaderns Crema, S. A. Barcelona, 2006.
    - Swarowsky, H. (1973): *La defensa de la obra*. Real Musical. Madrid, 1988.



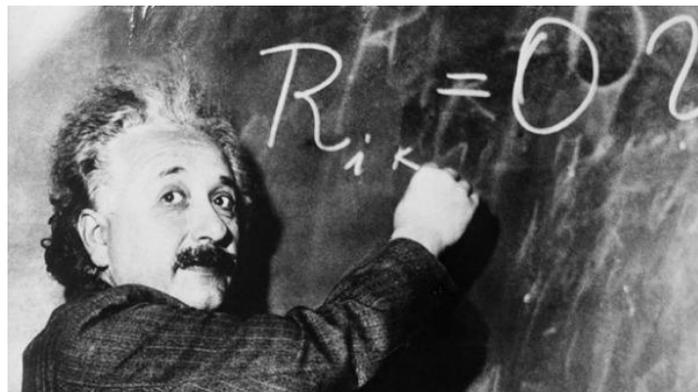
### Ponencia:

- Ponente : Bert Janssen (UGR)
- Título : "Introducción a la Relatividad General"
- Breve resumen :

La Relatividad General es la teoría moderna (Siglo XX) de la gravedad, en el sentido que corrige la teoría de la gravedad newtoniana. En esta ponencia explicaremos los problemas que surgen al intentar compatibilizar la gravedad newtoniana con la teoría de la Relatividad Especial y la necesidad de adaptar la primera a la segunda. Veremos como la Relatividad General explica la interacción gravitatoria como una manifestación de la curvatura del espacio-tiempo y discutiremos algunas consecuencias directas de la teoría como las ondas gravitacionales, los agujeros negros y la cosmología.

Contenidos específicos de la ponencia:

- ✓ Problemas de la gravedad newtoniana.
- ✓ Principio de Equivalencia y Relatividad General como teoría de la gravedad.
- ✓ Consecuencias de la Teoría de la Relatividad:
  - ✓ Dilatación temporal y el efecto del GPS
  - ✓ Ondas gravitacionales
  - ✓ Agujeros negros
  - ✓ Cosmología
- Bibliografía específica :
  - Bert Janssen, Relatividad General, apuntes de clase, <http://www.ugr.es/local/bjanssen/relatividad.html>
  - R. D'Inverno, Introducing Einstein's Relativity, Oxford 1993.
  - S. Carroll, Spacetime and Geometry, Addison-Wesley, 2004.
  - C, Misner, K. Thorne, J. Wheeler, Gravitation, Freeman and Company, 1970.



**Ponencia:**

- *Ponente : Jorge Iglesias Páramo (IAA)*
- *Título : “Coleccionistas de luz”*
- *Breve resumen :*

Desde los inicios del siglo XVII la Astronomía experimentó un desarrollo espectacular debido a la aparición del telescopio. Perfeccionado hoy en día hasta límites casi impensables, el telescopio ha posibilitado avances tan notables como la búsqueda de las primeras galaxias y/o la detección de planetas de características similares a la Tierra.

La presente ponencia pretende hacer un repaso de la evolución del telescopio y de los principales descubrimientos que de su uso han surgido. Asimismo haremos también una breve descripción de los diferentes modos de observación astronómica, de los distintos tipos de instrumentación asociada, y de las técnicas más usuales para derivar información científica relevante a partir de la única fuente de información que el Universo brinda a los astrónomos: la luz.

Contenidos específicos de la ponencia:

- ✓ Revisión general del concepto de telescopio como instrumento óptico.
  - ✓ Parámetros básicos de un telescopio.
  - ✓ Historia del telescopio.
  - ✓ Tipos de telescopios.
  - ✓ Elementos de un telescopio.
  - ✓ Instrumentación astronómica.
  - ✓ Modos de observación astronómica.
- 
- *Bibliografía específica :*
    - “The history of the telescope”, King Henry C. & Harold Spencer Jones, Courier Dover Publications, ISBN 0-486-43265-3.
    - “Historia de la Astronomía”, Heather Couper, Nigel Henbest, Arthur C. Clarke, Editorial Paidós, ISBN 9788449321375.
    - “Observational Astrophysics”, P. Lena, et al., Springer, ISBN 978-3-642-21815-6.



## **Ponencia:**

- *Ponente : Pepe Martínez Aroza (UGR)*
- *Título : “Arte Fractal”*
- *Breve resumen :*

A finales del siglo XIX y comienzos del XX, un grupo de matemáticos, encabezados por Peano, Hilbert, Koch y Sierpinski, entre otros, formularon una nueva familia de curvas con inquietantes propiedades matemáticas que escapaban a todo intento de clasificación hasta el momento.

Al contrario que la geometría utilizada entonces (basada en rectángulos, círculos, triángulos, elipses, etc.), esta nueva geometría describe sinuosas curvas, espirales y filamentos que se retuercen sobre sí mismos dando elaboradas figuras cuyos detalles se pierden en el infinito.

En 1977, con la ayuda de una computadora, el científico franco-polaco Benoit Mandelbrot pudo obtener la primera imagen de esta nueva geometría, que posteriormente él llamaría Geometría Fractal. En 1980, la publicación de su libro *La Geometría Fractal de la Naturaleza* popularizó la geometría fractal y originó el surgimiento de imágenes como las que se presentan en esta proyección.

De hecho podemos entender la geometría fractal como la geometría de la naturaleza, del caos y del orden, con formas y secuencias que son localmente impredecibles, pero globalmente ordenadas, en contraste con la geometría euclídea, que representa objetos creados por el hombre.

Las imágenes fractales no son más que la representación por ordenador de una sola fórmula matemática, generalmente muy simple, utilizando para ello un determinado algoritmo de color, que también suele ser sencillo. La sorprendente complejidad que muestran estas imágenes se debe exclusivamente a las propiedades aritméticas de los números complejos. La labor del artista consiste en escoger la fórmula apropiada, seleccionar la región del plano complejo que presenta las formas más interesantes, y diseñar el algoritmo de color que mejor se ajuste a su concepción.

Tanto la expresión matemática utilizada como los parámetros empleados, dan a cada imagen un color y apariencia únicos. Igual que un pintor o un escultor transmite su personalidad y sensibilidad a su obra por medio de su técnica, los autores de estas obras se expresan a través de fórmulas y algoritmos, modificándolos progresivamente hasta que se alcanza el objetivo deseado, justo en la frontera entre el arte y las matemáticas.

Si entendemos estas imágenes como productos sintetizados por ordenador, pueden parecer frías y mecánicas, pero, detrás de cada una, el autor ha pasado cientos de horas trabajando las fórmulas, algoritmos y parámetros que la determinan. Si se analizan cuidadosamente, se perciben las emociones de su autor en cada forma y en cada color. Y es que las matemáticas también expresan sensibilidades

Los contenidos tratados en la ponencia aportan una formación complementaria al Grado en Física, no solapando en ningún caso con los contenidos del Plan de Estudios de dicho Grado.

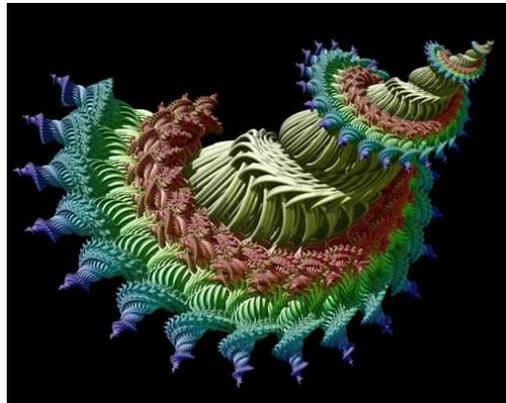
### Contenidos específicos de la ponencia:

- ✓ Arte y Matemáticas como materias contrapuestas. Definición de arte.
- ✓ Encuadre histórico de las teorías fractales.
- ✓ Fractales en la naturaleza. Autosemejanza. Fractales en la actividad humana.
- ✓ Fractales en matemáticas: objetos de Cantor, Koch, Sierpinski, Menger.
- ✓ Caos fractal. Procesos iterativos. Ecuación logística.

- ✓ El proceso  $x^2+c$  en el campo complejo.
- ✓ Breve reseña histórica de los números complejos.
- ✓ El conjunto de Mandelbrot.
- ✓ Dimensión fractal de Hausdorff-Besicovich.
- ✓ Clasificación de los objetos fractales.
- ✓ Aplicaciones prácticas de los fractales.
- ✓ Creación de obras de arte fractales. Algoritmos de color.

○ *Bibliografía específica :*

- Benoît Mandelbrot, La Geometría Fractal de la Naturaleza, Tusquets, 1997.
- B. Mandelbrot. Los objetos fractales. Forma, azar y dimensión. Tusquets Editores, S.A., 1993.
- Barnsley, M. Fractals everywhere. Academic Press Inc, 1988.



### **Ponencia:**

- *Ponente : Sergio Navas Concha (UGR)*
- *Título : “Observación de rayos cósmicos”*
- *Breve resumen :*

La Tierra es bombardeada continuamente y desde todas direcciones por un flujo de partículas elementales y núcleos de átomos de alta energía que provienen de objetos situados tanto dentro como fuera de nuestra Galaxia. Los más energéticos colisionan con átomos de aire en las capas altas de la atmósfera generando una lluvia enorme de partículas que alcanza la superficie de la Tierra cubriendo superficies muy extensas, de varios kilómetros cuadrados. Se trata de una radiación natural e inofensiva. Además es invisible. ¿O no? Las cámaras de niebla son detectores que permiten rastrear estas partículas invisibles. De hecho, fueron los primeros detectores utilizados por los primeros físicos de partículas experimentales hace más de 100 años. En esta actividad intentaremos obtener evidencia experimental del mundo subatómico, operando una cámara de niebla casera.

### Contenidos específicos del taller:

- ✓ La radiación cósmica: flujos observados.
  - ✓ Paso de partículas a través de materia.
  - ✓ Funcionamiento de un detector de partículas.
  - ✓ Puesta en marcha de la cámara de niebla y observación de partículas.
  - ✓ Ejercicio práctico: identificación visual de partículas.
- *Bibliografía específica :*
    - L. M. García Martín, “Construcción de una cámara de niebla”. Trabajo Fin de Grado 2013/2014. Universidad de Granada; <http://hdl.handle.net/10481/33356>.
    - <http://camara-de-niebla.blogspot.com.es/2014/06/construccion-de-una-camara-de-niebla-de.html>
    - T. Stanev, “High Energy Cosmic Rays”, Springer 2010, ISBN 978-3-540-85148-6.
    - W.R. Leo, “Techniques for Nuclear and Particle Physics experiments”, Springer 1994, ISBN 978-3-540-57280-0.



**Ponencia:**

- Ponencia : José Juan López (IAA)
- Título: "Exploración de nuestro entorno espacial. Misiones espaciales."
- Breve resumen :

Salvo el efímero programa Apolo, que permitió la exploración "in situ" de la superficie lunar por seres humanos, exploración humana de nuestro espacio cercano (Sistema Solar) hasta ahora se ha limitado al estudio de los planetas y satélites con instrumentos. Hace ya treinta años que se dice que en treinta años seremos capaces de poner un hombre en la superficie de Marte y devolverlo sano a La Tierra. Sin embargo aún estamos lejos de que el número de años que queden para llegar a Marte disminuya y dispongamos de un calendario ejecutable que nos permita la exploración de Marte. Hasta ese momento la exploración espacial seguirá siendo utilizando instrumentación cada día más inteligente y con mejores prestaciones pero sin la presencia humana en las misiones.

En estas sesiones, apuntaremos el estado de los programas de exploración humana de nuestro entorno que actualmente se planean y aprovecharemos para hacer un recorrido del papel que el Instituto de Astrofísica de Andalucía juega y ha jugado en la exploración (robótica hasta ahora) del Sistema Solar, con un poco de detalle en las misiones: Cassini-Huygens y Rosetta.

- Bibliografía específica :
  - "ESSC-ESF Position Paper Science-Driven Scenario for Space Exploration: Report from the European Space Sciences Committee (ESSC)". ASTROBIOLOGY Volume 9, Number 1, 2009 © Mary Ann Liebert, Inc. DOI: 10.1089/ast.2007.1226.
  - Beyond this world. Scientific missions of the European Space Agency. Bruce Batrick (Editor). ESA, 1995, ISBN 92-9092-388-1.
  - The Human Exploration of Space. Committee on Human Exploration, National Research Council. ISBN: 0-309-06034-6, 174 pages, 6 x 9, (1997).
  - Agencia Espacial Europea: <http://www.esa.int/ESA>
  - Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio: <https://www.nasa.gov>



## Ponencia:

- *Ponente : Carlos Abia Ladrón de Guevara (UGR)*
- *Título : "Astrobiología y la Búsqueda de Vida Extraterrestre"*
- *Breve resumen :*

¿Qué es la Astrobiología? ¿Qué es la Exobiología? ¿Cómo apareció y evolucionó la vida en la Tierra? ¿Es la Tierra un planeta único? ¿Cómo se forman las estrellas y los planetas? ¿Cómo detectamos la existencia de planetas extrasolares? ¿Qué es la Zona Habitable en un sistema extrasolar? ¿Puede haber vida en otros planetas?

Este curso tratará de responder a estas y a otras preguntas abordando los logros alcanzados en la investigación experimental y teórica más reciente, a la vez que señalar los pasos más importantes que se realizarán en este sentido a través de proyectos espaciales internacionales. El objetivo del curso es despertar el interés en el alumnado por una ciencia multidisciplinar y muy joven como es la Astrobiología a través del estudio de la Astrofísica, proporcionándole una base introductoria conceptual y formal en el campo.

Los contenidos tratados en la ponencia aportan una formación complementaria al Grado en Física, no solapando en ningún caso con los contenidos del Plan de Estudios de dicho Grado.

Contenidos específicos de la ponencia:

- ✓ ¿Qué es la vida en la Tierra? Condiciones límite para la habitabilidad.
- ✓ Desarrollo y evolución de la vida terrestre.
- ✓ Especulaciones sobre el origen de la vida.
- ✓ Formación de estrellas y planetas.
- ✓ Detección de planetas: Métodos.
- ✓ Inventario de planetas extrasolares (2016).
- ✓ Zona habitable en un sistema extrasolar y en la Galaxia.
- ✓ Búsqueda de vida fuera de la Tierra: El Sistema Solar y más allá
- ✓ Indicios de vida extraterrestre

- *Bibliografía específica :*

- An Introduction to Astrobiology. I. Gilmour & M.A. Sephton. Cambridge Univ. Press. 2004.
- Extrasolar Planets & Astrobiology. C.A. Scharf. University Science Books 2009.
- Planets and Life. Eds. Sullivan & Baross, CUP, 2007.



## Ponencia:

- Ponente : Luis Sáez Rueda (UGR)
- Título : “El espacio-tiempo de una realidad auto-creadora”
- Breve resumen :

¿Qué es el tiempo? ¿Qué es el espacio? ¿Son instancias objetivas o más bien formas subjetivas de organización de la experiencia? Estas preguntas han atravesado la trayectoria entera de la filosofía. Forman parte de sus cuestiones permanentes, siempre renovables en una gran ramificación de interpretaciones. En ese contexto, la filosofía contemporánea ha venido a formular hipótesis que se fraguan en una relación interdisciplinaria especialmente intensa con la ciencia.

Este curso pretende explicitar las concepciones contemporáneas sobre el espacio y el tiempo que más expectativas poseen de relación con la ciencia, surgidas, a menudo, en discusión y polémica con ella pero, al unísono, sorprendentemente próximas en sus resultados a teorías físicas y biológicas de máxima actualidad.

La reflexión recogerá brevemente los hitos históricos en la concepción filosófica del tiempo y del espacio hasta alcanzar el marco de pensamiento contemporáneo, deteniéndose especialmente en dos líneas esenciales en el presente. En primer lugar, se trata de la comprensión fenomenológica, según la cual el tiempo (M. Heidegger) y el espacio (M. Merleau-Ponty) son el medio existencial del ser humano. En segundo lugar, la comprensión que se deriva de una línea de indagación destinada a convertirse hoy en un nuevo paradigma, a saber, el que se desprende del pensamiento de autores como Bergson, Simondon y Deleuze. En consonancia con este último derrotero, en el que se demorará la reflexión, la realidad entera es un conjunto de fuerzas en relación “caosmótica” que la convierten en una dinamicidad espacio-temporal autocreadora. Se trata, en este caso, de un flujo espacio-temporal cualitativo (intensivo) que se actualiza en el espacio-tiempo cuantitativo (extensivo).

Los contenidos tratados en la ponencia aportan una formación complementaria al Grado en Física, no solapando en ningún caso con los contenidos del Plan de Estudios de dicho Grado.

Contenidos específicos de la ponencia:

- ✓ Introducción
  - El espacio y el tiempo objetivos y matematizables de la revolución científica (siglos XIV-XVI)
  - Espacio y tiempo como formas a priori de la subjetividad trascendental (I. Kant)
  - Fenomenología existencial contemporánea: temporalidad como acontecimiento del *ser-en-el-mundo* (M. Heidegger) y espacialidad como organización pre-reflexiva de la *experiencia corporal* humana (M. Merleau-Ponty)
- ✓ Espacio y tiempo de la realidad en tanto auto-creadora
  - El tiempo *virtual* de la *duración* y su *efectuación* en el espacio geometrizable (H. Bergson)
  - Espacio-temporalidad de la *physis* en cuanto problematicidad auto-genética, desde lo físico a lo cultural-humano pasando por lo viviente pre-cultural (G. Simondon)
  - Espacio-temporalidad, medio de la auto-creación *caosmótica* de la realidad (G. Deleuze, H. Bergson y G. Simondon)
- *Bibliografía específica:*
  - Bergson, H., *Materia y Memoria*, Buenos Aires, Cactus, 2006 (original de 1896)
  - Bergson, H., *La evolución creadora*, Buenos Aires, Cactus, 2007 (original de 1907)
  - Deleuze, G., *Lógica del sentido*, Barcelona, Paidós, 1994 (original de 1969)
  - Deleuze, G./ Guattari, F., *Mil mesetas*, Valencia, Pre-Textos, 1988 (original de 1980)
  - Merleau-Ponty, M., *Fenomenología de la percepción*, Barcelona, Península, 1965 (original de 1945)
  - Simondon, G., *La individuación a la luz de las nociones de forma e información*, Buenos Aires, Cactus, 2009 (original de 1958)
  - Sáez Rueda, L., *El ocaso de Occidente*, Barcelona, Herder, 2015, primera parte (“Vida y génesis de la cultura”)



### Taller:

- Ponente : Miguel Ortega Titos (UGR)
- Título : “Taller de Geometría de la Alhambra”
- Breve resumen :

La Geometría aparece por doquier en la decoración de diversos espacios de la Alhambra (Palacios Nazaríes, Palacio del Partal, Torres de las Infantas y de la Cautiva, Generalife, etc.) Se manifiesta en el uso de las proporciones, y mediante frisos, rosetones y mosaicos de estilo árabe, además de elementos decorativos específicos inventados por los artistas nazaríes.

En este taller descubriremos dichos elementos decorativos. Recordaremos el Teorema de Fedorov de clasificación de los grupos cristalográficos del plano y lo aplicaremos a los mosaicos de la Alhambra.

Los contenidos tratados en el taller aportan una formación complementaria a los Grados en Física y Matemáticas. Hay un pequeño solapamiento con los contenidos de las asignaturas Taller de Geometría del Grado en Matemáticas, donde se habla de los grupos cristalográficos del plano, y de los conceptos de grupo y movimientos rígidos, estudiados en ambos grados en primer y segundo curso. El resto de los contenidos no aparecen en los programas de los citados grados.

Contenidos específicos del taller:

- ✓ Repaso: grupos y movimientos rígidos del plano. Grupos cristalográficos del plano.
  - ✓ Elementos decorativos nazaríes: La Pajarita, el Avión, el Molinete, el Murciélago, etc.
  - ✓ La belleza en la proporciones. Ejemplos en la Alhambra.
  - ✓ Buscando grupos cristalográficos en la Alhambra. Aplicación de un algoritmo de clasificación.
- *Bibliografía específica* :
    - C. ALSINA, R. PÉREZ, C. RUIZ, Simetría dinámica. Madrid: Editorial Síntesis, 1989.
    - Y. BOSSARD, Rosaces, frises et pavages. Vols.: I, Étude pratique. II, Étude théorique. París: CEDIC, 1977.
    - P. GUTIÉRREZ, R. PÉREZ, C. RUIZ, et.al., Siete Paseos por la Alhambra. Cap. VII: La Búsqueda y Materialización de la Belleza. La Geometría del Poder. Granada: Proyecto Sur de Ediciones, S.A.L., 2007.
    - T. HAHN, International Tables for Crystallography. Brief teaching edition of Volume A: Space-group symmetry, Londres: Kluwer Academic Publishers, 2002.
    - D. HILBERT, S. COHN--VOSSSEN , Geometry and the imagination, Nueva York: Chelsea Publishing Co., 1952 (AMS Chelsea Publishing, 1999).
    - M. SENECHAL, Cristalline Symmetries. An informal mathematical introduction. Bristol y Nueva York: Adam Hilger, IOP Publishing Ltd., 1990.



### **Ponencia:**

- *Ponente : Enrique Carmona Rodríguez (Instituto Andaluz Geofísica)*
- *Título : “Los latidos de la Tierra”*
- *Breve resumen :*

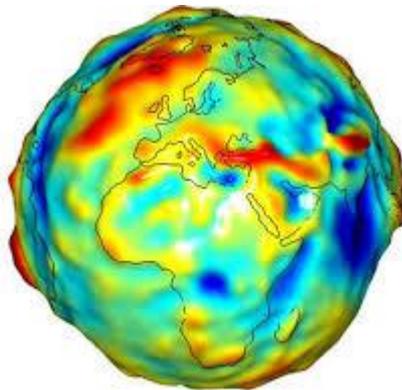
¿Podemos considerar la Tierra como un planeta inerte? Nada más lejos de la realidad. La Tierra es un sistema dinámico que se deforma, se mueve, se transforma. Desde su nacimiento ha ido evolucionando regido por los procesos geológicos. Estos procesos nos afectan directamente a los seres vivos que la habitamos, a veces de forma violenta, como los terremotos y de ahí la importancia de entender dichos procesos.

En este curso, haremos un recorrido por el tiempo analizando la evolución de la Tierra desde sus comienzos hasta nuestros días. El objetivo que se quiere alcanzar es que el alumnado comprenda los procesos geológicos a través de la Geofísica del interior de la Tierra.

Los contenidos tratados en la ponencia aportan una formación complementaria al Grado en Física y Geología, no solapándose en ningún caso con los contenidos del Plan de Estudios de dicho Grado.

#### Contenidos específicos:

- ✓ El origen del Planeta Tierra. El tiempo Geológico
  - ✓ La estructura interna de la Tierra.
  - ✓ Evolución del Geoide. Variaciones del Campo Magnético Terrestre.
  - ✓ Dinámica terrestre. Tectónica de placas. Eventos sísmicos.
  - ✓ Vigilancia de un volcán activo: Isla Decepción (Antártida).
  - ✓ Avances de la Geofísica y sus aplicaciones.
- 
- *Bibliografía específica :*
    - C.M.R. Fowler. “The Solid Earth”. Cambridge University Press. ISBN 0 521 58409 4.
    - H.K. Gupta. “Encyclopedia of Solid Earth Geophysics”. Springer. ISBN: 978-90-481-8701-0.
    - W. Lowrie. “Fundamentals of Geophysics”. Cambridge University Press. ISBN-13 978-0-511-35447-2
    - A. Udías. J. Mezcua. “Fundamentos de Geofísica”. Alhambra Universidad. ISBN 84-205-1381
    - International Union of Geodesy and Geophysics - <http://www.iugg.org/>
    - NOAA National Geodetic Survey - <http://www.ngs.noaa.gov/>



### Ponencia:

- Ponente : David Galadí Enríquez (Observatorio Calar Alto)
- Título : "Tiempo cósmico y tiempo humano: de la rotación de la tierra a los relojes atómicos"
- Breve resumen :

La ponencia se centra en la medida del tiempo como magnitud física. Desde un punto de vista astronómico se trata el concepto original de tiempo vinculado a la rotación de la Tierra y su sustitución en la actualidad por las escalas de tiempo atómico internacional. Se tratan los conceptos teóricos relacionados con la definición de las distintas escalas de tiempo, y se complementan con un bloque dedicado al estudio de los sistemas de medida (relojes) vinculados a cada una de ellas.

### Contenidos específicos:

- ✓ Coordenadas celestes horarias: ángulo horario, declinación, ecuador, eclíptica, punto vernal.
  - ✓ Rotación terrestre: tiempo sidéreo.
  - ✓ Traslación terrestre: combinación de movimientos aparentes del Sol (diurno y anuo).
  - ✓ Tiempo solar local verdadero, tiempo solar local medio, la ecuación de tiempo.
  - ✓ Las escalas de tiempo universal.
  - ✓ Del tiempo astronómico al tiempo físico: escalas de tiempo dinámico y tiempo atómico.  $\Delta T$ .
  - ✓ Efectos relativistas: tiempo baricéntrico.
  - ✓ Sistemas pasivos de medida: relojes de sol.
  - ✓ Sistemas activos: el problema de la longitud geográfica y la medida del tiempo; los relojes mecánicos.
  - ✓ Osciladores de carácter no mecánico: relojes de cuarzo, relojes atómicos.
- Bibliografía específica :
- Chernín, A. *Física del tiempo*. Editorial Mir, 1990.
  - Galadí-Enríquez, D. y Gutiérrez, J. *Astronomía general teórica y práctica*. Ediciones Omega, 2001.
  - Kaler, J.B., *The Ever-Changing Sky: a Guide to the Celestial Sphere*. Cambridge University, 2002.
  - Millar, W. *The Amateur Astronomer's Introduction to the Celestial Sphere*. Cambridge University Press, 2006.
  - Novíkov, I.D. *The River of Time*. Cambridge University Press, 1998.
  - Surdín, V.G. *Astronomía: problemas resueltos*. Editorial URSS, 2002.
  - Zavelski, F. *Tiempo y su medición: de milmillonésimas de segundo a miles de millones de años*. Editorial Mir, 1990.



## **Ponencia:**

- Ponente : *María Dolores Suarez Ortega (UGR)*
- Título : *“Dinámica molecular en el envejecimiento humano”*
- Breve resumen :

¿Por qué envejecemos? Es difícil contestar a esta pregunta. El envejecimiento es un proceso biológico multifactorial difícil de definir de forma exacta. Sin embargo, básicamente se caracteriza por un deterioro progresivo de las distintas funcionalidades del organismo asociado a la edad.

¿Cuáles son los mecanismos moleculares que nos llevan a envejecer? Existen varios, que están interconectados y afectan a las mismas rutas responsables de enfermedades relacionadas con el propio envejecimiento. Sin embargo, integrar todos los mecanismos moleculares que intervienen en este proceso sigue siendo un gran reto para la ciencia.

Entre las modificaciones que se producen en el organismo durante el proceso de envejecimiento las más relevantes son las que afectan al genoma. Hay una serie de datos que indican que el envejecimiento se acompaña de un aumento en el daño e inestabilidad del genoma y de una acumulación de alteraciones epigenéticas. Otro de los mecanismos implicados es el acortamiento de telómeros que se produce con la edad.

La función aberrante de las células madre que están presentes en múltiples tejidos para regenerar específicamente las células, se considera también una característica del envejecimiento.

El estrés oxidativo fue considerado como la principal causa. Sin embargo actualmente, aunque se considera importante, ha pasado a ser un proceso más asociado a la longevidad.

Otro proceso relacionado es la desregulación de los mecanismos de control del proteoma. También la autofagia, que elimina componentes anómalos, disminuye con la edad y en varias enfermedades asociadas.

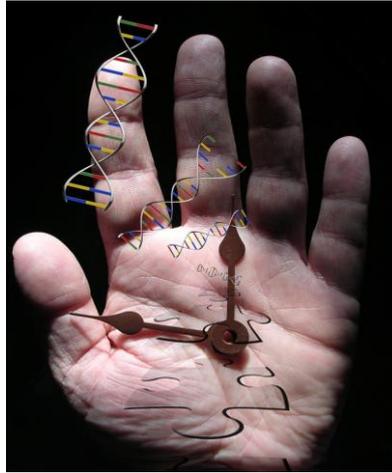
La inmunidad también se ve afectada en este proceso. Se sabe que la microbiota intestinal, tiene un papel central en la salud en todos los grupos de edad, y particularmente en las personas mayores.

La búsqueda de una forma de retrasar el envejecimiento humano ha demostrado ser larga y difícil de alcanzar. ¿Estamos finalmente en el umbral de ser capaces de alterarlo? Sólo el tiempo lo dirá, pero si el ritmo y la dirección de los progresos recientes son una indicación, los próximos capítulos de la historia deberían resultar muy interesantes.

### ○ *Bibliografía específica :*

- Capitán-Cañadas F, Ocón B, Aranda CJ, Anzola A, Suárez MD, Zarzuelo, Sánchez de Medina F, Martínez-Augustín O. (2015). Fructooligosaccharides exert intestinal anti-inflammatory activity in the CD4+ CD62L+ T cell transfer model of colitis in C57BL/6J mice. *European Journal of Nutrition*, PMID: 26154776
- Currais A (2015). Ageing and inflammation – A central role for mitochondria in brain health and disease. *Ageing Research Reviews* 21, 30–42
- Gems D, Partridge L (2013). Genetics of Longevity in Model Organisms: Debates and Paradigm Shifts. *Ann. Rev. Physiol.* 75, 621–44

- Jeffery IB, O'Toole PW (2013). Diet-Microbiota interactions and their implications for healthy living. *Nutrients*, 5(1), 234-252.
- López-Otín C, Blasco MA, Partridge L, Serrano M, Kroemer G (2013). The hallmarks of aging. *Cell*, 153, 1194-1217.
- Ramis MR, Esteban S, Miralles A, Tan D-X (2015). Caloric restriction, resveratrol and melatonin: role of SIRT1 and implications for aging and related-diseases. *Mechanisms of Aging and Development*, 146, 28-41.



### Taller:

- Ponente : David Galadí Enríquez (Observatorio Calar Alto)
- Título : “La sombra del tiempo: el reloj de sol a la luz de la ciencia contemporánea”
- Breve resumen :

Se propone una aproximación práctica a la medida del tiempo por medio de sistemas pasivos. El alumnado se distribuye en cuatro grupos, cada uno de los cuales, excepto uno, elabora un reloj de sol de un tipo diferente. El grupo que no trabaja sobre la construcción de relojes de sol estará formado por alumnado con conocimientos de programación y dedicará el taller a programar una calculadora de la ecuación de tiempo. El proceso de elaboración y la puesta en común final permitirán comprender las complejidades, a menudo insospechadas, del funcionamiento de los relojes de sol, así como relacionar la hora solar local verdadera proporcionada por estos dispositivos con la hora civil (tiempo solar medio del huso) a través de la ecuación de tiempo.

Contenidos específicos:

- ✓ Construcción de un reloj de sol ecuatorial.
  - ✓ Construcción de un reloj de sol horizontal, con calendario.
  - ✓ Construcción de un reloj de sol vertical orientado, con calendario.
  - ✓ Programación de una calculadora de día juliano y ecuación de tiempo.
- Bibliografía específica :
    - Meeus, J. *Astronomical Algorithms*. Willmann-Bell Inc., 1998.
    - Soler Gayá, R. *Diseño y construcción de relojes de sol: métodos gráficos y analíticos*. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 1989.

